



HAL
open science

Comment faire face aux changements climatiques en arboriculture fruitière ?

Jean-Michel J.-M. Legave

► **To cite this version:**

Jean-Michel J.-M. Legave. Comment faire face aux changements climatiques en arboriculture fruitière ?. Innovations Agronomiques, 2009, 7, pp.165-177. hal-02662662

HAL Id: hal-02662662

<https://hal.inrae.fr/hal-02662662>

Submitted on 31 May 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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Comment faire face aux changements climatiques en arboriculture fruitière ?

Legave J.M.

Equipe INRA Architecture et Fonctionnement des Espèces Fruitières, UMR Développement et Amélioration des Plantes, CIRAD av. Agropolis - TA A-96/03, 34398 Montpellier Cedex 5.

Correspondance : legave@supagro.inra.fr

Résumé

Après avoir rappelé le contexte général des changements climatiques et précisé plus particulièrement les changements en matière de réchauffement, la relative vulnérabilité de l'arboriculture fruitière est soulignée sur la base de bon nombre de ses caractéristiques, tant biologiques qu'économiques. De façon inattendue, cette vulnérabilité s'est déjà exprimée au cours des années 2000 par des irrégularités de production pour certaines espèces dans les régions méridionales françaises. Un vrai défi semble donc s'annoncer qui doit conduire la communauté scientifique et professionnelle concernée à s'en emparer, même si de fortes incertitudes subsistent sur les prédictions climatiques.

La caractérisation et l'analyse des enjeux (impacts et conséquences) constituent un aspect fondamental dans l'approche de ce défi, sachant que ces enjeux devront être régulièrement considérés en s'appuyant sur la modélisation. Des impacts et conséquences sont précisés notamment pour des caractères de floraison ayant fait l'objet de premiers travaux approfondis. D'autres impacts encore peu étudiés sont succinctement évoqués bien que potentiellement préoccupants (impacts liés à l'évolution du parasitisme, à une moindre disponibilité en eau). Toutefois, l'analyse des enjeux suggère que des opportunités pourraient également être valorisées, même si leur mise en oeuvre devrait conduire à des bouleversements socio-économiques (changements de cultures et de système de production).

Parallèlement, sur la base de cette caractérisation, une réflexion sur les stratégies pour traiter les enjeux constitue un autre aspect essentiel pour faire face efficacement aux conséquences des changements climatiques. Différentes stratégies sont évoquées en soulignant que la meilleure prise en compte du défi résultera probablement de combinaisons évolutives entre les stratégies possibles.

Mots-clés : réchauffement, sécheresse, parasitisme, dormance, phénologie, floraison, maturité, incertitude, adaptation, modélisation, scénarios climatiques, ressources génétiques

Abstract

The fruit tree sector is facing a serious concern related to climate changes due to specific vulnerabilities as perennial plantations and various temperature effects to elaborate fruit production. Since the beginning of the 2000s, impacts on tree physiology are beginning to be visible and are liable to production irregularities for some species in southern France. Thus, climate change is emerging as a critical challenge for fruit industry. Various examples of impacts are presented as flowering advances. Negative consequences are mainly expected but benefits might be also considered. There is an increasing urgency for developing studies on impacts and strategies for effective adaptation responses. Particularly, breeding strategy must be revised to adapt the cultivar panel to main traits affected by climate changes, as floral and fruit phenology, fruit quality and tolerance to drought and parasitism. Adaptation must be also considered in terms of fruit crop and management changes at the regional level.

Keywords: warming, drought, parasitism, dormancy, phenology, flowering, maturity, uncertainty, adaptation, modelling, climatic scenarios, germplasm

Introduction

Les changements climatiques constituent désormais un nouveau défi à prendre en compte en arboriculture fruitière sur un long terme. Dès à présent, trois approches doivent être conduites parallèlement pour y faire face. En premier lieu, malgré de fortes incertitudes, la communauté scientifique et professionnelle concernée doit s'emparer de ce nouveau sujet en mesurant régulièrement les vulnérabilités de la filière en fonction des évolutions et prédictions climatiques. Sur cette base, une seconde approche consiste à caractériser les principaux enjeux pour l'arboriculture fruitière française, en termes d'impacts et de conséquences, à différents horizons (2030, 2050, 2100). Une troisième approche doit définir des stratégies pour traiter ces enjeux par des adaptations à la mesure des défis aux différents horizons de temps.

A la lumière de premiers travaux et analyses, ces trois approches sont abordées successivement, mais de façon plus ou moins approfondie compte tenu de la nouveauté du sujet.

1- Faire face en prenant davantage connaissance des évolutions climatiques et des facteurs de vulnérabilité

1-1- Les évolutions climatiques, leurs conséquences et différences spatio-temporelles

Les reconstitutions et prédictions climatiques convergent pour confirmer l'augmentation du réchauffement et de la variabilité spatio-temporelle des précipitations (sécheresse à excès d'eau). Davantage de phénomènes extrêmes et une variabilité climatique accrue sont également prédits (GIEC, 2007) et constitueraient d'autres composantes du changement climatique à prendre en considération (l'expression 'changements climatiques' au pluriel apparaît donc davantage appropriée). La réalité de cette évolution préoccupante est confirmée par des observations croissantes de changements abiotiques et biotiques (impacts) en lien avec le contexte climatique et notamment le réchauffement. Les risques encourus en terme de production sont préfigurés par les importantes pertes des productions végétales consécutives à des extrêmes climatiques inédits récemment rencontrés (été 2003). Concernant plus particulièrement la régularité de production de l'arboriculture fruitière française, des cumuls inédits de conditions climatiques défavorables (gel, températures élevées, pluviométrie excessive) ont pu être observés durant la décennie 2000 aux cours des phases déterminantes du cycle annuel des arbres (de la floraison à la fructification). Ainsi, en régions méridionales des pertes de production très importantes ont été provoquées par de telles conditions climatiques, notamment en 2007 pour le cerisier et en 2008 pour l'abricotier.

Parmi les différentes composantes du changement climatique, le réchauffement global de la planète apparaît manifeste depuis 1850 avec une accélération inquiétante au cours de la décennie 90 et plus encore de la décennie 2000, 8 des 9 années les plus chaudes depuis 1850 se situant dans cette dernière décennie (la 9^{ème} étant 1998). Des différences régionales existent et doivent être prises en considération pour affiner la connaissance de cette accélération du réchauffement. Au niveau de l'Europe occidentale et du Bassin Méditerranéen, des comparaisons ont été faites entre des régions où la production fruitière est particulièrement développée (Tableau 1). Sur une période récente de 30 ans (1973-2002), on peut estimer l'accroissement moyen de la température annuelle à environ 1°C depuis la fin des années 80. Des différences régionales sont cependant notables, en particulier un réchauffement relativement marqué dans le sud-est de la France (+1.3°C à Nîmes) où une part importante de l'arboriculture fruitière est localisée. Paradoxalement, ce réchauffement a été nettement supérieur à celui observé plus au sud dans la région de Meknès (+0.7°C) au Maroc. Des différences

saisonniers doivent également être soulignées afin de mieux comprendre les impacts du réchauffement au cours d'un cycle annuel et appréhender les priorités dans les vulnérabilités face au réchauffement. Il est étonnant de noter une forte similitude des différences saisonnières entre des régions à climats contrastés (Figure 1), notamment les hivers (janvier, février, mars) se sont particulièrement réchauffés comparativement aux automnes (octobre, novembre décembre). A titre d'exemple, la température moyenne du mois de mars à Nîmes s'est accrue de 2°C depuis la fin des années 80. Face à cette accélération du réchauffement, des scénarios de stabilisation des températures ont été récemment établis par les experts du GIEC à partir de différentes hypothèses de réduction des émissions de gaz à effets de serre. Bien que les incertitudes restent grandes, les prévisions conduisent à envisager une adaptation des cultures à une augmentation supplémentaire de 2°C dès 2050 et de 3°C à l'horizon 2100 (Parry et al., 2009).

Tableau 1 : Température annuelle moyenne (°C) de différentes régions et son accroissement depuis la fin des années 80 (Source : JM Legave)

Région	Wallonie	Rhénanie	Valais suisse	Anjou	Aquitaine	Languedoc	Plaine du Pô	nord Maroc
Site	Gembloux	Bonn	Conthey	Angers	Bergerac	Nîmes	Forlì	Meknès
1973 - 1987 (15 ans)	9,0	9,2	9,5	11,3	12,2	13,8	14,2	16,8
1988 - 2002 (15ans)	9,9	10,1	10,7	12,4	13,4	15,1	15,0	17,5
Accroissement	0,9	0,9	1,2	1,1	1,2	1,3	0,8	0,7

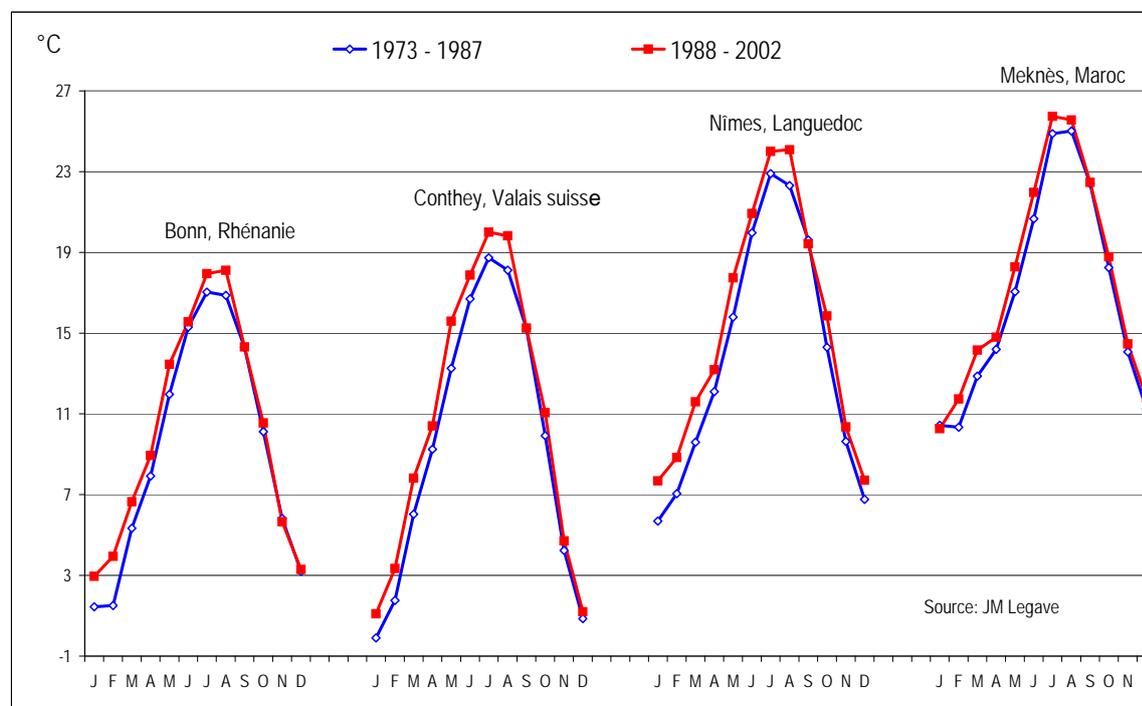


Figure 1 : Température mensuelle moyenne, avant et après la fin des années 80, d'une partie des régions étudiées (Tableau 1)

Concernant la variabilité future des précipitations, on doit s'attendre à davantage de sécheresse en été dans les régions méditerranéennes en particulier, mais aussi à davantage d'humidité en hiver dans les régions septentrionales. Mais, cette intensification des différences spatio-temporelles demeure encore plus incertaine que celle des températures, les prévisions régionales en matière de disponibilité en eau pouvant fortement diverger suivant les modèles utilisés.

1-2- Les facteurs de vulnérabilité de l'arboriculture fruitière

Dans le contexte des changements climatiques, l'arboriculture fruitière apparaît relativement vulnérable du fait de certaines de ses caractéristiques, tant biologiques que socio-économiques. En premier lieu, la pérennité des arbres fruitiers et leur besoin de plusieurs années de croissance avant fructification constituent indirectement un facteur de vulnérabilité en conduisant à des investissements de long terme et relativement coûteux lors de la mise en place des vergers (matériel végétal, infrastructures). Ces caractéristiques constituent en effet un frein à des changements rapides des gammes variétales ou des systèmes de culture pour faire face aux évolutions des températures ou à d'autres contraintes issues de l'évolution climatique (parasitisme accru ou nouveau, ressource hydrique limitée). L'adaptation variétale à un climat changeant est en outre complexifiée par le fait que cette dernière doit très généralement porter à la fois sur un cultivar et un porte-greffe. Par ailleurs, l'évolution variétale au cours des dernières décennies a été très peu orientée vers la prise en compte de l'adaptation climatique, notamment au niveau du cultivar essentiellement amélioré pour l'attrait commercial des fruits (coloration, calibre), ce qui a pu même accroître la vulnérabilité climatique. A titre d'exemple, l'évolution de la gamme variétale chez l'abricotier n'a globalement pas pris en compte la sensibilité à l'avortement floral qui peut désormais constituer un caractère limitant de la production annuelle face à l'accroissement des températures (voir 2-1 et Figure 7).

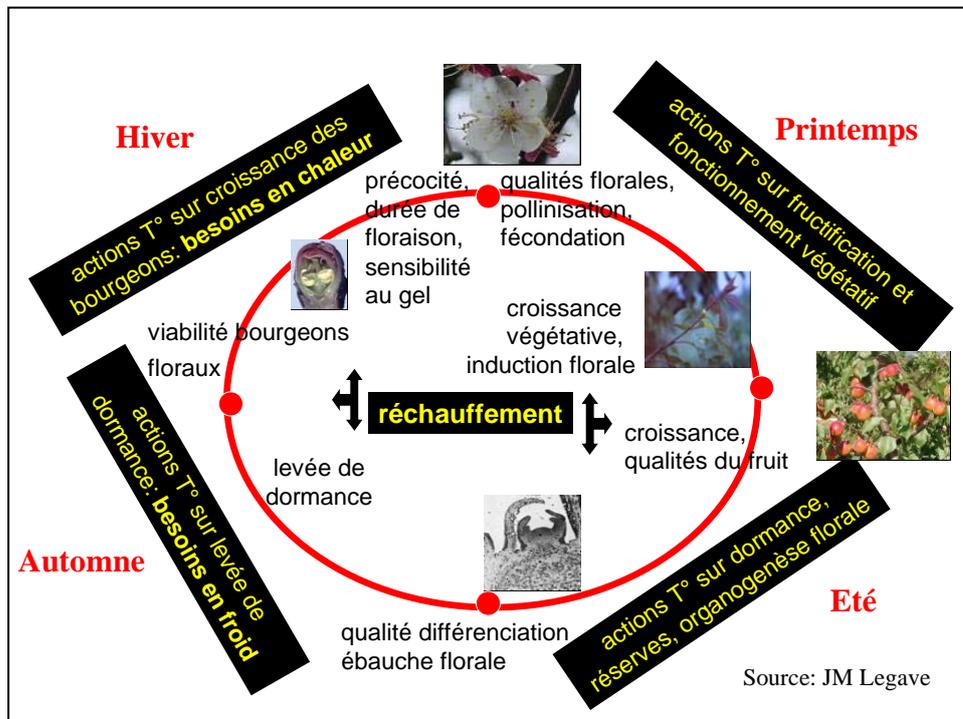


Figure 2: Représentation schématique du cycle de croissance et de développement d'un arbre fruitier, précisant les actions de la température: de multiples possibilités d'impact du réchauffement climatique

En outre, les arbres fruitiers se caractérisent par un cycle de croissance et de développement relativement complexe et long (>1 an), des pousses végétatives d'une année n aux fruits de l'année

n+1. Durant ce cycle, la régularité et la qualité de la fructification s'élaborent à la suite de multiples phases et processus au cours desquels l'action de la température, notamment, est quasiment permanente sous diverses formes (effets cumulés, effets de seuil, effets de rythme). Face au réchauffement, de multiples impacts sont donc possibles, de la croissance végétative à la maturité des fruits (Figure 2). Ainsi comparée à d'autres productions (cultures annuelles), l'arboriculture fruitière est particulièrement exposée à des impacts climatiques défavorables du fait de conséquences pluri-annuelles (alternance de production après gel) et cumulatives (impacts répétés sur l'architecture de l'arbre).

Sur le plan des caractéristiques socio-économiques, des liens forts se sont tissés avec le temps entre le produit et son lieu de production (amandes de Provence, abricots du Roussillon,...). Cette caractéristique s'est développée en France, pour des raisons compréhensibles de valorisation commerciale, sous forme réglementaire de signes d'origine et de qualité (IGP, pruneaux d'Agen, mirabelles de Lorraine,...). De ce fait, la substitution de variétés et plus encore d'espèces pour des raisons d'adaptation climatique à long terme apparaît relativement difficile à mettre en œuvre, en risquant probablement de se heurter à des freins réglementaires et humains. A l'image de la viticulture (terroirs), on peut ainsi penser qu'un trop fort ancrage régional de l'arboriculture fruitière pourrait diminuer indirectement sa capacité d'adaptation et donc accroître sa vulnérabilité. Une autre caractéristique d'ordre économique de l'arboriculture fruitière française est sa très faible orientation vers la transformation des fruits (pour la plupart périssables) sous forme de produits industriels peu périssables. Les irrégularités inter-annuelles de production (et donc de revenus) sous l'influence des aléas climatiques ne peuvent donc qu'être faiblement lissées sur le plan commercial par du stockage d'une partie de la production, contrairement aux cultures annuelles. Ainsi, cette caractéristique contribue également indirectement à diminuer la capacité d'adaptation climatique de l'arboriculture fruitière, sachant que les irrégularités inter-annuelles de production tendent à augmenter pour certaines espèces sous l'influence de l'évolution climatique (Figure 3).

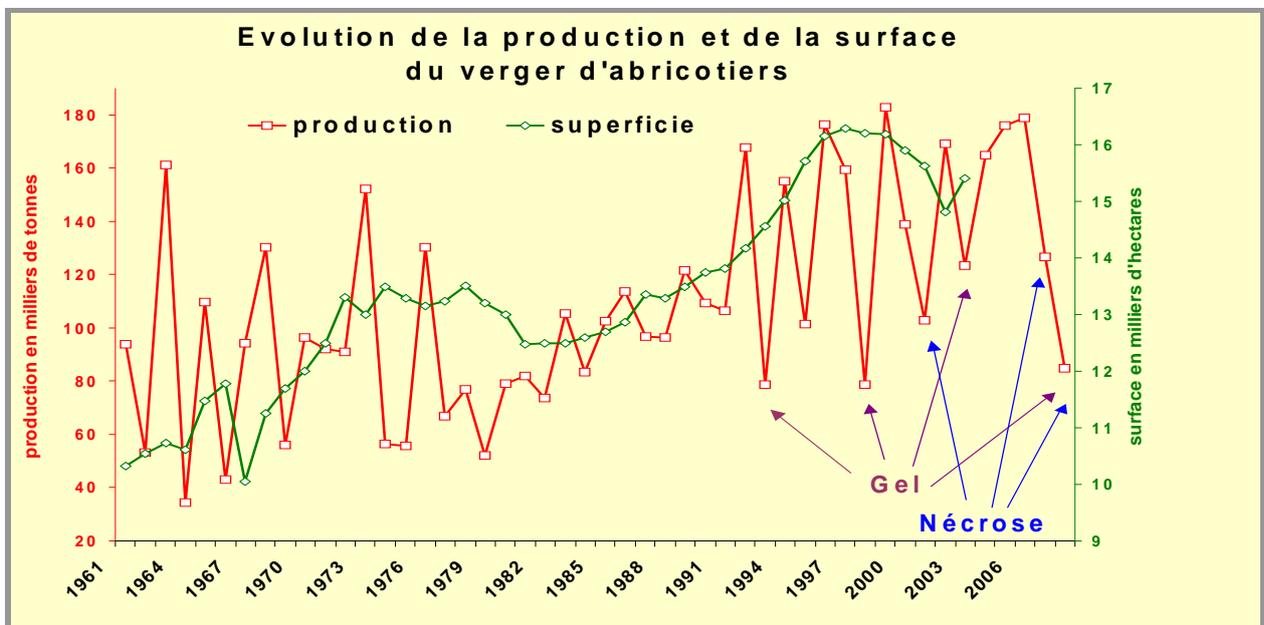


Figure 3 : Irrégularité de la production d'abricots en France associée à des accidents physiologiques d'origine climatique (source: JM Legave), malgré une augmentation des surfaces sous l'impulsion de l'innovation variétale et de l'amélioration culturale (irrigation notamment)

2- Faire face en caractérisant et analysant les enjeux: impacts et conséquences

Depuis le début des années 2000, l'INRA, en collaboration avec ses partenaires pour la filière fruitière (Ctifl, Stations régionales d'expérimentation, partenaires étrangers, GRCETA,...), a engagé de premières recherches pour identifier des caractères déjà modifiés par les évolutions climatiques (impact avéré, exprimé par une tendance significative) et des caractères ayant pu être ponctuellement modifiés (impact potentiel, pas de tendance significative). Par ailleurs, l'analyse des conséquences agronomiques a conduit à différencier des impacts négatifs (situation de risque) d'autres impacts pouvant être valorisés en opportunités pour l'arboriculture fruitière.

Jusqu'à présent, l'essentiel des recherches a été conduit à partir d'observations en vergers réalisées par l'ensemble des partenaires, couvrant tous les grands bassins de production, et rassemblées pour établir des comparaisons et analyses (Domergue et al., 2004). Cette recherche spatio-temporelle *in situ* s'est en définitive révélée peu coûteuse, valorisante (exploitation de base de données) et informative. En outre, une approche de modélisation a été initiée visant à mieux comprendre des impacts avérés dans un passé récent, pour mieux imaginer leurs évolutions dans le futur. Ainsi, sans prétendre être exhaustif, quelques exemples d'impacts et conséquences peuvent être évoqués de façon plus ou moins approfondie suivant les caractères considérés.

2-1- Impacts sur l'époque, la durée et la qualité de la floraison

La constitution de séries de dates de stades phénologiques pour les principales espèces fruitières dans différents sites a révélé une tendance commune vers plus de précocité de la floraison durant un passé récent en Europe occidentale, notamment dans les différents bassins fruitiers français. De façon surprenante, cette tendance a présenté de fortes similitudes entre les espèces, les variétés et les sites. La Figure 4 illustre cette tendance pour le stade F1 (10% de fleurs ouvertes) du pommier 'Golden Delicious' dans quatre régions à climats très différents. Selon une analyse statistique appropriée aux séries chronologiques, les modifications phénologiques vers plus de précocité se seraient produites sous forme de «rupture» et non de façon progressive du début des années 70 au début des années 2000 (Guédon et Legave, 2008). La période de rupture la plus probable se situerait en 1988-1989, c'est à dire à la fin des années 80 correspondant précisément au début d'une période de réchauffement (Tableau 1). Les avancées de floraison observées peuvent donc être considérées comme un impact avéré (ainsi qu'un indicateur) du réchauffement global sur le caractère d'époque de floraison. Dans le cas du pommier 'Golden Delicious', les avancées moyennes depuis la fin des années 80 peuvent être estimées à 10-12 jours dans une région septentrionale comme celle de la Rhénanie et à seulement 6-7 jours sur le pourtour Méditerranéen (Languedoc).

Par ailleurs, les simulations par modélisation de la date de fin de levée de dormance des bourgeons floraux (satisfaction des besoins en froid, Figure 2) ont révélé chez le pommier une tendance vers des levées de dormance plus tardives depuis la fin des années 80, notamment en Languedoc (+ 5-7 jours à Nîmes) mais aussi en Anjou et en Aquitaine (Legave et al., 2008). Par contre, cet impact aurait été quasiment inexistant dans des régions plus septentrionales (Rhénanie, Wallonie). Une telle différence régionale d'impact sur la levée de dormance apparaît cohérente avec le fait que le réchauffement en automne notamment en novembre et décembre (période essentielle pour la satisfaction des besoins en froid) a été sensiblement plus marqué en régions méridionales (Figure 1) y induisant par conséquent des levées de dormance plus tardives.

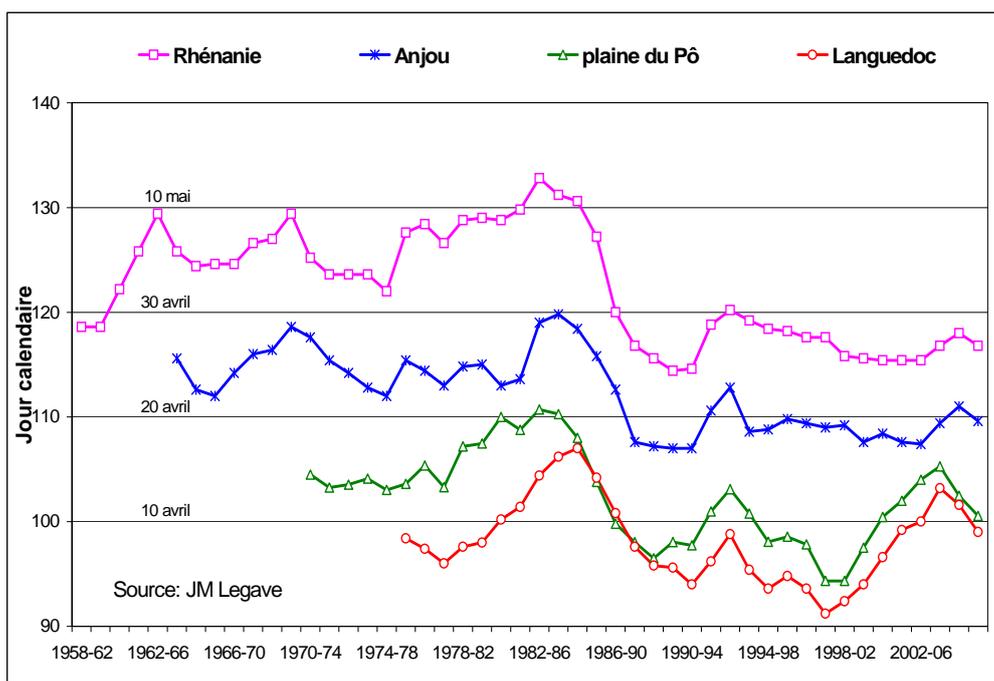


Figure 4 : Evolution de la moyenne mobile (5 ans) de la date estimée en verger du stade phénologique de début de floraison (F1) dans le cas du pommier Golden Delicious, considérée dans quatre régions européennes à climats contrastés

Malgré cet impact attendu (mais non visible) sur la dormance en régions méridionales et océaniques, contribuant à retarder la floraison, cette dernière y aurait été cependant avancée du fait d'un impact plus intense de raccourcissement de la période de croissance florale s'étendant de la fin de la dormance à la phase de floraison. Ce second impact résulterait d'un réchauffement assez marqué en hiver (période essentielle pour la satisfaction des besoins en chaleur; Figure 2) particulièrement en régions méridionales (ex. Nîmes; Figure 1). Le raccourcissement de la croissance florale en régions septentrionales aurait été d'importance similaire du fait d'un réchauffement également marqué en hiver (ex. Bonn; Figure 1). En définitive, des avancées moyennes de floraison plus importantes en régions septentrionales que méridionales (voir précédemment) résulteraient principalement d'une différence d'impact sur la levée de dormance, comme la Figure 5 l'illustre pour les deux sites contrastés de Bonn et Nîmes. Cette illustration permet de souligner que l'importance de l'avancée de floraison n'est pas proportionnelle à l'intensité du réchauffement (avancée plus réduite à Nîmes qu'à Bonn malgré un réchauffement plus marqué à Nîmes, notamment en automne).

En terme de conséquence agronomique, les avancées de floraison sont susceptibles d'accroître le risque de gel printanier, mais le risque climatique (fréquence des températures négatives) a diminué dans le contexte du réchauffement climatique (selon Météo France). Cette question doit donc être approfondie pour ne pas conclure trop simplement. Dans une première approche, on peut penser que le risque de gel en régions septentrionales (généralement les plus gélives) augmenterait ou resterait important du fait d'avancées de floraison relativement importantes (série Rhénanie, Figure 4). En régions méridionales moins gélives et présentant des avancées de floraison plus réduites, ce risque resterait faible et pourrait même diminuer avec l'augmentation du réchauffement (levée de dormance encore plus tardive et fréquence du gel encore plus faible). Toutefois, ce risque demeure toujours possible dans ces régions avec des conséquences graves (gel de mars 2008 dans le Gard, ayant contribué à une faible production d'abricots; Figure 3).

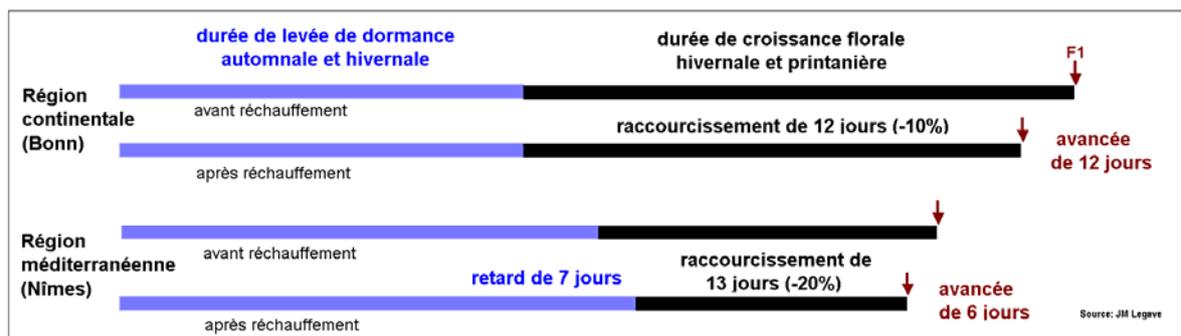


Figure 5 : Représentation des évolutions moyennes de la durée de levée de dormance et de la durée de croissance florale sous l'influence du réchauffement climatique dans deux régions à climats contrastés, permettant de rendre compte des avancées moyennes du début de floraison (F1) du pommier Golden Delicious selon un modèle sélectionné de simulation de la date de fin de levée de dormance (Legave et al., 2008)

Concernant la durée de floraison, des séries de dates des divers stades phénologiques pour une même variété dans un site donné ont permis de dresser des évolutions pour ce caractère. Dans l'ensemble des régions européennes, la durée de floraison semble soit être restée relativement brève comme l'illustre la Figure 6 pour le pommier en Languedoc, soit s'être raccourcie de façon notable en région septentrionale (Rhénanie) probablement en raison du réchauffement marqué durant la croissance florale qui aurait non seulement avancé l'ensemble des stades de floraison mais les aurait rapprochés entre eux (à partir de la décennie 90). Par contre, en régions méditerranéennes à climat doux marqué (série Nord du Maroc, Figure 6), la durée de floraison est excessivement longue pour des variétés relativement exigeantes en besoins en froid comme le pommier 'Golden Delicious'. Il en résulte une très faible productivité (décalage de floraison avec les variétés pollinisatrices) et un étalement excessif de la maturité des fruits. Le déroulement de la croissance végétative est également perturbé, l'ensemble de ces désordres d'origine phénologique conduisant à une totale inadaptation. Ainsi, dans un futur indéterminé (horizon 2050, 2100 ?), on doit envisager la possibilité de désordres physiologiques comparables, en intensité et fréquence, en Europe occidentale sur le pourtour Méditerranéen (Nîmes), voire en régions océaniques (Angers). Ces derniers résulteraient d'une satisfaction trop tardive (lente) des besoins en froid consécutive à l'augmentation annoncée du réchauffement (1-1). Soulignons que de tels désordres se sont déjà produits en Languedoc (2000-01 et 2006-07) pour des variétés d'abricotier et de cerisier relativement exigeantes en besoins en froid.

Concernant la qualité de la floraison, des impacts potentiels apparaissent multiples car cette notion (travaux anglais des années 60-70) recouvre des aspects très variés allant de qualités physiologiques (réceptivité des ovules) à des malformations ou détériorations des organes floraux. L'influence de la température sur l'ensemble de ces aspects a été par ailleurs très souvent mise en évidence. L'avortement floral chez l'abricotier (Figure 7) constitue un exemple préoccupant de caractère de qualité qui serait déjà ponctuellement soumis au réchauffement climatique. Ce processus physiologique n'est pas la conséquence d'une satisfaction 'insuffisante' des besoins en froid (idée reçue fautive) mais est probablement lié à des épisodes de chaleur excessive à l'approche de la floraison (Legave, 1978 ; Rodrigo et Herrero, 2002). Ainsi, des variétés sensibles ont présenté des taux d'avortement pénalisant fortement leur production et donc la production nationale (Figure 3), de façon relativement fréquente en basse vallée du Rhône durant la décennie 2000 (dans le Gard en 2001, 2007 et notamment en 2008: +2.1°C/ moyenne en janvier). De même, la formation de pistils 'doubles' chez le cerisier lors de l'organogenèse estivale est un caractère qui pourrait être ponctuellement intensifié par davantage de températures très élevées au cours de l'été. Ces conditions favorisent en effet cette anomalie, qui

conduit à de nombreux fruits doubles non commercialisables (fort taux à la suite de l'été 2003 anormalement chaud).

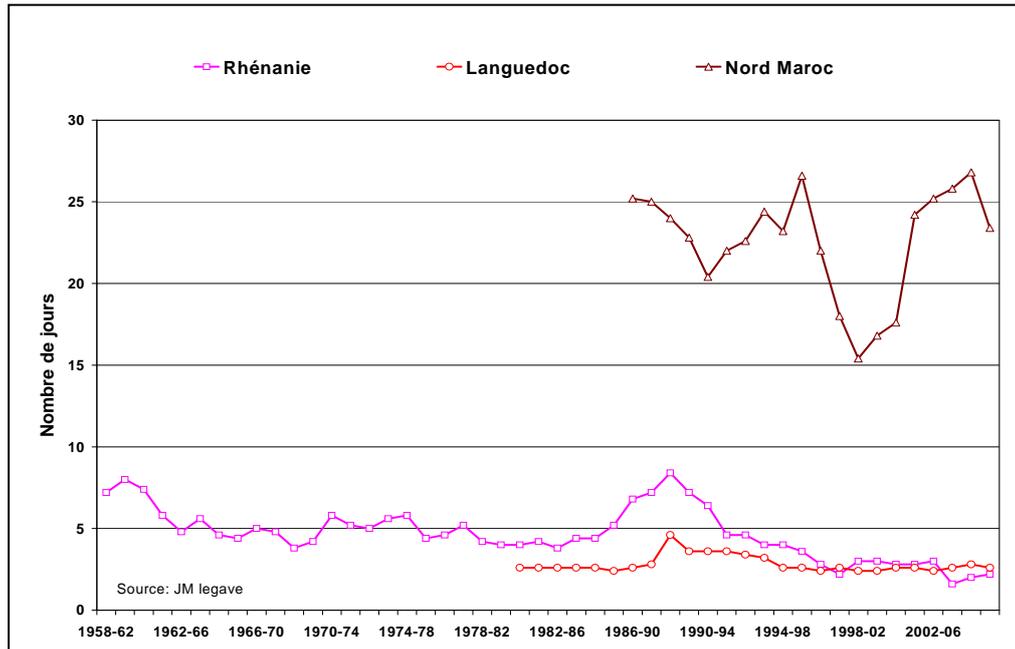


Figure 6 : Evolution de la moyenne mobile (5 ans) de la durée estimée en verger entre le début de floraison (stade F1) et la pleine floraison (stade F2) du pommier Golden Delicious dans trois régions à climats contrastés



Figure 7 : L'avortement floral chez l'abricotier (à gauche, nécrose totale de l'ébauche florale au stade bourgeon, à droite nécrose pistillaire à la floraison ; source JM Legave) : illustration d'un caractère de qualité florale sous influence climatique

2-2- Impacts sur la durée de croissance et la qualité du fruit

La durée de croissance du fruit a fait l'objet de premières reconstitutions chronologiques, qui ont notamment montré des tendances vers des durées plus courtes en régions Méditerranéennes (Figure 8). L'illustration présentée pour le pommier 'Golden Delicious' à Nîmes suggère une évolution progressive et limitée. L'illustration présentée pour une variété à maturité plus précoce (pêcher précoce) montre une tendance plus marquée vers une durée plus courte de la croissance du fruit (Figure 8), pouvant s'expliquer par une période de croissance plus brève coïncidant principalement avec une période de l'année ayant été particulièrement soumise au réchauffement (notamment +1.9°C en mai à Nîmes depuis la fin des années 80).

Si l'on considère globalement les avancées de floraison précédemment évoquées et ces probables évolutions de la croissance du fruit, il apparaît ainsi des possibilités de modifications des calendriers de maturité des gammes variétales actuellement cultivées. Des différences variétales, tant pour l'époque de floraison (besoins en froid et en chaleur) que pour la croissance du fruit (besoins en chaleur), pourraient en effet se combiner différemment en fonction de différences de réchauffement entre régions

(Tableau 1). Ceci pourrait conduire à des modifications significatives de ces calendriers par région, et donc à de conséquences socio-économiques face aux spécificités régionales de l'arboriculture fruitière (1-2).

Par ailleurs, sur le plan de la qualité du fruit, des modifications de son rythme de croissance pourraient également avoir des conséquences sur des aspects majeurs de la qualité. Par exemple, des travaux chez le pêcher suggèrent qu'une croissance trop rapide sous l'effet du réchauffement ne permettrait pas une mobilisation suffisante des éléments nutritifs, et pourrait conduire à des calibres réduits (Lopez et Dejong, 2007).

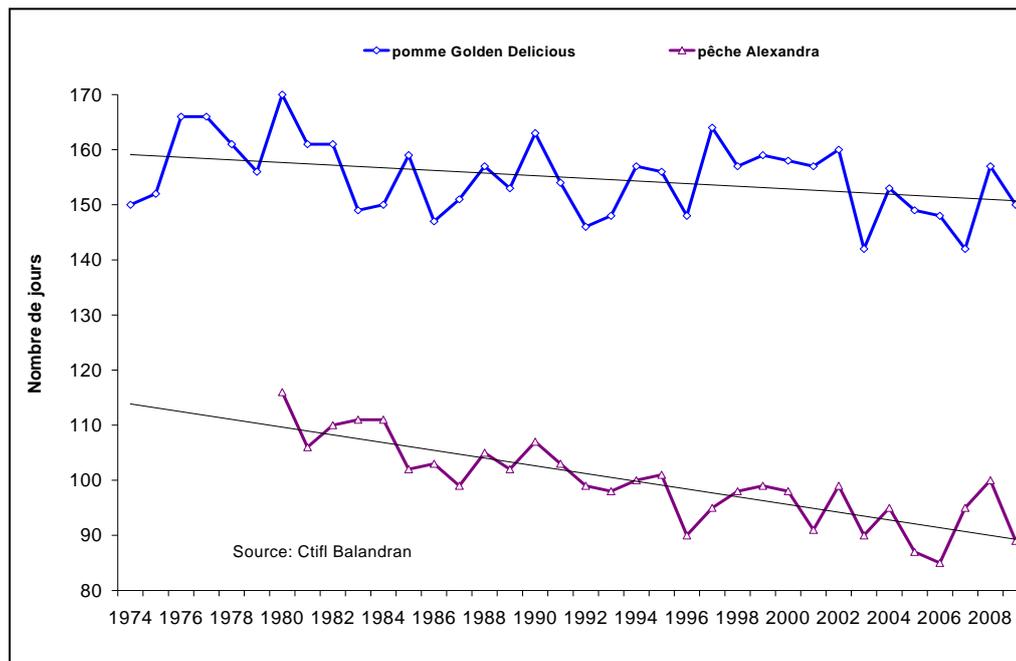


Figure 8 : Evolution annuelle de la durée de croissance du fruit (floraison à récolte) pour le pommier Golden Delicious (source: V. Mathieu) et le pêcher Alexandra (source C. Hilaire) dans les conditions climatiques du Languedoc (Nîmes)

Plus généralement, des impacts potentiels sur la qualité du fruit pourraient être multiples, du fait de la diversité des aspects de cette qualité et de l'importance des influences climatiques (cumuls et rythmes tant de température que de pluviométrie). L'éclatement de la cerise (Figure 9) constitue un exemple

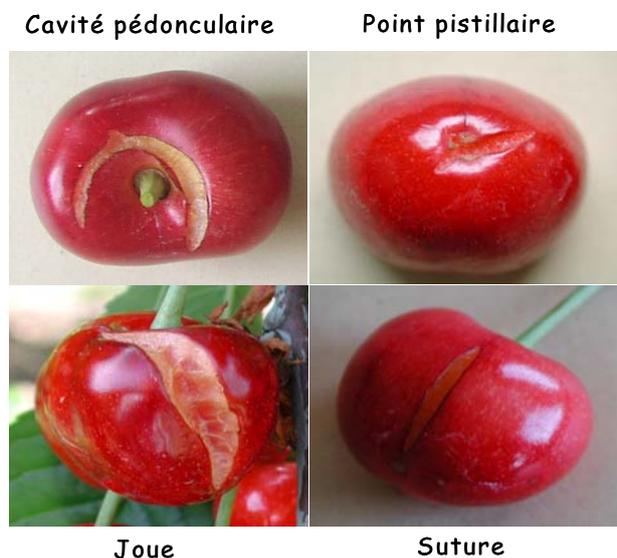


Figure 9 : L'éclatement du fruit chez le cerisier : illustration d'un caractère de qualité du fruit sous influence climatique (Source J. Quéro Garcia, INRA Bordeaux)

préoccupant de caractère de qualité qui pourrait être de plus en plus soumis à des irrégularités de pluviométrie. Récemment, des épisodes orageux en mai et juin ont fortement pénalisé la production française (en 2007 et 2008; perte estimée à 30-40% pour 2008). On peut également évoquer des événements défavorables concernant la coloration et la saveur (pommes rouges moins colorées, agrumes moins acides).

2-3- Autres impacts sur l'arbre et sur son environnement biotique

Les sécheresses des années 90 et plus récemment de 2003 et 2005 ont eu des conséquences relativement limitées (perte de production estimée à moins de 15% à la suite de la sécheresse 2003), en raison d'une irrigation largement développée (sur 74% du verger français). Les risques d'asphyxie racinaire dans un contexte d'inondations croissantes (1999, 2002-03-06) restent également limités notamment grâce au progrès génétique en matière de porte-greffes tolérants (sélections INRA). Toutefois, l'intensification attendue des différences spatio-temporelles de pluviométrie va conduire à des disponibilités réduites en eau d'irrigation, bien que la faible superficie du verger français (140 000 ha) comparée à celles des cultures annuelles irriguées (maïs) pourrait être mise en avant pour limiter cette réduction. Dans un futur de stress hydriques probablement plus fréquents, des conséquences défavorables sur la qualité et la régularité de production sont cependant à envisager, et viendraient aggraver la situation d'irrégularité de certaines espèces comme l'abricotier (Figure 3).

Notons que de nouvelles questions émergent, par exemple concernant l'impact du réchauffement sur le fonctionnement racinaire (actuellement sans réponse) et celui de l'augmentation de la teneur en CO₂ sur le fonctionnement foliaire (meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau ?). Quelles relations entre les avancées phénologiques et le fonctionnement racinaire ?

En outre, l'évolution du parasitisme sous l'influence des changements climatiques constitue probablement un enjeu particulièrement important pour l'arboriculture fruitière, sachant la diversité et la multitude des parasites auxquels elle doit faire face. Cette vaste question a été très peu étudiée, bien que les impacts attendus commencent à se manifester sous forme de remontée vers le nord (ex. Stemphyliose du poirier), d'augmentation des générations (ex. Carpocapse du pommier), d'événements inédits (ex. Températures élevées en avril 2007 suivies d'une attaque précoce de feu bactérien), voire de désynchronisations (hôte/parasite, prédateur/proie). Confrontée à cet enjeu, l'arboriculture fruitière biologique sera-t-elle plus vulnérable ?

3- Faire face en définissant des stratégies et en mobilisant des moyens

Trois voies d'adaptation peuvent être envisagées afin de limiter les impacts et conséquences défavorables, voire valoriser des opportunités associées aux changements climatiques.

La voie la plus immédiate consiste à adapter les techniques culturales: taille tardive (éviter face aux risques de gel et d'avortement floral), maîtrise de la pollinisation (optimiser un potentiel floral amoindri par des impacts défavorables), mise en œuvre de l'irrigation de précision (possibilité de réduction de l'irrigation de 20 à 30% sans pénaliser la production, selon des travaux de l'IRTA). Toutefois, l'ensemble des adaptations des techniques culturales ne pourra suffire pour faire face à l'ampleur attendue des impacts.

L'adaptation des cultures (choix des variétés et espèces) et des structures de production (système de culture) est susceptible d'offrir des possibilités d'adaptation à la mesure du défi, mais il faut en attendre des bouleversements des spécificités régionales sur les plans économiques et sociaux. En effet, cette stratégie peut aboutir localement à des changements profonds des gammes variétales et même à des changements d'orientation quant aux espèces principalement cultivées. Les choix visant l'adaptation climatique devront être raisonnés à différents niveaux d'échelle (l'exploitation, la région, le

niveau national, voire l'Europe). De nouvelles opportunités commerciales pourraient résulter de ces choix (espèce méridionale pouvant être cultivée plus au nord). Mais l'amplitude de ces changements aura probablement des limites, comme la nécessité de ne pas produire trop loin des sites de consommation (les transports étant des sources d'émissions de gaz à effets de serre). L'adaptation des systèmes de production pourrait notamment porter sur la répartition des cultures, les techniques d'irrigation, la maîtrise des parasites.

L'adaptation par voie génétique apparaît également à la mesure du défi pour adapter des caractères et espèces particulièrement vulnérables. Elle devra disposer de bases physiologiques et agronomiques solides pour définir les objectifs (idéotypes variétaux) et mobiliser d'importants moyens (prospections et ressources génétiques, tests fiables de caractérisation, méthodologies appropriées).

Très probablement ces différentes stratégies devront se combiner de façon évolutive, face à la complexité du défi (adaptation sans régression économique) et à l'évolution climatique incertaine. Ceci nécessitera davantage de collaborations entre les acteurs de la recherche et de la production.

Conclusion

De premiers travaux et analyses ont d'ores et déjà révélé des impacts des changements climatiques, principalement des impacts du réchauffement sur la phénologie de la floraison. Mais un nombre croissant de tendances encore peu marquées et d'évènements ponctuels (parfois inédits) portant sur d'autres caractères (incluant le parasitisme) suggère l'existence d'une multitude d'impacts potentiels et de conséquences associées, auxquelles l'arboriculture fruitière devra faire face. La vulnérabilité de certaines variétés et espèces est déjà inquiétante à la vue de leurs irrégularités actuelles de production, malgré l'innovation variétale et l'amélioration culturale (cas de l'abricotier et du cerisier).

Les études d'impact doivent donc s'amplifier, en recourant à la modélisation, afin de bien orienter l'adaptation sur des objectifs prioritaires. Ceci nécessitera davantage de connaissances, du génome à la plante entière, sur des processus encore mal connus (dormance; tolérances aux stress hydriques, aux températures élevées,...). Sur cette base, des projets équilibrés entre adaptation des systèmes de production et adaptation génétique devront être définis entre chercheurs et professionnels.

Remerciements

Par ordre alphabétique, nous tenons à remercier toutes les personnes ayant contribué par leurs collaborations respectives à la réalisation de cet article: M. Blanke (Université de Bonn, Allemagne), N. Brisson (INRA Avignon), M. Calleja (Montpellier SupAgro), D. Christen (Agroscope Changins-Wädenswil, Suisse), D. Giovannini (CRA Forli, Italie), C. Hilaire (Ctifl Balandran), M. Kleinhentz (INRA Bordeaux), V. Mathieu (Ctifl Balandran), R. Oger (CRA Gembloux, Belgique), M. Oukabli (INRA Meknès, Maroc), J. Quéro Garcia (INRA Bordeaux), J.L. Regnard (Montpellier SupAgro), B. Seguin (INRA Avignon), MH Simard (INRA, Angers).

Références bibliographiques

Domergue M., Legave J.M., Calleja M., Moutier N., Brisson N., Seguin B., 2004. Réchauffement climatique et conséquences sur la floraison. *Abricotier-Pommier-Olivier. L'Arboriculture fruitière* 578, 27-33.

GIEC, 2007. Summary for policymakers. In: *climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* [Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M. and Miller H.L. (eds.)]. Cambridge university press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Guédon Y. and Legave J.M., 2008. Analyzing the time-course variation of apple and pear tree dates of flowering stages in the global warming context. *Ecological Modelling* 219, 189-199.

Legave J.M., 1978. Essai d'interprétation de nécroses florales avant la floraison chez l'abricotier en relation avec une étude des besoins en froid des bourgeons pour la levée de dormance. *Ann. Amélior. Plantes* 28, 593-607.

Legave J.M., Farrera I., Almeras T., Calleja M., 2008. Selecting models of apple flowering time and understanding how global warming has had an impact on this trait. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 83, 76-84.

Lopez G., Dejong T.M., 2007. Spring temperatures have a major effect on early stages of peach fruit growth. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 82, 507-512.

Parry M., Lowe J., Hanson C., 2009. Overshoot, adapt and recover (Commentary). *Nature* 458, 1102-1103.

Rodrigo J., Herrero M., 2002. Effects of pre-blossom temperatures on flower development and fruit set in apricot. *Scientia Horticulturae* 92, 125-135.