

# LES PRODUCTIONS FRUITIÈRES À L'HEURE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Risques et opportunités en régions tempérées

Jean-Michel Legave, coordinateur





# Les productions fruitières à l'heure du changement climatique

Risques et opportunités  
en régions tempérées

Jean-Michel Legave, coordinateur

Éditions Quæ  
RD 10,  
78026 Versailles Cedex

## Collection Synthèses

*Blé dur*

*Synthèse des connaissances  
pour une filière durable*

J. Abécassis, J. Massé, A. Allaoua, coord.  
2021, 320 p.

*One health, une seule santé*

*Théorie et pratique des approches  
intégrées de la santé*

J. Zinsstag, E. Schelling,  
D. Waltner-Toews, M. A. Whittaker,  
M. Tanner, coord.  
2020, 584 p.

*Alerter la population*

*face aux crues rapides*

*Compréhension et évaluation  
d'un processus en mutation*

J. Douvinet  
2020, 256 p.

*L'eau en milieu agricole*

*Outils et méthodes pour une gestion  
intégrée et territoriale*

D. Leenhardt, M. Voltz, O. Barreteau  
2020, 288 p.

### **Pour citer cet ouvrage :**

Legave J.-M., coord., 2021. *Les Productions fruitières à l'heure  
du changement climatique*, Éditions Quæ, Versailles, 464 p.

Éditions Quæ  
RD 10, 78026 Versailles Cedex  
[www.quae.com](http://www.quae.com) [www.quae-open.com](http://www.quae-open.com)

© Éditions Quæ, 2022

ISBN papier : 978-2-7592-3251-2

ISBN ePub : 978-2-7592-3253-6

ISBN PDF : 978-2-7592-3252-9

ISSN : 1777-4624

Le code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction même partielle du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6<sup>e</sup>.

# Table des matières

---

Dédicace.....	7
Remerciements.....	8
Préface .....	9
<i>Yves Lespinasse</i>	
Avant-propos.....	11
<i>Jean-Michel Legave</i>	

## PARTIE I

### LE CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET SOCIO-ÉCONOMIQUE

<b>Chapitre 1. Le climat, ses évolutions passées et futures</b> .....	19
<i>Valérie Daux et Iñaki García de Cortázar-Atauri</i>	
Rétrospective climatique.....	19
Classification climatique actuelle de la France.....	24
Le changement climatique de 1850 à nos jours.....	25
Quel changement climatique dans le futur ? .....	30
Conséquences attendues pour les productions fruitières : vers de nouvelles disparités régionales .....	37
Remerciements .....	38
Références bibliographiques.....	38
<b>Chapitre 2. Les filières de production fruitière face aux défis du changement climatique et aux enjeux de compétitivité</b> .....	41
<i>Jean-Luc Regnard et Christian Hutin</i>	
Une diversité des productions fruitières mondiales liée au climat.....	42
Spécificités de la filière fruits en France .....	54
Comment concilier les enjeux de compétitivité et les défis du changement climatique ? .....	67
Des transitions dans les filières fruitières grâce aux actions engagées vers leur durabilité .....	75
Remerciements.....	77
Bibliographie .....	78

PARTIE II

LES BASES DE L'ÉLABORATION DE LA PRODUCTION DE FRUITS

**Chapitre 3. Le fonctionnement écophysologique des espèces fruitières :  
une diversité de processus** ..... 83  
*Guillaume Charrier, Benoît Pallas et Jérôme Ngao*

Les bases du fonctionnement hydrique :  
le continuum sol-plante-atmosphère ..... 83

Les bases du fonctionnement carboné ..... 89

Modélisation de l'architecture de l'arbre et de ses fonctions ..... 96

Acclimatation au gel et régularité de production : les processus majeurs ..... 98

L'influence de l'hétérogénéité spatiale au sein d'une plante fruitière  
sur les fonctionnements hydrique et carboné ..... 106

Le fonctionnement écophysologique : quels enjeux face au changement climatique? ..... 109

Références bibliographiques ..... 111

**Chapitre 4. Les spécificités agronomiques du développement des espèces fruitières  
de régions tempérées** ..... 115  
*Jean-Michel Legave, Jean-Jacques Kelner, Béatrice Denoyes, Pierre-Éric Lauri et Isabelle Farrera*

Les bases agronomiques de la production des espèces fruitières ..... 116

Les étapes clés du cycle de développement et leur diversité selon les espèces ..... 122

L'élaboration du rendement, l'aboutissement d'une succession d'étapes et de processus ..... 142

Des évolutions culturelles différentes pour une production régulière et diversifiée ..... 145

Un développement complexe, diversifié et étroitement contrôlé  
par les conditions climatiques ..... 151

Remerciements ..... 152

Références bibliographiques ..... 152

PARTIE III

LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

**Chapitre 5. Les impacts du changement climatique sur la phénologie  
et les composantes du rendement des espèces fruitières** ..... 159  
*Jean-Michel Legave, Marc Bonhomme, Vincent Mathieu et Yann Guédon†*

Les impacts sur la phénologie des espèces fruitières en régions tempérées ..... 160

Les impacts potentiels sur les composantes du rendement ..... 175

Poursuivre et approfondir la détection des impacts du changement climatique ..... 185

Remerciements ..... 187

Références bibliographiques ..... 188

**Chapitre 6. Les conséquences des changements phénologiques sur la complémentarité  
et la régularité des productions fruitières** ..... 193  
*Jean-François Berthoumieu, Patrick Debert, Vincent Mathieu et Jean-Michel Legave*

Des calendriers de production modifiés consécutivement  
aux changements phénologiques ..... 194

L'incidence des changements de phénologie des bourgeons sur la régularité de production ..... 198

Les conséquences des changements de phénologie, sources de questionnements  
et d'adaptations ..... 221

Références bibliographiques ..... 222

## PARTIE IV

## L'ANTICIPATION D'ENJEUX MAJEURS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

<b>Chapitre 7. Des modèles prédictifs comme outils d'anticipation des changements phénologiques chez les espèces fruitières</b> .....	227
<i>Bénédicte Wenden, Isabelle Chuine, Isabelle Farrera, Iñaki García de Cortázar-Atauri et Jean-Michel Legave</i>	
À quels changements phénologiques faut-il s'attendre en régions tempérées ? .....	227
Les modèles phénologiques : historique et principes fondamentaux .....	237
De nouvelles connaissances pour prédire les changements phénologiques du futur .....	250
Les modèles phénologiques au service de l'agronomie et de la production de fruits .....	252
Références bibliographiques .....	254
<b>Chapitre 8. Comprendre et limiter les effets du déficit hydrique chez les espèces fruitières</b> .....	259
<i>Jean-Luc Regnard et Aude Coupel-Ledru</i>	
Les stress abiotiques, une préoccupation récente en verger .....	259
La circulation de l'eau dans une plante fruitière en période de végétation.....	263
Les réponses des espèces fruitières au déficit hydrique en régions tempérées.....	268
Comment préserver la ressource hydrique en production fruitière ? .....	275
Vers une évolution des choix variétaux et des pratiques en verger .....	283
Remerciements .....	284
Références bibliographiques .....	284
<b>Chapitre 9. Anticiper les impacts du changement climatique sur la qualité des fruits et le rendement, l'apport de la modélisation</b> .....	289
<i>Hélène Gautier, Valentina Baldazzi, Nadia Bertin, Gilles Vercambre, Michel Génard, Bénédicte Quilot-Turion, Zhanwu Dai, Laurent Julhia et Olivier Pailly</i>	
Influence des conditions climatiques sur la qualité des fruits .....	290
Des modèles pour anticiper l'effet des conditions climatiques sur la qualité du fruit.....	299
Des modèles de simulation des interactions «génotype × environnement × mode cultural» ..	305
Comment maintenir la qualité des productions fruitières avec le changement climatique ?.....	310
Approfondir les connaissances sur la qualité des fruits et améliorer les modèles .....	313
Remerciements .....	314
Références bibliographiques .....	314
<b>Chapitre 10. L'anticipation des impacts du changement climatique sur les bioagresseurs en arboriculture fruitière</b> .....	319
<i>Laurent Brun, Luciana Parisi, Sylvain Pincebourde et Marc Saudreau</i>	
Influence des conditions climatiques sur les bioagresseurs des arbres fruitiers.....	319
Impact du changement climatique sur le développement de bioagresseurs .....	332
Peut-on prévoir les impacts du changement climatique sur les bioagresseurs ?.....	334
Adapter l'arboriculture fruitière aux impacts des bioagresseurs dans un nouveau climat .....	342
Une anticipation nécessaire qu'il faut engager dès à présent .....	349
Remerciements .....	349
Références bibliographiques .....	349

PARTIE V  
L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

<b>Chapitre 11. L'amélioration génétique, un levier pour adapter les espèces fruitières aux changements environnementaux</b> .....	357
<i>Evelyne Costes, Jean-Marc Audergon, Bénédicte Quilot-Turion, José Quero-Garcia, Béatrice Denoyes, François Laurens, Véronique Decroocq et Charles-Éric Durel</i>	
L'amélioration génétique des espèces fruitières : ses contraintes et ses apports.....	358
Variabilité, complexité et déterminismes génétiques des caractères d'adaptation .....	369
Les défis et les stratégies pour l'avenir.....	386
Une nécessaire contribution de l'amélioration génétique à l'adaptation des cultures fruitières.....	400
Remerciements.....	402
Références bibliographiques.....	402
<b>Chapitre 12. L'adaptation des productions fruitières au changement climatique par l'évolution des systèmes et des aires de culture</b> .....	409
<i>Pierre-Éric Lauri, Pasquale Lubello et François Warlop</i>	
L'option de l'amélioration incrémentale des systèmes : intérêts et limites des leviers cultureux connus .....	410
L'option système : concevoir des systèmes de culture plus résilients face au changement climatique .....	414
L'option géographique : changer les aires de culture.....	422
L'adaptation culturelle doit intégrer une réflexion agronomique et écologique, mais aussi socio-économique.....	432
Remerciements.....	433
Références bibliographiques.....	433
<b>Conclusion. Produire des fruits en régions tempérées entre risques et opportunités dans un climat qui change</b> .....	437
<i>Hélène Gautier, Pierre-Éric Lauri, Sylvain Pincebourde, José Quero Garcia, Jean-Luc Regnard et Jean-Michel Legave</i>	
Des aléas et des opportunités climatiques, une constante dans l'histoire des productions fruitières.....	437
Dans quels nouveaux contextes l'avenir des productions fruitières va-t-il s'inscrire?.....	438
Des impacts avérés et attendus du changement climatique à conséquences multiples.....	440
Des connaissances et des outils au service de l'anticipation d'enjeux prioritaires.....	442
Comment s'adapter au changement climatique en considérant les attentes environnementales? .....	444
<b>Glossaire</b> .....	447
<b>Liste des auteurs</b> .....	460

# Dédicace

---

À vous, Alice, Alioune, Céleste, Guillaume, Esther, Karim, Fatima, Lorys, Lola, Matias, Louise, Romain, Valentine, Thomas, et à vous tous les enfants du monde et d'aujourd'hui, dont ce siècle est le vôtre, nous dédions cet ouvrage.

Nous espérons qu'il contribuera à éveiller en vous des raisons et des vocations pour vivre sereinement l'immense aventure du changement climatique et faire face à ses défis.

Préserver nos capacités à produire de bons et de nombreux fruits en adaptant leurs cultures et en diversifiant les plantes qui les procurent est un projet que nous aimerions vous voir partager.

Il vous mènera sur des chemins qui vous inviteront à protéger la nature et à comprendre tout le bonheur qu'elle peut vous apporter.

# Remerciements

---

Cet ouvrage a vu le jour grâce aux soutiens financiers du GIS Fruits, Groupement d'intérêt scientifique dédié aux productions fruitières, d'INRAE dans le cadre du métaprogramme Adaptation au changement climatique de l'agriculture et de la forêt (ACCAF), du CEP, Centre d'expérimentation de pépinières, de CEP Innovation et de NOVADI.

Nos remerciements s'adressent tout particulièrement à Sylvie Colleu qui, en tant qu'animatrice du GIS Fruits et au-delà de cette fonction, nous a apporté une aide opérationnelle constante, des conseils de rédaction et nous a beaucoup encouragés tout au long de la réalisation de l'ouvrage.

Notre gratitude va aussi à ceux, enseignants, chercheurs et professionnels, qui ont accepté d'être lecteurs de différents chapitres : Myriam Bérud, Hervé Cochard, Jean-Marie Codron, Sylvie Colleu, Xavier Créte, Mickaël Delaire, Elsa Desnoues, Pascale Guillermin, Baptiste Guitton, Yves Lespinasse, Christian Pinet, Sylvaine Simon, Yvan Sivadon.

Nous tenons également à remercier les organismes de recherche et d'expérimentation, français et étrangers, qui, par la fourniture de données, statistiques et phénologiques, de photographies ou de figures, ont contribué à l'élaboration des illustrations. Ces remerciements s'adressent en particulier à Météo-France, à FranceAgriMer, à l'Association régionale d'expérimentation fruitière de l'Est (AREFE), au centre expérimental Invenio, à la FDGDON du Lot-et-Garonne, à l'Institut français des productions cidricoles (IFPC), à la station SUDEXPE de recherche appliquée et d'expérimentation – sites de Marsillargues et de Saint-Gilles. À l'échelle européenne, nous remercions également l'université de Bonn (Allemagne), l'Agroscope de Conthey (Suisse), le Centre de recherche fruitière de Forlì et l'école supérieure Sainte-Anne de Pise (Italie). À l'échelle internationale, nos remerciements s'adressent notamment à l'Inra de Meknès (Maroc), au Volcani Center (Israël), à l'université du Cap (Afrique du Sud), à l'EMBRAPA de Bento Gonçalves et de Florianopolis (Brésil).

Cet ouvrage s'est inscrit dans un contexte global d'anticipation de l'adaptation des productions agricoles au changement climatique et plus globalement aux changements environnementaux. À cet égard, nous voulons saluer ceux qui ont porté et défendu cette cause pour les productions fruitières, particulièrement exposées aux aléas climatiques et aux pressions parasitaires. Nous tenons ainsi à remercier Bernard Seguin, Nadine Brisson<sup>†</sup>, Jean-François Soussana, Françoise Dosba, Yves Lespinasse et Robert Habib, qui, chacun selon ses compétences et sa fonction, ont inspiré la réalisation de cet ouvrage collectif. Nous rendrons aussi hommage à tous les enseignants, les chercheurs et les professionnels qui, depuis le début des années 1960, nous ont aussi montré et enseigné l'importance de l'innovation variétale et culturelle dans la réussite des cultures fruitières.

# Préface

---

Depuis le début des années 1980 jusqu'à aujourd'hui, le réchauffement climatique en France métropolitaine et plus largement en Europe occidentale a été plus élevé que le réchauffement planétaire moyen, avec une croissance continue des moyennes décennales. Ce ne sont pas les résultats de la COP26 qui peuvent nous rassurer. Dans ce contexte, cet ouvrage rassemble de nombreuses connaissances, méthodes et réflexions ; il fait œuvre de prospective en envisageant l'évolution des cultures fruitières en régions tempérées pour les prochaines décennies.

Les productions fruitières vont être soumises à des risques climatiques diversifiés. Les étapes et les processus fondamentaux que sont l'initiation florale, la dormance, la floraison et la fructification apparaissent très exposés aux augmentations de température annoncées tout au long du cycle annuel de développement des espèces fruitières. Ainsi, des hivers doux pourront perturber la levée de dormance des bourgeons, tandis que des températures extrêmes (canicules) pourront dégrader la qualité des fruits. Il est en outre urgent de prédire les impacts du changement climatique sur les maladies et les ravageurs, malgré la complexité des interactions entre bioagresseurs et auxiliaires protecteurs de culture. Il s'agit en effet de développer une arboriculture fruitière fondée sur la diversité végétale afin de diminuer la dépendance aux intrants.

Si le risque de gel printanier devrait rester une préoccupation majeure dans certaines régions de culture, de nouveaux risques et leurs conséquences vont bouleverser les pratiques et les systèmes cultureux traditionnels qui devront être adaptés ou profondément modifiés (vergers multi-espèces ou multi-variétés). Les gammes variétales vont être également bouleversées et de nouvelles variétés adaptées vont devoir être créées ou introduites pour limiter de possibles abandons de culture dans certaines régions. Néanmoins, de fortes contraintes d'ordre cultural et variétal pourront générer des opportunités, comme l'introduction de nouvelles espèces ou l'extension d'espèces existantes pour lesquelles le risque de gel deviendrait moins préoccupant.

En s'appuyant sur les caractéristiques biologiques, physiologiques et génétiques des principales espèces fruitières cultivées en France, les auteurs envisagent les recherches fondamentales à entreprendre pour adapter la production, développer la prédiction afin de mettre en œuvre des modèles de culture innovants, bénéficier des avancées en biotechnologies pour révolutionner la création variétale, et ainsi disposer, grâce à la très riche diversité des ressources génétiques, de variétés résilientes aux évolutions climatiques, insérées dans des systèmes cultureux novateurs.

Le lecteur progresse pas à pas au fil des douze chapitres et découvre les contraintes mais aussi les avantages que présentent en particulier les arbres fruitiers, grâce au porte-greffe qui permet de mieux résister aux contraintes hydriques temporaires par déficit ou excès d'eau, voire aux températures caniculaires.

Les arboriculteurs se trouvent face à des interrogations qui les inquiètent et pour lesquelles les chercheurs et expérimentateurs ont peine à prédire les évolutions qui permettront d'adapter et de transformer le verger français au cours des deux à trois prochaines décennies, à l'horizon 2050. Toutefois la modélisation pourrait permettre de concevoir des vergers où la combinaison entre les pratiques culturales et les variétés cultivées serait optimisée pour répondre aux évolutions du changement climatique.

Que sera le verger écoresponsable et résilient de la décennie 2050? D'abord, un verger qui devra maintenir et développer compétitivité et durabilité. La coopération internationale, en particulier européenne, devra conduire à des expérimentations multisites pour tester résilience variétale et durabilité des itinéraires culturaux. On peut par exemple imaginer des vergers relevant de l'agroforesterie qui présenteront une haute strate forestière sous laquelle différentes espèces fruitières pourraient bénéficier d'ombrage et de l'action des auxiliaires favorisée par les plantes de service qui les hébergent, et ainsi contenir la pression des maladies et des ravageurs.

Beaucoup d'innovations sont à mettre en œuvre pour relever de multiples défis! Sans être exhaustives, les connaissances et les propositions présentées dans l'ouvrage sont autant de pistes pour créer ces innovations. Chaque chapitre peut être lu indépendamment et des renvois à l'un ou l'autre des chapitres permettent de bien compléter l'information du lecteur ; la conclusion détaillée de l'ouvrage lui permettra d'en mémoriser l'essentiel.

Cet ouvrage est le fruit d'un collectif de 47 coauteurs coordonné par Jean-Michel Legave. Ce collectif a réuni des chercheurs, des enseignants-chercheurs et des professionnels dont les compétences pluridisciplinaires se sont additionnées à des niveaux complémentaires pour établir un ouvrage reliant la recherche et la production.

Que tous les contributeurs et contributrices de l'ouvrage et son coordinateur soient remerciés pour la qualité de leurs écrits savants, très bien illustrés et accessibles grâce à un vocabulaire précis bénéficiant d'un glossaire très didactique de plus de 150 termes. Étudiants, enseignants-chercheurs, chercheurs, expérimentateurs et professionnels avisés pourront apprécier la lecture de cet ouvrage rigoureux et ouvert, qui adopte un parti pris en faveur d'un équilibre entre une démarche volontariste d'anticipation du changement climatique et une prise en compte des contraintes socio-économiques. Cet ouvrage unique et remarquable pourra constituer une référence pour contribuer à la transformation du verger français face aux bouleversements climatiques et à leurs conséquences déjà à l'œuvre.

Yves Lespinasse  
*Directeur de recherche honoraire INRAE,  
membre de l'Académie d'agriculture de France*

# Avant-propos

---

JEAN-MICHEL LEGAVE

Les productions fruitières constituent un secteur économique d'importance majeure au regard de la place que les fruits occupent dans notre alimentation et notre santé. Cet ouvrage est consacré aux productions fruitières des régions tempérées et à leur évolution sous les effets du changement climatique. Dans ce contexte, une attention toute particulière est portée à l'avenir des productions françaises. Les productions fruitières des régions tempérées recouvrent des cultures d'espèces très diverses tant au niveau de leur biologie qu'au niveau du type de fruit produit et de son mode de consommation. Néanmoins, ces espèces sont toutes des plantes pérennes à multiplication végétative. Ainsi sont-elles principalement constituées d'espèces d'arbres et d'arbustes, voire de lianes, à feuillage caduc (espèces de fruits à pépins et à noyau, espèces à fruits secs, à petits fruits, kiwi) ou persistant (agrumes, olivier), dont l'exploitation peut être globalement qualifiée d'arboriculture fruitière. En matière d'activité socio-économique, cette diversité d'espèces a donné naissance à différentes filières fruitières. La culture du fraisier, plante herbacée pérenne, est également prise en compte dans l'ouvrage. En revanche, la vigne, proche des espèces fruitières à bien des égards mais qui constitue une filière distincte de par son importance et sa finalité, n'est mentionnée dans quelques parties de l'ouvrage que pour illustrer des connaissances ou des perspectives.

Les productions fruitières ont connu des changements rapides et considérables depuis l'après-guerre, tout d'abord pour répondre à des besoins d'autosuffisance. En France, dès le début des années 1960, la productivité et les surfaces cultivées ont ainsi fortement augmenté grâce à une intensification culturale et à des investissements élevés. Cette forte expansion a conduit à un apogée économique et social des productions fruitières du début des années 1970 à la fin des années 1980, bien que cette période ait été déjà émaillée de crises de marché liées à des surproductions ponctuelles. À partir des années 1990, des crises économiques plus profondes se sont succédé sous les effets de différents facteurs socio-économiques : offres en fruits structurellement supérieures à la demande, fortes concurrences commerciales à l'échelle européenne ou déséquilibres financiers entre producteurs et négociants. Au fil des crises, les surfaces cultivées ont diminué pour la plupart des espèces, voire décliné pour certaines d'entre elles (cerisier, pêcher, poirier, raisin de table). Pour y faire face, des réformes successives de l'Organisation commune

des marchés (OCM) pour le secteur des fruits ont cherché à renforcer la compétitivité économique et à structurer la production, en particulier par la création d'organisations de producteurs. Des accidents de gel ont également pu rythmer les irrégularités annuelles de production; les importants dégâts du gel tardif de 1991 ont notamment fait émerger la nécessité de davantage anticiper le gel printanier et plus généralement les risques climatiques.

Dès les années 1970, les productions fruitières ont eu aussi à répondre à des attentes et des demandes croissantes des consommateurs en matière successivement de qualités gustative, sanitaire puis nutritionnelle, mais aussi en matière de protection de l'environnement. Ces nouveaux défis ont en particulier conduit à la conceptualisation de la production fruitière intégrée dans les années 1990 et à différentes initiatives (vergers écoresponsables) visant principalement à utiliser moins de produits phytosanitaires. Depuis la fin des années 2000, la France s'est ainsi fermement engagée vers une réduction de l'usage des pesticides au travers des plans Écophyto. Dans le même temps, la mondialisation des échanges a fait émerger des préoccupations supplémentaires en matière de développement de nouveaux bioagresseurs en lien avec les conditions climatiques. En dépit de réponses professionnelles aux impératifs économiques, aux demandes sociétales et aux contraintes environnementales, la consommation des fruits frais s'est cependant lentement érodée en raison de nouvelles habitudes alimentaires. Une communication renouvelée des organismes professionnels et européens («Fruits et légumes à l'école») a toutefois cherché à maintenir auprès des consommateurs l'intérêt et le plaisir de consommer des fruits frais, tout en apprenant à mieux s'alimenter.

Après avoir été ainsi confrontées dans un passé récent à des crises et à des défis principalement d'ordre socio-économique, plus ou moins surmontés, les productions fruitières sont entrées dans l'ère du changement climatique depuis la fin du siècle dernier. Comme toute autre production agricole, elles doivent relever un nouveau défi pour anticiper les effets encore mal connus de conditions climatiques inédites (Seguin, 2010)<sup>1</sup>. Les caractéristiques climatiques des régions de production vont se modifier progressivement, voire même de façon soudaine. La régularité et la qualité des productions seront ainsi soumises à de nouvelles contraintes climatiques comme un appauvrissement de la ressource en eau et des vagues de chaleur plus fréquentes. À ces évolutions continueront néanmoins à s'ajouter des aléas climatiques annuels tels que des irrégularités de pluviométrie et des épisodes de gel. Une importante diminution des populations d'insectes pollinisateurs, largement engagée et en partie liée au changement climatique, constitue par ailleurs une autre source d'irrégularités des productions. Sans mesures d'adaptation à ces changements profonds qui peuvent se combiner et interagir, les productions fruitières seront exposées à des baisses de rendement et à des modifications de la qualité des fruits. Anticiper les effets du changement climatique doit donc devenir une priorité à long terme pour les productions fruitières, bien que ces dernières doivent et devront continuer à répondre à des impératifs socio-économiques. Mais comment concilier adaptation climatique et compétitivité économique ?

---

1. Seguin B., 2010. *Coup de chaud sur l'agriculture*, Delachaux et Niestlé, Paris, 224 p.

En ce début de <sup>xxi</sup><sup>e</sup> siècle où les effets avérés du changement climatique sur les cultures fruitières apparaissent encore tolérables, le défi que représente le changement climatique peut sembler lointain pour des producteurs et des professionnels plus que jamais confrontés à court terme à d'importantes préoccupations commerciales et financières. La plupart des espèces fruitières sont cependant cultivées sur des durées relativement longues du fait de leur pérennité (10 à 25 ans pour les espèces d'arbres fruitiers à noyau et à pépins) et d'investissements culturels souvent élevés. Pour répondre à des besoins d'adaptation, des changements variétaux ou plus encore des déplacements de culture demanderont ainsi du temps et les reconversions seront probablement difficiles. Le temps par ailleurs nécessaire pour réaliser des améliorations génétiques sera au moins aussi long, par exemple 15 à 25 ans pour la sélection d'une nouvelle variété de pomme. La régularité de production et la qualité des fruits d'une variété fruitière peuvent de surcroît être liées aux conditions pédoclimatiques d'une région donnée – le terroir – et constituer un avantage commercial pouvant être valorisé par des appellations d'origine protégée (AOP) et des indications géographiques protégées (IGP). Mais, dans ces situations, comment ne pas perdre cet avantage sans anticiper des évolutions climatiques pouvant le remettre en question ?

Un risque majeur serait donc de remettre à plus tard l'anticipation des effets du changement climatique en invoquant les incertitudes qui l'entourent. Ces dernières peuvent au contraire justifier de considérer le changement climatique selon un principe de précaution. Il est en effet probable que des adaptations agronomiques anticipées prenant en compte l'environnement pourront conférer plus de résilience et de compétitivité lorsque les effets climatiques deviendront des facteurs limitants de la régularité de production ou de la qualité des fruits. Des acteurs de la production s'adaptant au plus vite aux effets du changement climatique pourraient disposer d'avantages concurrentiels par rapport à d'autres, contraints à y répondre en urgence.

Trouver des chemins communs pour concilier l'anticipation du changement climatique à long terme et des réponses à des impératifs socio-économiques à plus court terme devrait donc constituer le fil conducteur de l'évolution des productions fruitières dans les décennies à venir. Dès le début des années 2000, de nombreux travaux de recherche se sont ainsi inscrits dans cette perspective à une échelle internationale. Initialement focalisés sur les effets du changement climatique sur la phénologie des espèces fruitières, ces travaux se sont ensuite largement orientés vers d'autres effets, comme ceux liés à un déficit hydrique ou modifiant la qualité des fruits. L'influence des facteurs climatiques a été approfondie en examinant les nombreux processus biologiques déterminant le rendement, les caractéristiques des fruits ou le développement des bioagresseurs. Durant les années 2010, l'augmentation notable des recherches consacrées au changement climatique a ainsi permis d'acquérir des connaissances, des données, des outils et des réflexions permettant d'anticiper plus rapidement ses effets. À partir de ce constat, cet ouvrage a été conçu avec un double objectif : d'une part, rassembler les apports de recherches de différents niveaux et les relier entre eux et, d'autre part, donner une vision des principaux enjeux à anticiper et des possibilités d'adaptation au changement climatique.

Ce vaste projet est le fruit d'un travail collectif rassemblant des chercheurs, des enseignants et des acteurs de l'interprofession ; il a également bénéficié de contributions

d'organisations professionnelles régionales, de collaborations internationales, ainsi que de témoignages de producteurs. L'ouvrage s'adresse à un large public constitué d'étudiants, d'enseignants, de professionnels et de décideurs, mais aussi à des chercheurs et des expérimentateurs souvent spécialisés et qui pourront trouver dans l'ouvrage des synthèses sur des sujets qui leur sont moins connus. Il s'adresse enfin à toutes les personnes soucieuses du maintien de la diversité et de la qualité des productions fruitières.

Le contenu de l'ouvrage se décline en douze chapitres répartis en cinq parties. La première partie présente le contexte dans lequel se situent et vont évoluer les productions fruitières. Une vision globale du changement climatique est présentée, allant d'un lointain passé à nos jours, ainsi que des projections de son évolution dans un futur plus ou moins proche en considérant tout particulièrement l'évolution climatique en France métropolitaine (chapitre 1). Le lecteur est ensuite invité à prendre connaissance de la diversité et de l'importance des productions fruitières à l'échelle mondiale et de leurs spécificités en France ; les enjeux de compétitivité des filières de production fruitière sont présentés et analysés en lien avec les conditions climatiques, les productions françaises étant l'objet d'une prospective particulière face au défi du changement climatique (chapitre 2).

La deuxième partie est consacrée à l'élaboration de la production de fruits. Les bases du fonctionnement écophysiological des plantes et plus particulièrement des plantes pérennes sont exposées en soulignant la diversité et la complexité des processus impliqués ; ceux de l'acclimatation au gel sont notamment développés (chapitre 3). Les principales étapes du développement annuel des espèces fruitières et leurs déterminismes climatiques majeurs sont ensuite abordés à l'échelle de la plante ; une attention particulière est portée au déroulement de la dormance des bourgeons et à ses déterminismes climatiques. L'élaboration du rendement et ses relations avec les conditions climatiques sont présentées dans leur complexité et leur diversité selon les espèces (chapitre 4).

La troisième partie aborde les effets du changement climatique, en considérant tout d'abord des impacts *stricto sensu* sur les processus élémentaires, aux différentes étapes du développement annuel des espèces fruitières. Des impacts déjà avérés sur la phénologie des bourgeons et des fruits sont particulièrement détaillés et reliés aux évolutions climatiques des dernières décennies. Des impacts potentiels sur les composantes du rendement sont également examinés à la lumière d'événements ponctuels faisant suite à des situations climatiques relativement extrêmes mais susceptibles d'être de plus en plus fréquentes (chapitre 5). Puis, dans un second temps, des conséquences des changements de la phénologie des bourgeons et des fruits sont illustrées, notamment en matière d'exposition des cultures fruitières au risque de gel printanier (chapitre 6).

Sur la base des faits et des connaissances présentés dans les précédentes parties, la quatrième partie conduit le lecteur au cœur du contenu de l'ouvrage en abordant l'anticipation du changement climatique. Il s'agit alors d'imaginer et de prédire autant que possible les futurs impacts du changement climatique. Pour cela, des connaissances complémentaires sont apportées et des outils de simulation et de prédiction sont présentés. Des perspectives en matière de modélisation, de prédiction et d'approfondissement des connaissances sont dressées pour quatre enjeux majeurs : la phénologie, pour laquelle des modèles améliorés sont susceptibles de

prédire les impacts attendus (chapitre 7); la contrainte hydrique, qui nécessite de comprendre et de gérer une diversité de processus (chapitre 8); la qualité des fruits et le rendement, pour lesquels une modélisation agroécophysologique constitue à long terme un outil essentiel pour simuler et concevoir des itinéraires techniques et la sélection des variétés adaptées au changement climatique (chapitre 9). Un dernier chapitre est consacré aux bioagresseurs; dans ce domaine, il apparaît difficile de prédire les impacts du changement climatique en raison de la complexité et de la diversité des interactions entre leur fonctionnement, celui des auxiliaires et les conditions climatiques (chapitre 10).

Enfin, la dernière partie est consacrée aux mesures d'adaptation que l'on peut concrètement concevoir et engager. Tout d'abord, les objectifs et les stratégies d'une adaptation par amélioration génétique sont développés en considérant l'ensemble des changements environnementaux, notamment climatiques, et en soulignant la diversité des objectifs selon les espèces et les régions. Malgré sa lenteur et ses contraintes, l'amélioration génétique devrait constituer un levier essentiel de l'adaptation climatique en répondant à de nouveaux besoins de matériel génétique adapté aux futures conditions de culture, notamment quand les pratiques culturales ne peuvent pas apporter de solution (chapitre 11). Enfin, en synergie avec l'amélioration génétique, sont également examinées les possibilités d'adaptation des productions fruitières par de nouveaux systèmes culturaux et de nouvelles répartitions des aires de culture. Ces approches pourraient conduire à des choix déterminants selon les espèces cultivées, les évolutions écologiques des milieux de culture et les contraintes socio-économiques régionales (chapitre 12).

Chaque chapitre offre au lecteur une vision synthétique de l'état des connaissances du sujet traité et débouche sur des perspectives pour l'avenir. Il est complété par une bibliographie abondante qui permet d'approfondir les informations exposées. Une relative autonomie de lecture a été recherchée pour chacun des chapitres. Des renvois permettent cependant au lecteur d'effectuer des va-et-vient entre chapitres afin d'établir plus facilement des liens entre des connaissances successivement abordées, par exemple entre la description d'un processus, des impacts du changement climatique sur ce processus et des possibilités de prédiction de ces impacts. Dans un souci de pédagogie et de concrétisation des propos tenus, les connaissances, les résultats et les perspectives présentés sont par ailleurs largement émaillés d'exemples et d'illustrations.

L'ouvrage ne prétend pas être exhaustif. En se limitant essentiellement aux seuls effets du changement climatique sur les productions fruitières, il ne considère pas l'ensemble des possibilités d'atténuation du changement climatique par les productions fruitières, de leur élaboration en parcelle de production à leur conditionnement avant distribution. Il en est de même pour les services écosystémiques rendus par les productions fruitières et les éventuels effets du changement climatique sur ces services. Le développement de l'agroforesterie en production fruitière est toutefois présenté (chapitre 12) comme un système de culture pouvant contribuer à atténuer le changement climatique et à apporter des services écosystémiques. L'ouvrage ne prétend pas non plus établir ni proposer des réponses tranchées aux questions qu'il soulève; son ambition est avant tout de bien poser ces questions et de rassembler de multiples connaissances, savoir-faire et réflexions au service des acteurs qui vont concourir à l'adaptation des productions fruitières au cours des décennies à venir.



## Partie I

---

# Le contexte environnemental et socio-économique

