

PROGRAMME et RESUMES

17 au 19 Novembre 2015

INRA / Université Blaise Pascal UBP

de Clermont Ferrand

Campus Universitaire des Cézeaux

AUBIERE, France

Marc BONHOMME et Iñaki GARCIA de CORTAZAR ATAURI (Eds)

ISBN 978-2-9555581-0-2

<https://www6.ara.inra.fr/piaf/Productions-Scientifiques/La-presse-en-parle>

<http://www6.inra.fr/projet-accaf-perpheclim/Seminaires-du-Projet>

Comité d'organisation

Marc BONHOMME, INRA UMR 0547 PIAF Clermont-Ferrand

Iñaki GARCIA de CORTAZAR-ATAURI, INRA Agroclim Avignon

Norbert FRIZOT, INRA UMR 0547 PIAF Clermont-Ferrand

Isabelle LE MOUELLIC, INRA Agroclim Avignon

Dominique MARCON, INRA UMR 0547 PIAF Clermont-Ferrand

Sandrine MEYNIEL, UBP UMR 0547 PIAF Clermont-Ferrand

Dominique TIZIANI, INRA UMR 0547 PIAF Clermont-Ferrand

Sylvie VAYSSIE, INRA UMR 0547 PIAF Clermont-Ferrand

Comité scientifique

Vincent ALLARD, INRA UMR 1095 GDEC Clermont-Ferrand

Thierry AMÉGLIO, UMR 0547 PIAF Clermont-Ferrand

Jean Marc AUDERGON, INRA AGFL Avignon

Patrick BERTUZZI, INRA Agroclim Avignon

Marc BONHOMME, INRA UMR 0547 PIAF Clermont-Ferrand

Isabelle CHUINE, CNRS CEFE Montpellier

Hendrik DAVI, INRA URFM Avignon

Sylvain DELZON, INRA Biogeco Pierroton

Marie Laure DESPREZ-LOUSTAU, INRA Biogeco Pierroton

Elisabeth DIRLEWANGER, UMR 1332 BFP Bordeaux

Eric DUCHENE, INRA Colmar

Iñaki GARCIA de CORTAZAR-ATAURI, INRA Agroclim Avignon

François LEBOURGEOIS, AgroParisTech Nancy

Jean Michel LEGAVE, SupAgro Montpellier

PROGRAMME

PROGRAMME

Mardi 17 novembre 2015

Présidents de séance : Marc BONHOMME et Iñaki GARCIA de CORTAZAR ATAURI

- 08h15 - 09h00 Accueil des participants
- 09h00 – 09h10 Bienvenue et infos pratiques
- 09h10 – 09h20 Pierre Henrard, représentant de l'Université Blaise Pascal
- 09h20 – 09h 30 Jean Baptiste Coulon, Président du Centre INRA Auvergne Rhône Alpes
- 09h30 – 10h00 Nathalie Bréda
Présentation du métaprogramme ACCAF : Adaptation aux Changements Climatiques de l'Agriculture et de la Forêt

Session : les réseaux d'observation

Président de séance : Jean Michel LEGAVE

- 10h00 – 10h30 Inaki Garcia de Cortazar Aauri
PERPHECLIM - Evolution de la phénologie des espèces pérennes face au changement climatique : observatoires, bases de données, modélisation.
- 10h30 – 11h00 Pause café
- 11h00 – 11h30 Michel Thibaudon
Phénologie et réseaux d'observations
- 11h30 – 11h50 Jennifer Carré et Isabelle Chuine
L'Observatoire Des Saisons : un réseau citoyen d'observation phénologique
- 11h50 – 12h10 François Lebourgeois, Sébastien Cecchini, Manuel Nicolas
Suivi de la phénologie des arbres sur le réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers (RENECOFOR)
- 12h10 – 12h40 Danilo Christen et al.
Organisation des observations phénologiques en Suisse et impacts du climat sur la période de maturité et la qualité des pommes
- 12h40 – 14h00 Pause Déjeuner
- 14h00 – 14h10 présentation orale rapide des posters

Session : les tendances observées

Présidente de séance : Isabelle CHUINE

- 14h10 – 14h40** Carole Kerdelhué et al.
Pourquoi prendre en compte les changements de phénologie chez les insectes? Recherches et perspectives dans le cas de la processionnaire du pin.
- 14h40 – 15h00** Alexis Ducouso et al.
Variabilité individuelle interannuelle du débourrement du chêne sessile
- 15h00 – 15h20** Daphné Asse et al.
Caractérisation des différences régionales et altitudinales des phases de développement au printemps de cinq essences forestières sur l'ensemble des Alpes françaises.
- 15h20 – 15h30** présentation orale rapide des posters

15h30 – 16h00 pause café et session posters

Président de séance : Patrick BERTUZZI

- 16h00 – 16h30** Yann Vitasse.
Saisonnalité et résistance au gel des arbres caducifoliés de climats tempérés
- 16h30 – 16h50** Adnan El Yaacoubi et al.
Identification de différents modes de dormance chez un arbre fruitier suivant les conditions environnementales et le génotype cultivé : quel enseignement en terme d'adaptation ?
- 16h50 – 17h10** Donato Andueza et al.
Phénologie de 6 graminées prairiales au cours du premier cycle de végétation selon un gradient d'altitude
- 17h10 – 17h40** Jean Michel Legave et al.
Diversité géographique des changements de dates de floraison chez le pommier: quel enseignement face à un réchauffement croissant ?

17h40 – 18h30 session Posters

Soirée Libre

Mercredi 18 novembre 2015

08h00 – 08h01 Information du jour

Session : les méthodes classiques d'observations, les méthodes alternatives

Président de séance Hendrik DAVI

08h01 – 08h20 Jean Claude Mauget

Dormance des bourgeons et phénologie: synthèse des connaissances acquises par la mise en œuvre d'un test biologique simple

08h20 – 08h40

Luc Arnold

Phénologie et estimation de la distribution verticale de Chlorophylle dans un chêne *Quercus pubescens* par spectroscopie à fente

08h40 – 09h00

Marc Bonhomme et al.

A la recherche de méthodes alternatives aux tests biologiques classiques pour la détermination de la date de sortie d'endodormance : la quête du haut débit par le Groupe de Travail Dormance de Perpheclim et d'ODS.

09h00 – 90h20

Thierry Améglio et al.

PHENOTOOLS : un suivi continu de la croissance assistée par capteur pour comprendre la phénologie et physiologie d'espèces exotiques « acclimatées » au climat méditerranéen.

09h20 – 09h40

Rémi Beauvieux et al.

Dynamique de métabolites en relation avec l'état de dormance des bourgeons floraux chez le cerisier doux.

09h40 – 10h10 Pause café et posters

Session : les déterminismes et phénomènes sous-jacents de la phénologie,

Président de séance Thierry AMEGLIO

10h10 – 10h40

Guillaume Charrier et al.

Phénologie et résistance au gel : que nous apporte l'étude de la biologie hivernale ?

10h40 – 11h00

Hendrik Davi et al.

La levée de dormance: évènement ou processus dynamique intégré aux autres déterminants du débourrement?

11h00 – 11h20

Marie Laure Desprez-Loustau et al.

La phénologie de débourrement du chêne au croisement des interactions biotiques et abiotiques

11h20 – 11h40

Nicolas Delpierre et al.

Une revue des processus et de la modélisation de la phénologie des arbres forestiers tempérés et boréaux

11h40 – 12h00 Julie Caubel et al.
Méthode générique d'évaluation des impacts du changement climatique sur la faisabilité des cultures

12h00 – 13h30 pause déjeuner

Président de séance Eric DUCHÊNE

13h30 – 13h50 Thomas Caignard et al.
Variabilité phénotypique et génétique de l'effort de reproduction du chêne sessile (*Quercus petraea*) le long d'un gradient altitudinal.

13h50 – 14h10 Sylvie Sabatier et Yves Caraglio
De l'architecture à la phénologie de la croissance

14h10 – 14h30 Donato Andueza et al.
Impact de l'intensité d'exploitation sur la phénologie de 6 graminées prairiales

Session : les déterminismes génétiques

14h30 – 14h50 Nathalie Ollat et al.
Variabilité phénotypique pour la phénologie au sein d'une population de variétés sauvages de Vigne

14h50 – 15h20 Pause café et posters

Présidente de séance Marie Laure DESPREZ-LOUSTAU

15h20 – 15h40 Eric Duchêne et al.
Evaluation de la diversité phénotypique chez la vigne pour les stades de développement et recherche des déterminants génétiques

15h40 – 16h00 Benedicte Wenden et al.
Etude et compréhension du déterminisme génétique et moléculaire de la floraison chez le cerisier doux (*Prunus avium*)

16h00 – 16h20 Elisa Marguerit et al.
Architecture génétique du débourrement induite par les différents partenaires d'une plante greffée

16h20 – 16h40 Cyril Firmat et al.
Dynamique évolutive du cycle phénologique foliaire : le cas d'une méta-population de chênes sessiles le long d'un gradient altitudinal

16h40 – 17h30 session posters

18h00 Visite du vieux Clermont

20h00 Repas de Gala

Jeudi 19 novembre 2015

08h30 – 08h32 informations du jour

Session : modélisations de la phénologie

Président de séance Iñaki GARCIA de CORTAZAR ATAURI

08h32 – 09h00 Gaetan Bourgeois et al.
Modélisation bioclimatique de la phénologie des cultures annuelles et pérennes : Une approche générique

09h00 – 09h20 Xavier Le Bris et al.
Prévision et utilisation de la phénologie du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) dans des outils d'aide à la décision

09h20 – 09h40 Lucia Andreini et al.
La modélisation de la phénologie comme outil pour accéder à la régularité de production chez les *Prunus*.

09h40 – 10h00 Julie Gauzère et al.
Comment intégrer les effets combinés de la température et de la photopériode dans les modèles de débourrement végétatif ?

10h00 – 10h20 Benedicte Wenden et al.
Analyse statistique de données multi-sites de floraison pour le cerisier doux.

10h20 – 10h40 Isabelle Chuine et al.
Les modèles phénologiques donnent-ils des prédictions fiables pour le futur? La face cachée de la dormance

10h40 – 11h00 Pause café et posters

Session : bases de données et systèmes informatiques

Président de séance François LEBOURGEOIS

11h00 – 11h20 Inaki Garcia de Cortazar Atauri et Isabelle Chuine
Démonstration de PMP

11h20 – 11h40 Isabelle Chuine
La base de données Observatoire des Saisons (ODS)

11h40 – 12h00 Olivier Maury et al.
Portail d'accès aux données phénologiques

12h00 – 12h15 Inaki Garcia de Cortazar Atauri et Marc Bonhomme
Clôture du colloque

12h15 – 14h00 Déjeuner

RESUMES DES PRESENTATIONS ORALES

PERPHECLIM - Evolution de la phénologie des espèces pérennes face au changement climatique : observatoires, bases de données, modélisation.

I. Garcia De Cortazar-Atauri¹, J.M. Audergon², P. Bertuzzi¹ and PERPHECLIM Team

1 INRA, US1116 AGROCLIM, F-84914 Avignon, France

2 INRA, UR 052 GAFL, F-84143 Avignon, France

Résumé

Les espèces pérennes risquent d'être particulièrement affectées par les conditions climatiques futures, car leur adaptation et leur gestion doivent être anticipées longtemps à l'avance, ce qui constitue une difficulté majeure. Seules des modélisations adaptées peuvent nous permettre de telles anticipations. Dans ce contexte, le projet PERPHECLIM vise à mettre en place l'infrastructure nécessaire à l'observation, l'archivage des données et la modélisation de la phénologie des différentes espèces pérennes d'intérêt pour l'INRA. Cette infrastructure commune aux différentes filières (forêt, fruits et vignes), permettra de partager les connaissances, la gestion des données et les outils génériques de modélisation.

Mots clés

Phénologie, Infrastructure, Changement climatique, Modélisation, Système d'information, Observatoires

Introduction

L'augmentation des températures observées ces dernières décennies a généré un impact déjà observable sur la physiologie des plantes. Les espèces pérennes apparaissent ainsi particulièrement vulnérables du fait de leur longévité, car leur gestion et leur adaptation doivent être anticipées longtemps à l'avance. La phénologie est le premier indicateur biologique du changement climatique et un des principaux caractères-clé de la capacité d'adaptation des espèces à ces changements. Dans le passé, l'observation de l'évolution des stades phénologiques (débourement, floraison, maturation ...) sur différentes espèces a permis de mesurer l'ampleur du changement climatique. Les modifications observées génèrent des interrogations concernant leurs conséquences à moyen terme, aussi bien sur la croissance des plantes et l'élaboration du rendement que sur la qualité des fruits. Dans ce contexte, le projet PERPHECLIM a comme objectif de mettre en place les infrastructures nécessaires (observatoires, bases de données, outils de modélisation) à l'étude des questions d'adaptation concernant la phénologie des espèces pérennes et d'en permettre l'accès aux différents partenaires.

Description du projet

Le projet de PERPHECLIM a permis de mettre en place un Système d'Information permettant de partager des bases de données communes qui seront alimentés par des réseaux d'observatoires suivants des protocoles normalisés pour le long terme (figure 1). Ces données seront utilisées pour développer et calibrer des modèles phénologiques qui seront utilisés pour étudier l'adaptabilité des espèces aux nouvelles conditions climatiques.

Trois actions majeures ont été développées dans le cadre du projet (Figure 1):

1.- Mise en place des observatoires et harmonisation des protocoles d'observation.

Cette première action avait comme objectif de structurer les réseaux d'observatoires de chaque filière et de mettre en place des protocoles d'observation de la phénologie. Alors que les observatoires de vigne et forêt étaient déjà assez bien structurés, il manquait un dispositif pour les

espèces fruitières. Celui-ci a vu le jour au cours de l'hiver 2014-2015. Ce dispositif (unique en Europe) est composé de 5 variétés avec des phénologies très diverses pour les 4 espèces d'intérêt (Cerisier, Pommier, Abricotier, Pêcher) dans 6 sites climatiquement contrastés en France (Bordeaux, Montpellier, Avignon, Gotheron, Clermont Ferrand et Angers). D'autre part, le travail autour des protocoles d'observation a permis de mettre en place les fiches de description de stades et les protocoles d'observation. Enfin, le projet a permis de mettre en place des formations à l'observation de la phénologie et une intercalibration des observateurs) en collaboration avec l'Observatoire des Saisons.

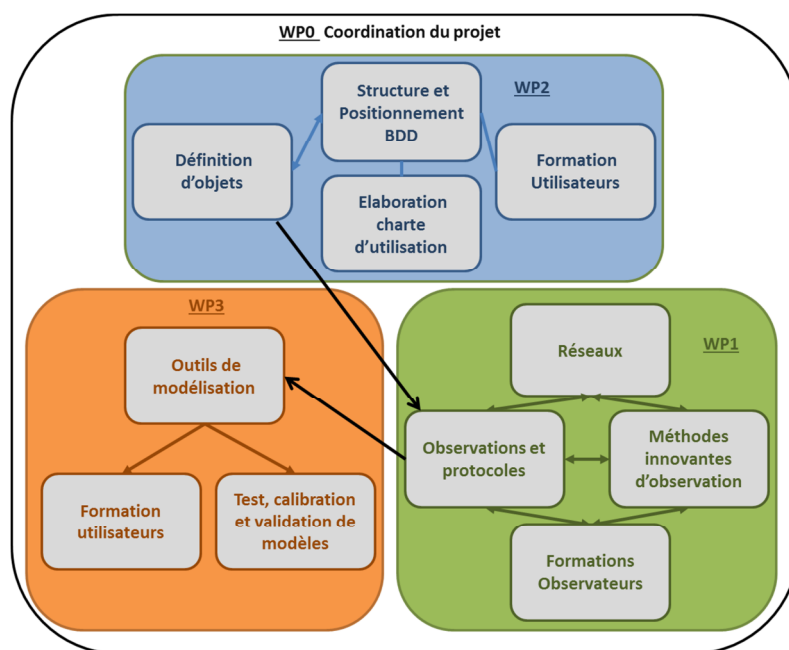


Figure 1.- Description des différentes actions du projet.

2.- Développement d'un Système d'Information

Une application Web permettant d'interconnecter les différentes bases de données de phénologie existantes (BDD URGI, BDD Observatoire des Saisons, BDD Koala...) [<http://w3.avignon.inra.fr/perpheclim/>] a été développée. Par ailleurs, plusieurs sites web ont été élaborés afin de rendre accessible à l'extérieur les activités du projet, ainsi que la documentation produite [<http://www6.inra.fr/projet-accaf-perpheclim>].

3.- Développement des outils de modélisation de la phénologie

Le travail concernant la modélisation de la phénologie a été axé sur deux axes : (a) appuyer le développement de la Plateforme de Modélisation de la Phénologie (PMP 5.5) comme outil principal pour calibrer et tester les modèles de phénologie ; (b) développer le premier module de calcul de la phénologie compatible avec plusieurs plateformes (premier version est actuellement compatible avec la plateforme RECORD). Par ailleurs, la formation à l'utilisation de PMP a aussi été une des actions qui ont été mise en place dans le cadre du projet.

Conclusions

Quelques points restent à finaliser mais l'essentiel des objectifs initiaux du projet est atteint. Le projet PERPHECLIM a permis de mettre en place un réseau de 90 agents travaillant sur la phénologie. Il a associé 28 unités INRA issues de 7 départements (BAP, EFPA, EA, SPE, SAD, MIA, CEPIA) et réparties sur 9 Centres de Recherche INRA (Angers-Nantes, Bordeaux-Aquitaine, Clermont-Ferrand - Theix, Colmar, Montpellier, Nancy, Orléans, PACA, Midi-Pyrénées), l'unité CEFE-CNRS de Montpellier, ainsi que diverses collaborations avec les instituts techniques (IFV, CTIFL, ONF...) et inter-professions.

Phénologie et réseaux d'observations

Michel Thibaudon

Réseau National de Surveillance Aerobiologique (RNSA), Le plat du pin, 69690 Brussieu

Adresse courriel pour correspondance : rnsa@rnsa.fr

Mots clés

Phénologie, pollens, risque allergique

Introduction

L'allergie aux pollens est liée aux pollens allergisants présents dans l'air. L'aérobiologie prend en compte plusieurs paramètres dont l'émission des pollens par les arbres et les plantes, le transport de ces grains de pollens par le vent et l'impact sanitaire par exemple la réaction allergique. La mesure des pollens dans l'air permet l'information des personnes allergiques, des autorités de santé et du corps médical mais il s'agit d'une donnée de réception des grains sur les capteurs au même titre que sur les voies respiratoires des allergiques. L'observation des phases phénologiques de la floraison et de la pollinisation est un élément essentiel pour connaître à l'avance le risque d'exposition de la population aux grains de pollens émis par les espèces végétales allergisantes

Résultats et discussion

Le RNSA utilise des réseaux d'observation divers dont en particulier un réseau d'observation phénologique situé dans une douzaine de villes du territoire représentant les principales régions climatiques et végétales de la France.

Les données de floraison des principales espèces allergisantes permettent de valider l'index de risque allergique lié à l'exposition aux pollens (RAEP) pour les jours voire la semaine à venir.

De plus, cette information concernant la source d'émission des pollens associée aux données des capteurs permet de construire des courbes d'exposition indispensables aux médecins et aux patients.

Conclusion

Ainsi, l'information sur le risque allergique lié à l'exposition aux pollens devient prévisionnelle. De plus, à la demande des ministères de la Santé et de l'Ecologie, le RNSA a édité, en 2008, un guide électronique « végétation en ville » (1) qui a pour objet d'informer les décideurs publics ou privés et les professionnels du paysage, sur la nécessité de prendre en compte la composante santé dans le choix et l'entretien des espèces végétales mises en place en zone urbaines ou péri-urbaines.

Références

(1) <http://www.vegetation-en-ville.org/>

(2) <http://www.pollens.fr/accueil.php>

L'Observatoire Des Saisons : un réseau citoyen d'observation phénologique

Jennifer Carré¹ et Isabelle Chuine²

1 Tela Botanica, 34000 Montpellier

2 CEFE, CNRS, 34293 Montpellier

Résumé

Les activités humaines constituent la cause dominante du réchauffement observé les 50 dernières années sur la Terre (5ème rapport du GIEC, 2014). Ce changement climatique a d'ores et déjà des conséquences sur la biodiversité et les écosystèmes. Au niveau politique, comme au niveau du citoyen, une prise de conscience de ces bouleversements est nécessaire pour décider si nous souhaitons changer nos modes de vie, d'aménagement et de consommation. Mais, comment susciter cette prise de conscience ?

Les programmes de sciences participatives sont un excellent outil de sensibilisation et d'initiation à la culture scientifique, permettant ainsi de vulgariser des notions techniques, et parfois abstraites, grâce à la manipulation et à l'observation. L'Observatoire Des Saisons (ODS, www.obs-saisons.fr). L'ODS est le premier programme de sciences participatives sur les effets du changement climatique à avoir vu le jour en France. Il est parrainé par Jean Jouzel, climatologue et membre du GIEC. Il a été créé en 2007 par le Groupement de Recherche du CNRS « Systèmes d'Information Phénologique pour la Gestion et l'Impact du Changement Climatique » et l'association Tela Botanica. Les objectifs de ce programme sont triples :

1. Collecter de l'information de façon standardisée sur l'ensemble du territoire sur les rythmes saisonniers de la faune et la flore.
2. Sensibiliser le public au changement climatique et ses impacts.
3. Etablir un dialogue entre chercheurs et citoyens.

L'ODS propose donc **aux citoyens de collecter des données** sur les rythmes saisonniers de la flore et de la faune pour contribuer à l'effort de recherche sur les effets du changement climatique. Le participant suit tout le long de l'année une ou plusieurs espèces dans une station pouvant être visitée régulièrement. Un jardin, un parc urbain, une parcelle ou un site naturel peuvent être des stations de veille du changement climatique. Cependant, le programme peut aussi dépasser le cadre citoyen et être porté par des relais divers. En effet, plusieurs structures (Centres Pédagogiques d'Initiation à l'Environnement, Parcs Naturels Régionaux, Conseils départementaux, Conseils régionaux) se sont déjà saisis du programme afin de l'utiliser comme un moyen de sensibilisation des acteurs du territoire.

L'ODS est à l'initiative des chercheurs et s'inscrit dans un programme de recherche qui vise à comprendre l'impact du changement climatique sur les écosystèmes. Il est donc étroitement encadré par des équipes de recherche. Les données du programme, après vérification par les experts, sont ajoutés à une base de données qui est également alimentée par les chercheurs, accessible en ligne à quiconque en fait la demande (www.gdr2968.cnrs.fr). Ces données sont aussi bien utilisées par les chercheurs pour leurs travaux de recherche propres, que par le Ministère de l'écologie pour construire des indicateurs de l'impact du changement climatique, mais aussi l'apiculteur, l'agriculteur, le gestionnaire d'espaces protégés ou d'espace verts, etc.

L'ODS a un petit frère en région Rhône-Alpes : Phenoclim, créé en 2004 et animé par le Centre de Recherche sur les Ecosystèmes d'Altitude, basé à Chamonix, et qui est partenaire d'ODS depuis sa création.

L'ODS bénéficie aujourd'hui un réseau solide et fidèle d'observateurs (>4000 inscrits) qui s'est constitué grâce aux compétences en animation de réseau de l'association Tela Botanica et du CREA et aux outils adaptés qu'ils ont développés en collaboration étroite avec les chercheurs. L'ODS collecte chaque année plus de 2000 observations.

L'ODS a été présent dans de nombreuses manifestations organisées dans le cadre de la COP21 en 2015 mais son action se situe dans la durée. Ce programme qui a fait ses preuves offre les moyens de répondre aux préoccupations des citoyens, des acteurs de terrain et des politiques concernant les impacts du changement climatique sur leurs territoires : une façon simple et efficace pour sensibiliser tous les citoyens dès l'école primaire à l'environnement, la biodiversité et les impacts du changement climatique sur ceux-ci, et pour documenter ces impacts sur l'ensemble du territoire français.

Mots clés

Sciences participatives, phénologie, changement climatique

Références

GIEC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Suivi de la phénologie des arbres sur le réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers (RENECOFOR)

François Lebourgeois¹, Sébastien Cecchini² et Manuel Nicolas²

1 AgroParisTech - Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, 14 rue Girardet - CS 14216, 54 042, Nancy Cedex, France, francois.lebourgeois@agroparistech.fr

2 Office National des Forêts, Département Recherche, Développement, Innovation, Boulevard de Constance, 77300, Fontainebleau, France, manuel.nicolas@onf.fr

Enjeux

Les changements environnementaux (climat, pollutions atmosphériques, évolution de la biodiversité) font peser de lourdes incertitudes sur l'avenir de la forêt et des services qu'elle rend à la société. La phénologie des arbres fait partie des paramètres sensibles aux variations climatiques et dont l'évolution pourrait avoir des conséquences sur l'adaptation des essences et sur le fonctionnement de l'écosystème forestier dans son ensemble. Installé en 1992 par l'ONF, le réseau RENECOFOR est un dispositif d'observation à long terme des écosystèmes forestiers constitué de 102 placettes permanentes réparties en France métropolitaine. Ses objectifs principaux sont de pouvoir détecter des tendances dans les différents compartiments de l'écosystème et d'améliorer la compréhension des relations existant entre les facteurs environnementaux et le fonctionnement des forêts.

Données collectées

Les paramètres suivis sur chaque placette concernent l'atmosphère (dépôts atmosphériques, ozone, météorologie), le sol (description, propriétés physicochimiques), les arbres (phénologie, croissance, état sanitaire, nutrition minérale, chutes de litière) et la diversité biologique (inventaires floristiques principalement). Les observations phénologiques sont menées chaque année depuis 1997. Elles sont réalisées par les forestiers locaux en charge des placettes suivant des répétitions d'observation hebdomadaires. Les événements phénologiques ciblés sont le débourrement du feuillage des arbres au printemps et – pour les essences caducifoliées – le jaunissement ou la chute du feuillage à l'automne. Elles concernent l'essence principale de chaque placette, par le suivi de 36 arbres observation de statut social dominant ou codominant, et le cas échéant l'essence majoritaire du sous-étage appréhendée sur l'ensemble de la surface délimitée de la placette. Les données recueillies à l'échelle de la placette correspondent aux dates auxquelles chaque événement ciblé a été atteint pour 10 % puis pour 90 % des arbres de chaque essence observée. De plus depuis 2009, le protocole a été enrichi par la notation individuelle des 36 arbres observation de l'essence principale (Ulrich *et al.*, 2009).

Valorisation

La base de données du réseau RENECOFOR constitue une source d'information unique pour la phénologie des arbres forestiers, par sa couverture nationale, par sa continuité et par les possibilités croisement qu'elle offre avec d'autres paramètres de suivi des arbres et de l'écosystème. Son contenu est mis à disposition gratuitement sur demande. Son potentiel de valorisation peut être illustré par des exemples d'utilisation diversifiés :

- Analyse des variations de la précocité des stades phénologiques et de la longueur de la saison de végétation (Lebourgeois *et al.*, 2008 ; Delpierre *et al.*, 2009), modélisation statistique à partir de facteurs géographiques et météorologiques,

extrapolations spatiales et prédictions futures suivant différents scénarios climatiques (Lebourgeois *et al.*, 2010) ;

- Développement du modèle de répartition des espèces à base de processus PHENOFIT, valorisé dans des études simulant des évolutions futures (Cheaib *et al.*, 2012) ou rétrospectives (Saltré *et al.*, 2013) ;
- Estimation de flux d'eau, par exemple à partir du modèle à compartiments et à flux BILJOU (Badeau et Ulrich, 2008), et de flux d'éléments minéraux dans les études portant sur la biogéochimie des écosystèmes (Gandois *et al.*, 2010 ; Van der Heijden *et al.*, 2011 ; Jonard *et al.*, 2012 ; Gaudio *et al.*, 2015) ;
- Evaluation des possibilités de détermination de la date de débourrement des peuplements forestiers à partir de données satellitaires MODIS (Soudani *et al.*, 2008).

Références

- Badeau V., Ulrich E., 2008 : RENECOFOR - Etude critique de faisabilité sur : la comparabilité des données météorologiques « RENECOFOR » avec celles de Météo France, l'estimation de la réserve utile en eau du sol et le calcul des volumes d'eau drainée en vue du calcul de bilans minéraux sur les placettes du sous-réseau CATAENAT. Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique et Commercial Bois, ISBN 978 - 2 - 84207 - 323 - 7, 107 p. et 166 pages annexes.
- Cheaib A., Badeau V., Boe J., Chuine I., Delire C., Dufrêne E., François C., Gritti E.S., Legay M., Pagé C., Thuiller W., Viovy N., Leadley P. 2012: Climate change impacts on tree ranges: model intercomparison facilitates understanding and quantification of uncertainty. *Ecology Letters*, 15(6) :533-544, DOI: 10.1111/j.1461-0248.2012.01764.x
- Delpierre N., Dufrêne E., Soudani K., Ulrich E., Cecchini S., Boé J., François C., 2009 : Modelling interannual and spatial variability of leaf senescence for three deciduous tree species in France. *Agricultural and Forest Meteorology/Elsevier*, 4017: doi:10.1016/j.agrformet.2008.11.014.
- Gaudio N., Belyazid S., Gendre X., Mansat A., Nicolas M., Rizzetto S., Sverdrup H., Probst A., 2015: Combined effect of atmospheric nitrogen deposition and climate change on temperate forest soil biogeochemistry: A modeling approach. *Ecological Modelling*, 306:24-34, DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2014.10.002
- Jonard M., Legout A., Nicolas M., Dambrine E., Nys C., Ulrich E., van der Perre R., Ponette Q., 2012: Deterioration of Norway spruce vitality despite a sharp decline in acid deposition: a long-term integrated perspective. *Global Change Biology* 18 (2): 711–725 DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02550.x
- Gandois L., Nicolas M., Van Der Heijden G., Probst A., 2010 : Importance of biomass net uptake for a trace metal budget in a forest stand (north-eastern part of France). *Science of the Total Environment* 2010, 408 (23) : 5870-5877
- Lebourgeois F., Pierrat J.-C., Perez V., Piédallu C., Cecchini S., Ulrich E., 2008 : Déterminisme de la phénologie des forêts tempérées françaises : étude sur les peuplements du réseau RENECOFOR. *Revue Forestière Française*, 60, 3:323-343.
- Lebourgeois F., Pierrat J.-C., Perez V., Piedallu C., Cecchini S., Ulrich E., 2010: Simulating phenological shifts in French temperate forests under two climatic change scenarios and four driving global circulation models. *International Journal of Biometeorology* 54:563–581
- Saltré F., Saint-Amant R., Gritti E.S., Brewer S., Gaucherel C., Davis B.A.S. & Chuine I., 2013: Climate or migration: what limited European beech postglacial colonization? *Global Ecology and Biogeography*, 22(11):1217-1227, DOI: 10.1111/geb.12085
- Soudani K., Le Maire G., Dufrêne E., François C., Delpierre N., Ulrich E., Cecchini S., 2008: Evaluation of the onset of green-up in temperate deciduous broadleaf forests derived from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data. *Remote Sensing of Environment* 112:2643-2655
- Ulrich E., Cecchini S., Lebourgeois F., Bréda N., Dupouey J.-L., Nageleisen L.-M., 2009 : RENECOFOR - Manuel de référence n° 12 pour les observations phénologiques, 2ème version, Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique et Commerciale Bois, Département Recherche, 27 p.
- Van der Heijden G., Legout A., Nicolas M., Ulrich E., Johnson D.W., Dambrine E., 2011: Long-term sustainability of forest ecosystems on sandstone in the Vosges Mountains (France) facing atmospheric deposition and silvicultural change. *Forest Ecology and Management*, 261(3):730-740

Organisation des observations phénologiques en Suisse et impacts du climat sur la période de maturité et la qualité des pommes.

Danilo Christen¹, Anne-Lise Fabre², Pierre-Henri Dubuis², Olivier Viret²

1 Agroscope, Institut des sciences en production végétale, Groupe de recherche Production fruitière en région alpine, CH-1964 Conthey

2 Agroscope, Institut des sciences en production végétale, Protection des végétaux grandes cultures et vigne / Viticulture et œnologie, CH-1260 Nyon

Résumé

La Suisse dispose de deux réseaux d'observations météorologiques parallèles. Le premier réseau géré par MeteoSuisse a pour but d'offrir des prestations plutôt générales à la population. Le deuxième réseau, Agrometeo est une plate-forme qui rassemble des outils d'aide à la décision et des informations permettant une meilleure gestion de la lutte phytosanitaire en agriculture. Les deux réseaux sont donc utiles et offrent des prestations adaptées aux besoins précis des clients. Afin d'illustrer ces prestations, une étude portant sur l'évolution des dates de récoltes des pommes 'Gala' a été réalisée, avec une analyse détaillée de l'influence du réchauffement climatique sur l'aptitude à l'entreposage et la qualité de cette variété. Les résultats montrent que les 'Gala' sont récoltées actuellement 3 semaines plus tôt qu'il y a 30 ans et que des problèmes de conservation provoqués par de fortes chaleurs en été sont observés. A l'exemple de cette variété, une réflexion doit être menée pour le choix des variétés de pommes à planter dans le futur.

Mots clés

Réseaux suisses d'observations, phénologie, maturation des fruits, pommiers, conservation

Introduction

Le réseau d'observations phénologiques de MétéoSuisse comprend 160 stations. Pour décrire le développement de la végétation, 26 espèces de plantes différentes sont examinées au cours des saisons. Ces informations permettent d'analyser les effets du changement climatique sur la végétation et d'élaborer des modèles prévisionnels du début de la floraison. En parallèle, Agrometeo est une plate-forme qui rassemble des outils d'aide à la décision et des informations permettant une meilleure gestion de la lutte phytosanitaire en agriculture. Elle est basée sur un réseau de plus de 150 stations autonomes, qui fournissent des données météorologiques microclimatiques utilisées par différents modèles de prévision des risques pour des maladies fongiques et des ravageurs. AGROMETEO contient également des informations sur les maladies et les ravageurs, la phénologie, la maturation du raisin, les produits phytosanitaires et leur dosage en fonction des surfaces foliaires, ainsi qu'un module pour l'irrigation en arboriculture. Ces réseaux permettent tout d'abord de mettre en évidence des réchauffements climatiques, ainsi que d'autres événements climatiques extrêmes, tels que de fortes précipitations en hiver ou des périodes de sécheresse pendant l'été. Tous ces événements ont une influence sur les productions agricoles (Fuhrer et al., 2006). De nombreuses études réalisées sur des arbres fruitiers traitent de l'influence du réchauffement climatique sur la floraison. Ce réchauffement influence également la période de récolte des pommes, ainsi que leur aptitude à la conservation.

Résultats et discussion

Les résultats des analyses des données phénologiques MeteoSuisse sont exploités à diverses fins, comme les effets du changement climatique sur la végétation (p.ex. indice de printemps) ou

l'établissement de modèles prévisionnels du début de la floraison en vue de prévisions polliniques (allergies). En outre, il existe en Suisse deux longues séries d'observations phénologiques très précieuses. La première, qui remonte à 1808, est consacrée au marronnier d'Inde à Genève, tandis que la floraison d'un cerisier est observée à Liestal depuis 1894.

Agrometeo est par contre plutôt destiné aux producteurs. Toutes les informations sont mises à leur disposition par Agroscope. Agrometeo est devenu un outil très apprécié et très consulté par les producteurs et les services officiels. Le module météorologie permet d'accéder aux données météorologiques mesurées par les stations qui constituent l'élément central d'Agrometeo. Les modèles de prévision des infections des maladies fongiques et du développement des ravageurs se basent sur les connaissances de la biologie de ces organismes en relation avec les facteurs météorologiques déterminants. Il s'agit d'outils d'aide à la décision qui permettent d'évaluer le développement d'une maladie ou d'un ravageur et d'orienter une décision de traitement. Des modèles sont disponibles actuellement pour le mildiou et l'oïdium de la vigne, les vers de la grappe, la tavelure du pommier et le feu bactérien. Depuis 2009, des prévisions météorologiques à 5 jours sont intégrées dans les modèles pour le mildiou, l'oïdium et les vers de la grappe. Ceci permet d'effectuer de réelles prévisions de risques.

L'influence du changement climatique n'est pas sans conséquence sur la production et l'entreposage des pommes 'Gala'. En effet, lors de ces 30 dernières années, l'augmentation moyenne de la température cumulée pour la période de végétation allant de mars à fin août est de 3.2°C. Ce réchauffement est encore plus marqué au printemps avec +3.7°C en avril, +4.2°C en mai et +3.7°C en juin. Ces conditions favorisent la végétation et avancent la période de récolte des fruits à la dernière quinzaine d'août au lieu de la mi-septembre dans le début des années 1980 (Figure 1). De plus, pour les années qui ont présenté une période de récolte très précoce, telles que 2000, 2003, 2007 ou 2009, l'aptitude à l'entreposage a fortement été diminuée, avec une augmentation du taux de brunissement de la chair, pouvant atteindre plus de 20%. La température cumulée entre mars et fin août a été bien corrélée avec le taux de brunissement de la chair ($R^2=0.68$).

Conclusion

Les réseaux d'observations météorologiques sont une source d'informations indispensable pour le développement de divers modèles de prévision. Les pommes 'Gala' se récoltent actuellement en Valais à la fin du mois d'août, ce qui correspond à un avancement de 3 semaines par rapport à la période de récolte du début des années 1980. Le niveau de brunissement de la chair est fortement augmenté en cas d'année précoce. La question se pose alors de savoir s'il ne serait pas judicieux à l'avenir, de s'adapter à cette situation en réduisant les surfaces de cette variété dans certaines régions, comme le Valais, au profit d'autres à maturité plus tardive.

Références

Fuhrer J., Beniston M., Fischlin A., Frei C., Goyette S., Jasper K. & Pfister C. 2006. Climate risks and their impact on agriculture and forests in Switzerland. *Climatic Change* 79:79–102.

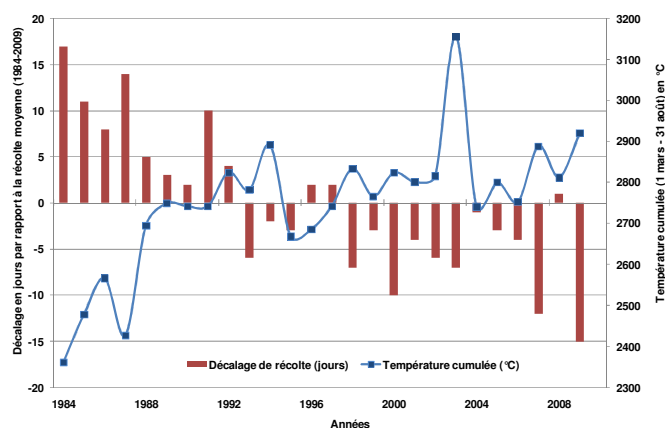


Figure 1. Décalage de récolte en jours par rapport à la récolte moyenne (1984-2009) des pommes Gala à Conthey (Valais) et température moyenne journalière cumulée (entre le 1 mars et le 31 août).

Pourquoi prendre en compte les changements de phénologie chez les insectes? Recherches et perspectives dans le cas de la processionnaire du pin

Carole Kerdelhué¹, Mathieu Laparie², Christelle Robinet² & Jérôme Rousselet²

1 INRA Centre de Montpellier, UMR CBGP, 755 avenue du Campus Agropolis, CS30016, F-34988 Montferrier-sur-Lez Cedex, France; correspondance Carole.Kerdelhue@supagro.inra.fr

2 INRA Centre d'Orléans Val de Loire, URZF, 2163 avenue de la pomme de pin CS40001 Ardon 45075 Orléans Cedex 2, France

Résumé

Chez les insectes, la phénologie correspond au calage temporel des principales étapes du cycle biologique. Souvent spatialement variable, elle est de plus en cours de modification à cause des changements climatiques. Ces modifications peuvent mettre en péril certaines relations biotiques, et conduire à l'échec des méthodes de gestion ou d'alerte dans le cas des ravageurs. Ces principes seront illustrés par le cas de la processionnaire du pin, et les perspectives de recherche sur le sujet seront présentées.

Mots clés (maximum 6): processionnaire du pin, adaptation locale, piégeage, gestion durable des populations, décalage phénologique, modélisation

Introduction

Chez les insectes, la phénologie correspond au calage temporel des principales étapes du cycle biologique (reproduction sexuée, stades larvaires, nymphose,...). Dans les régions tempérées, des phénomènes de diapause permettent généralement la survie hivernale, notamment aux stades œuf et nymphe. La phénologie est souvent variable spatialement, et permet aux espèces de s'adapter à différentes contraintes biotiques et abiotiques (températures rencontrées par les différents stades, synchronisation avec la plante ou l'insecte hôte, etc).

Les changements climatiques en cours peuvent amener des modifications progressives des aires de distribution des espèces, mais également de leur phénologie (Parmesan 2006). Un cas classiquement étudié est la date d'activité plus précoce des pollinisateurs. Ces modifications liées au climat peuvent être une opportunité d'adaptation locale pour les organismes (survie in situ des populations malgré un environnement changeant), mais peuvent également avoir pour conséquence des ruptures de synchronisation des relations biotiques amenant éventuellement à des pertes de services écosystémiques (pollinisation, lutte biologique...). Elles peuvent également accroître les risques d'extinction locale si les pressions engendrées sur les différents stades de vie sont contradictoires, ou si l'évolution plastique de la phénologie est maladaptative. Dans le cas des phytophages ravageurs, les modifications de cycle de vie actuellement observées amènent dans certains cas à des échecs locaux des stratégies de lutte jusqu'à présent efficaces, et diminuent le pouvoir prédictif des approches de modélisation. Ces problématiques seront illustrées par le cas de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*, Lepidoptera, Notodontidae) en France.

Résultats et perspectives de recherche

La processionnaire du pin est une espèce Méditerranéenne dont les chenilles grégaires se développent en hiver dans des nids tissés autour des aiguilles de l'hôte. Son cycle de vie est annuel, mais des phénomènes de diapause prolongée au stade nymphal permettent dans certaines situations l'émergence d'individus de la même génération sur plusieurs années. Avec le réchauffement climatique en cours, on observe depuis plusieurs années une expansion régulière de l'aire de distribution de cette espèce vers le nord (Battisti *et al.*, 2005). Cette expansion dans des territoires urbanisés s'accompagne de problèmes de santé humaine et animale liés au pouvoir urticant des chenilles de derniers stades (Roques, 2015).

Le cycle de vie de la processionnaire dépend des conditions environnementales (Huchon et Démolin, 1970), et répond aux principales pressions de sélection s'exerçant sur les jeunes stades larvaires. Le

développement embryonnaire dure environ un mois, et un décalage dans la date de reproduction se traduit nécessairement par des conditions environnementales différentes pour les chenilles de premiers stades (L1 et L2). En limite nord de l'aire, le risque principal est lié aux gelées précoces auxquelles les jeunes larves sont sensibles, mais la reproduction a lieu en début d'été et permet à la plupart des larves d'atteindre le stade L3 et de tisser un nid avant les premiers gels automnaux (Fig. 1). À l'inverse, au sud, où les premiers épisodes froids sont tardifs, les fortes chaleurs estivales représentent le principal risque abiotique pour les L1/L2 (Santos *et al.*, 2011). Toutefois, la diapause nymphale est paradoxalement le plus longue dans ces régions chaudes, conduisant à une reproduction en milieu ou fin d'été qui limite l'exposition des jeunes larves aux hautes températures. Logiquement, l'espèce est absente des régions continentales rencontrant à la fois des étés très chauds et des hivers précoces (Roques, 2015). Une connaissance satisfaisante de la phénologie locale de ce ravageur a jusqu'à présent permis de synchroniser les divers moyens de lutte avec les stades de développement visés (Leblond *et al.*, 2010), et de paramétrer des modèles prédictifs de l'expansion des populations, et donc des risques (Robinet *et al.*, 2014). Cependant, les changements climatiques en cours, impliquant à la fois un réchauffement moyen du climat mais également une fréquence accrue des événements extrêmes (tempêtes, canicules, vagues de chaleur automnales, vagues de froid, gels précoces ou tardifs), semblent être responsables de modifications locales de la phénologie de l'espèce (date moyenne et variance). Cela entraîne des échecs des stratégies de gestion, ainsi que des diminutions de notre capacité à prédire l'expansion et à cartographier le risque.

Les recherches en cours et/ou à développer sur le sujet ont des objectifs fondamentaux et appliqués. Elles impliquent :

- Le développement d'outils et de réseaux permettant un suivi à long terme de la phénologie dans les grandes régions bioclimatiques de France (pièges à phéromone pour la date de reproduction, observations des processions pour les risques allergiques)
- La mise à jour des "abaques de phénologie" en fonction du climat, et le développement d'un modèle phénologique du type modèle degrés-jours
- La traduction des résultats en termes de cartographie spatio-temporelle des risques de contact avec les stades urticants, couplée à une communication efficace
- La prise en compte explicite des modifications de la phénologie et de sa variance ainsi que de leur hétérogénéité spatiale dans les paramètres de survie des modèles prédictifs et dans la modélisation de l'aire de distribution selon les scénarios de changement climatique
- Le développement d'outils de génétique et génomique des populations pour comprendre les mécanismes de régulation de ce trait et avancer sur la caractérisation de son architecture génétique.

Références

- Battisti, A., Stastny, M., Netherer, S., Robinet, C., Schopf, A., Roques, A., Larsson, S., 2005. Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecological Applications* 15, 2084-2096.
- Huchon, H., Démolin, G., 1970. La bioécologie de la processionnaire du pin. Dispersion potentielle – dispersion actuelle. *Revue Forestière Française* 151, 220-234.
- Leblond, A., Martin, J.-C., Napoléone, C., Geniaux, G., Robinet, C., Provendier, D., Gutleben, C., 2010. La processionnaire du pin vue par ses gestionnaires. Une enquête auprès des communes françaises donne un nouveau regard sur ce ravageur. *Phytoma* 633, 18-23.
- Parmesan, C., 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 37, 637-669.
- Robinet, C., Rousset, J., Roques, A., 2014. Potential spread of the pine processionary moth in France: preliminary results from a simulation model and future challenges. *Annals of Forest Science* 71, 149-160.
- Roques, A. (editeur), 2015. "*Processionary moths and climate change: an update*". Springer / Quae Editions, 427 pp.

Santos, H., Paiva, M.-R., Tavares, C., Kerdelhué, C., Branco, M., 2011. Temperature niche shift observed in a Lepidoptera population under allochronic divergence. *Journal of Evolutionary Biology* 24, 1897-1905.

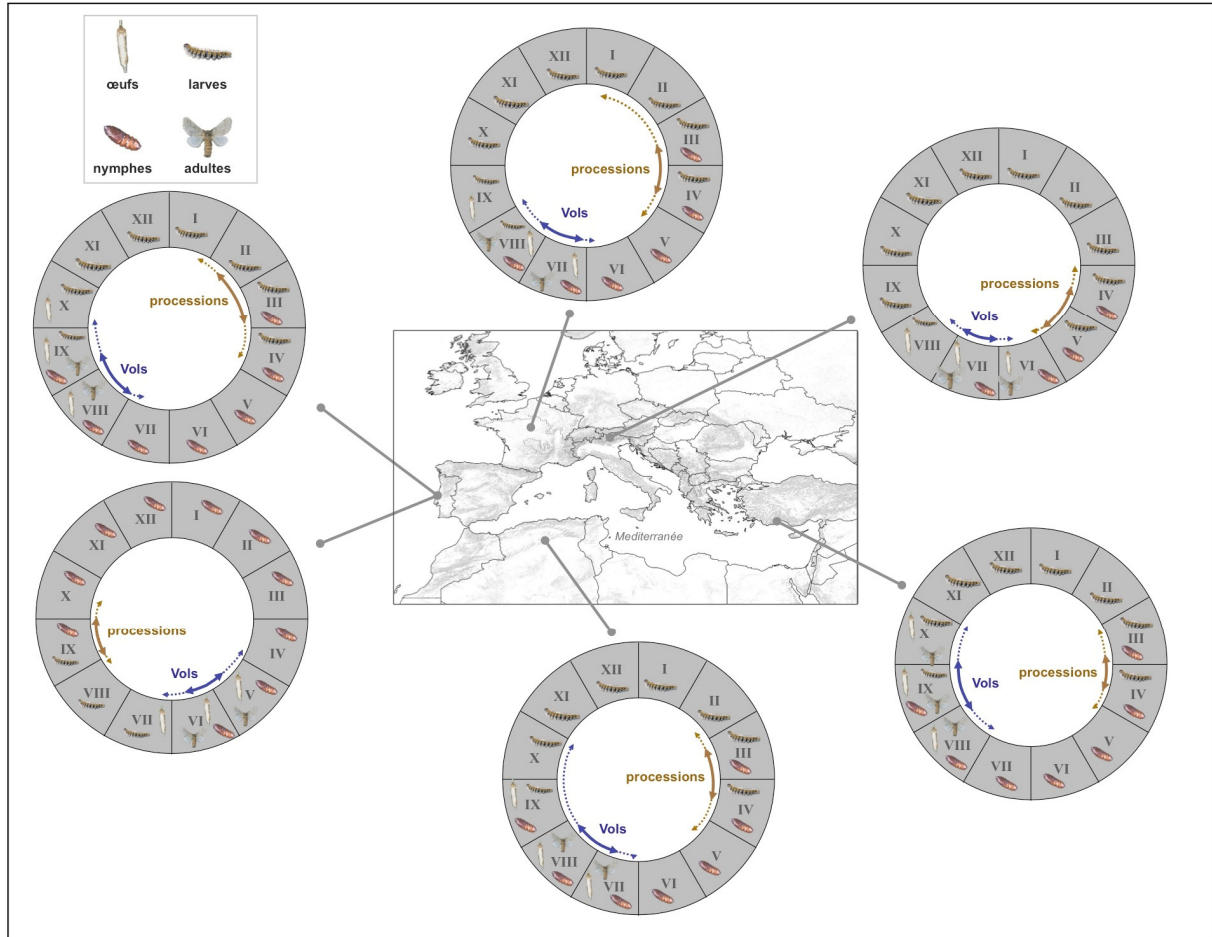


Figure 1: Illustration de la variation géographique du cycle biologique de la processionnaire du pin. Les dates de vol et de procession sont mises en évidence. Au Portugal, une population unique ayant un cycle atypique a été découverte en 1997. Modifiée d'après Roques, 2015.

Variabilité individuelle interannuelle du débourrement du chêne sessile

Alexis Ducouso¹, Camille Oudin¹, Fabrice Bonne², Sylvia Dayau³ et Dominique Guyon³

1 INRA, UMR 1202 BIOGECO, F-33610, Cestas, France; Univ. Bordeaux, UMR 1202 BIOGECO, F-33400 Talence, France

2 INRA, UEFL, F-54280 Champenoux, France

3 INRA, UMR 1391 ISPA, 33882 Villenave d'Ornon, France et Bordeaux Sciences Agro, F-33175 Gradignan, France

Résumé

Un observatoire phénologique a été installé dans un test de provenances de chêne sessile. Nous avons observé la cinétique du débourrement depuis 2007 en utilisant la notation BBCH pour 6 populations représentatives de la variabilité génétique de l'espèce. Nous ferons une synthèse sur la variabilité phénologique individuelle et interannuelle.

Mots clés

Quercus petraea, débourrement, notation BBCH, proxidétection, variabilité interannuelle, variabilité individuelle.

Introduction

Les rôles économique et écologique de cette espèce sont très importants. Du fait des changements climatiques, l'aire de répartition de cette essence pourrait se réduire fortement en France (Thuilliez, 2003). La phénologie est un caractère clef dans l'adaptation aux changements climatiques. Pour cela, nous avons étudié la cinétique du débourrement depuis 2007 dans un observatoire phénologique. Nous avons sélectionné 6 populations représentatives de la variabilité génétique du chêne sessile pour le débourrement. Les populations sélectionnées sont les suivantes : St Aubin du Cormier (Ille-et-Vilaine, France), Fontainebleau (Seine-et-Marne, France), Soudrain (Cher, France), Bussièrès (Haute-Marne, France), KlostermarienberG (Autriche) et Bad Hersfeld (Allemagne). Nous avons adapté l'échelle BBCH et noté les 106 individus deux à trois fois par semaine durant la phase du débourrement. D'autre part, nous avons suivi au niveau des populations la phénologie à l'aide de capteur PAR.

Résultats et discussion

Les résultats obtenus montrent que seules les deux populations, autrichienne et française de Fontainebleau, sont significativement différentes. Elles sont précoce et tardive respectivement. L'analyse sur plusieurs années a montré l'influence de la température sur les dates de débourrement. Plus la température est élevée plus le débourrement est précoce et inversement. De plus, les données de proxidétection et celles issues des observations visuelles ne sont pas significativement différentes. Elles seraient donc complémentaires à certains niveaux. Selon les années, les différences entre les populations est de 5,4 à 7,5 jours et au niveau individuel de 15 à 35 jours. La période de gel qu'a subi en 2012 la population autrichienne, nous a permis d'appréhender la réponse physiologique de l'espèce en terme de temps nécessaire à la plante pour redémarrer entièrement sa croissance. En moyenne, il faut 31,8 jours.

Conclusion

Le chêne sessile montre une grande variabilité entre les populations et entre les individus au niveau de son comportement phénologique. Le débourrement peut être suivi par notation visuelle BBCH ou par proxidtection, les deux méthodes donnent des résultats concordants. Le chêne sessile présente donc de grandes potentialités adaptatives pour le débourrement ce qui lui confère un atout pour affronter les changements climatiques.

Caractérisation des différences altitudinales, régionales et interannuelles des phénophases printanières de cinq essences forestières sur l'ensemble des Alpes françaises par l'apport d'un programme de sciences participatives

Daphné Asse¹, Isabelle Chuine², Anne Delestrade¹, Christophe Randin³

1 Centre de Recherches sur les Ecosystèmes d'Altitude (CREA), Chamonix Mont-Blanc, France

2 CNRS, UMR 5175 Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE), équipe DREAM, Montpellier, France

3 Université de Lausanne (UNIL), Département d'Ecologie & d'Evolution (DEE), Lausanne, Suisse

Résumé

Dans cette présentation, nous montrerons comment des données phénologiques collectées par un programme de science participative couvrant l'ensemble des Alpes françaises ([Phénoclim](http://www.creamontblanc.org/), <http://www.creamontblanc.org/>) permettent de caractériser les variations spatio-temporelles des phases de développement au printemps chez les principales essences forestières depuis 10 ans.

Mots clés

Alpes, phénologie, science participative, gradient d'altitude

Les régions alpines sont particulièrement sensibles aux changements climatiques en cours. Ainsi, l'ouest des Alpes s'est réchauffé deux fois plus vite que l'hémisphère Nord au cours du XXI^{ème} siècle (+1,5 à +2°C, Moisselin *et al.*, 2002 ; Beniston, 2004 ; Rebetez & Reinhard, 2008). De plus, de nombreuses preuves indiquent que le taux du réchauffement est amplifié avec l'altitude (Mountain Research Initiative EDW Working Group., 2015), ce qui suggère que les écosystèmes de montagne pourraient subir des changements plus rapides de température que ceux à plus faible altitude. Les rythmes saisonniers des arbres, comme beaucoup d'autres organismes, sont fortement modifiés par le réchauffement climatique (Menzel, 2013 ; Parmesan & Yohe, 2003). Des avancées phénologiques de l'ordre de 2 semaines au printemps sur la période 1951-2000 dans les Alpes suisses ont été observés (Defila & Clot, 2005). Cependant, la récolte de données phénologiques est coûteuse car elle se fait par une évaluation visuelle sur plusieurs individus par population et plusieurs populations par espèce, et nécessite une fréquence de suivi élevée tout au long des saisons. La plupart des études ayant pour objet la phénologie le long de gradients altitudinaux, ont donc dû se limiter à quelques sites (par exemple deux gradients d'altitude dans Vitasse, 2009). La compréhension des modifications environnementales en cours, à l'échelle du massif des Alpes, nécessite donc la mise en place de réseaux de suivi et des plans d'observations spécifiques sur le long terme.

Depuis 2004, le Centre de Recherches sur les Ecosystèmes d'Altitude (CREA) a mis en place un programme de science participative, Phénoclim, qui a permis entre autre la récolte de nombreuses observations phénologiques sur cinq essences forestières (mélèze, bouleau verruqueux, épicéa, noisetier, frêne) sur l'ensemble des Alpes françaises. La couverture de stations de Météo-France étant faible en altitude (> 1500 m) et les hétérogénéités des températures fortes en montagne (ex. inversions et continentalité), le CREA a installé à proximité de 70 sites d'observation Phénoclim des stations mesurant la température de l'air à 2 mètres mais aussi la température du sol.

L'exploitation de la base de données Phénoclim nous a permis dans un premier temps de caractériser les variations phénologiques régionales et interannuelles au printemps de cinq espèces forestières durant 10 années. Ce travail d'analyse des données nous a permis de répondre en particulier aux questions suivantes :

- Avec l'altitude, quels sont les facteurs additifs (effet de l'année, de la position géographique et de la radiation) qui expliquent le mieux la variation des dates des phases phénologiques ?
- La contribution de ces facteurs est-elle identique entre espèces et entre phases phénologiques ?

- Existe-il une relation non linéaire entre les événements phénologiques et la température : autrement dit les tendances des observations phénologiques sont-elles différentes en fonction de l'altitude ?

A l'issue de ces analyses, une représentation des événements phénologiques des différentes espèces sera établie pour chaque année à l'échelle des Alpes françaises à la résolution spatiale de 1km. Ces données seront, dans un deuxième temps, utilisées d'une part pour paramétrer des modèles basés-processus pour les dates de débourrement et de floraison des cinq espèces retenues, et d'autre part pour tester de nouvelles hypothèses quant au déterminisme environnemental des événements phénologiques.

Références

- Beniston M., 2004. *Climatic Change and Impacts: An Overview Focusing on Switzerland*. Kluwer Academic Publishers, 296 pp.
- Defila C. & Clot B., 2005. Phytophenological trends in the Swiss Alps, 1951-2002. *Meteorologische Zeitschrift*, 14, 2, 191-196
- Mountain Research Initiative EDW Working Group., (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Climate Change*, 5(5), 424-430
- Menzel A., 2013. Plant phenological "fingerprints". Detection of climate change impacts. In: Schwartz MD (Ed), *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Kluwer Publishers, Dordrecht, Boston, London, 335-350
- Moisselin J.-M, Schneider M., Canellas C., Mestre O., 2002. Les changements climatiques en France au XX^e siècle. Etude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. *Météorologie*, 38, 45-56
- Parmesan C. & Yohe G., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37-42
- Rebetez M. & Reinhard M., 2008. Monthly air temperature trends in Switzerland 1901-2000 and 1975-2004. *Theoretical and Applied Climatology*, 91, 27-34
- Vitasse Y., 2009. Déterminismes environnemental et génétique de la phénologie des arbres de climat tempéré – Suivi des dates de débourrement et de sénescence le long d'un gradient altitudinal et en tests de provenances. Thèse, Université Bordeaux 1, 410p.

Saisonnalité et résistance au gel des arbres caducifoliés de climats tempérés

Yann Vitasse¹⁻²

1 University of Neuchatel, Institute of Geography, Neuchatel, Switzerland

2 WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Davos, Switzerland

Résumé

Les climats tempérés sont définis par une forte saisonnalité avec potentiellement des changements brusques de température qui peuvent avoir lieu au cours de chacune des quatre saisons. Pour prospérer dans un tel climat, les arbres doivent résister à un hiver froid et à la survenue d'événements stochastiques de gel pouvant avoir lieu presque n'importe quand au cours de l'année, en particulier au printemps car les jeunes feuilles sont très vulnérables au gel. Les arbres tempérés ont ainsi développé des mécanismes physiologiques pour éviter et tolérer le gel. Ces mécanismes incluent une acclimatation au froid à l'automne, une période de dormance durant l'hiver avec une grande résistance au gel, et le maintien d'une certaine tolérance face au gel au cours de la phase de désendurcissement au début du printemps. Le passage d'une phase à l'autre est modulé par des interactions complexes entre la température et la photopériode.

Cette présentation s'attache à montrer l'interaction entre la phénologie des arbres et la résistance au gel spécifique ainsi que les facteurs ontogénétiques qui influencent la phénologie des arbres tempérés.

Mots clés

Acclimatation au gel, climat tempéré, débourrement, facteurs ontogénétiques, résistance au gel, saisonnalité

Résultats & Discussion

Parmi les différentes espèces étudiées (*Sorbus aucuparia*, *Sorbus aria*, *Acer pseudoplatanus*, *Laburnum alpinum*, *Prunus avium*, *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Fraxinus excelsior*), aucune ne semble présenter un risque de dommage par le gel au cours du printemps, de l'automne et de l'hiver. En revanche, la résistance au gel est minimale au cours de l'émergence des feuilles chez toutes les espèces étudiées. Le risque de rencontrer des dégâts liés au gel au cours de cette période reste néanmoins minime en raison de la forte plasticité phénologique des espèces vis à vis de la température. Par exemple, nous avons montré que la marge de sécurité face au gel restait la même pour toutes les espèces étudiées le long de gradients altitudinaux grâce au décalage du débourrement avec l'altitude, à l'exception du hêtre pour lequel cette marge a tendance à diminuer avec l'altitude. De forts facteurs ontogénétiques ont été mis en évidence pour le débourrement, i.e. les jeunes arbres ont une phénologie printanière plus précoce que les arbres matures. Cependant la résistance au gel est identique entre les jeunes arbres et les arbres adultes à condition que la mesure soit effectuée au même stade phénologique du bourgeon.

Références

Delpierre, N., Vitasse, Y., Chuine, I., Guillemot, J., Bazot, S., Rutishauser, T. & Rathgeber, C.B.K. (2015) Temperate and boreal forest tree phenology: from organ-scale processes to terrestrial ecosystem models. *Annals of Forest Science*, 1-21.

- Fu, Y.H., Zhao, H., Piao, S., Peaucelle, M., Peng, S., Zhou, G., Ciais, P., Huang, M., Menzel, A., Penuelas, J., Song, Y., Vitisase, Y., Zeng, Z. & Janssens, I.A. (2015) Declining global warming effects on the phenology of spring leaf unfolding. *Nature*, **526**, 104-107.
- Lenz, A., Hoch, G., Vitisase, Y. & Körner, C. (2013) European deciduous trees exhibit similar safety margins against damage by spring freeze events along elevational gradients. *New Phytologist*, **200**, 1166-1175.
- Lenz, A., Hoch, G., Körner, C. & Vitisase, Y. (in revision-a) Convergence of leaf-out timing towards minimum risk of freezing damage in temperate trees. *in revision*.
- Lenz, A., Hoch, G. & Vitisase, Y. (in revision-b) High potential of acclimation in freezing resistance of *Fagus sylvatica* to variation in winter temperature. *in revision*.
- Vitisase, Y., Porte, A.J., Kremer, A., Michalet, R. & Delzon, S. (2009) Responses of canopy duration to temperature changes in four temperate tree species: relative contributions of spring and autumn leaf phenology. *Oecologia*, **161**, 187-198.
- Vitisase, Y. (2013) Ontogenic changes rather than difference in temperature cause understory trees to leaf out earlier. *New Phytologist*, **198**, 149-155.
- Vitisase, Y., Lenz, A., Hoch, G. & Körner, C. (2014a) Earlier leaf-out rather than difference in freezing resistance puts juvenile trees at greater risk of freeze damage than adult trees. *Journal of Ecology*, **102**, 981-988.
- Vitisase, Y., Lenz, A. & Koerner, C. (2014b) The interaction between freezing tolerance and phenology in temperate deciduous trees. *Frontiers in Plant Science*, **5**.

Identification de différents modes de dormance chez un arbre fruitier suivant les conditions environnementales et le génotype cultivé : quel enseignement en terme d'adaptation?

Adnane El Yaacoubi¹, Gustavo Malagi², Ahmed Oukabli³, Idémir citadin⁴, Marc Bonhomme⁵, Majida Hafidi¹, Jean-Michel Legave⁶

1 Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences Meknès, Maroc

2 Université Fédérale de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brésil

3 INRA, CRRA Meknès, Maroc

4 Université Technologique Fédérale du Parana, Pato Branco, Brésil

5 INRA et Université Blaise Pascal, UMR PIAF, Clermont-Ferrand, France

6 INRA et Montpellier SupAgro, UMR AGAP, Montpellier, France

Résumé

Des tests de forçage durant la dormance ont été appliqués à des bourgeons végétatifs et floraux de pommier dans deux sites à climats doux (Nord du Maroc, Sud du Brésil) et un site à climat tempéré (Sud de la France). Des tests similaires ont été conduits pour l'amandier dans le Nord du Maroc. Des différences d'intensité et de cinétique de dormance ont été identifiées en lien avec les différences régionales de satisfaction des besoins en froid et différents niveaux de besoins des génotypes étudiés. La diversité observée des modes de dormance suggère que des génotypes adaptés aux climats doux (amandiers, pommiers à faibles besoins en froid) se caractérisent par une aptitude des bourgeons végétatifs à demeurer dans un état de faible dormance et une aptitude des ébauches florales à croître rapidement, garantissant l'absence d'anomalies phénologiques ultérieures à la feuillaison et la floraison.

Mots clés

pommier, amandier, tests de dormance, bourgeons végétatifs et floraux, adaptation climatique

Introduction

Les processus de débourrement et floraison des arbres fruitiers de climat tempéré sont étroitement liés aux conditions de température assurant la levée de dormance et l'écodormance. L'aptitude d'un environnement climatique à satisfaire les besoins en froid et en chaleur des bourgeons constitue ainsi un aspect majeur de l'adaptation à cet environnement (Dennis et al., 1994). La levée de dormance, mais aussi l'écodormance, demeurent toutefois des phases mal connues et consécutivement mal modélisées (Pope et al, 2014). Une comparaison des dynamiques de dormance des bourgeons végétatifs et floraux de pommier a récemment conduit à identifier des modes contrastés entre un climat tempéré favorable à la culture (Sud de la France) et un climat doux peu favorable (Sud du Brésil) ainsi que des modes variétaux différents (Malagi et al., 2015). Afin d'élargir cette approche, ces dynamiques ont été également comparées entre des variétés de pommier et des variétés d'amandier sous le climat doux du Nord du Maroc peu favorable à la culture du pommier mais favorable à celle de l'amandier.

Le forçage de boutures à un nœud (Rageau, 1978) et celui de la croissance des ébauches florales (Tabuenca, 1964) ont été utilisés pour évaluer conjointement les dynamiques des bourgeons végétatifs et floraux. L'objet de cette présentation est d'identifier des aptitudes variétales chez un arbre fruitier de climat tempéré en vue de son d'adaptation en climats doux représentatifs du futur climatique européen.

Résultats et discussion

Notre approche a révélé chez le pommier d'importantes différences de dynamique de dormance entre les trois sites et les différents génotypes étudiés. L'entrée et l'intensité maximale de dormance apparaissent fortement liées à des périodes de basses températures durant l'automne et le début de l'hiver. Ainsi les différentes phases de dormance des bourgeons végétatifs sont apparues difficiles à distinguer en climats doux, notamment subtropicaux (Brésil) où l'endodormance serait particulièrement faible et courte, voire inexistante pour des variétés à faibles besoins en froid. De même, l'aptitude à la croissance des ébauches florales a présenté des dynamiques concomitantes de croissance des poids frais et secs en climat doux, contrairement à une augmentation significative du poids frais plus précoce que celle du poids sec en climat tempéré. Toutefois, quel que soit le site ou la variété, la levée de dormance des bourgeons floraux serait liée à un changement significatif de la croissance en poids sec des ébauches florales, qui correspondrait à une teneur en eau de près de 80%. Un haut niveau des températures durant la dormance en climats doux expliquerait une rapide croissance des ébauches associée à une rapide réhydratation (courte écodormance) en comparaison d'une dynamique plus lente observée en climat tempéré. Des variétés à moindres et faibles besoins en froid se caractériseraient en conditions de forçage par une plus grande aptitude au débournement des bourgeons végétatifs et une aptitude plus précoce des ébauches florales à croître rapidement

Dans un climat doux Méditerranéen (Nord du Maroc), les variétés d'amandier ont présenté une très faible intensité de dormance des bourgeons végétatifs ainsi qu'une aptitude très précoce des ébauches florales à croître rapidement comparativement aux variétés de pommier, notamment celles exigeantes en froid.

Conclusion

Notre étude précise les différences de dynamique annuelle de la dormance des bourgeons d'arbres fruitiers entre des climats doux et tempérés. Face à un besoin de connaissances pour adapter ces espèces de climat tempéré à divers climats doux (Méditerranéens à subtropicaux), nos résultats suggèrent l'existence de deux caractéristiques variétales majeures en vue de l'adaptation de la phénologie des bourgeons à un climat doux: (1) une aptitude des bourgeons végétatifs à demeurer dans un état de faible et courte dormance, (2) une aptitude des ébauches florales à croître rapidement. Ces aptitudes seraient notamment liées à de faibles exigences variétales en besoins en froid.

Sur un plan méthodologique, elle montre l'intérêt chez les arbres fruitiers de combiner plusieurs méthodes d'approche de la dynamique de dormance, et de les exploiter dans un large espace géographique recouvrant des conditions climatiques contrastées

Références

- Dennis, F.J (1994). Dormancy-what we know (and don't know). *HortScience* 29, 1249-1255.
- Malagi, G., Sachet, M.R., Citadin, I., Herter, F.G., Bonhomme, M., Regnard, J.L., Legave, J.M. (2015) The comparison of dormancy dynamics in apple trees grown under temperate and mild Winter climates imposes a renewal of classical approaches. *Trees*. doi: 10.1007/s00468-015-1214-3.
- Pope, K.S., Da Silva, D., Brown, P.H., Dejong, T.M. (2014). A biologically based approach to modeling spring phenology in temperate deciduous trees. *Agric. For. Meteorol.* 198-199, 15-23.
- Rageau, R. (1978). Croissance et débournement des bourgeons végétatifs de pêcher (*Prunus persica* L. Batsch). *C.R. Acad. Sciences. Paris, Série D. Sci Nat* 226 (18),1845–1848.
- Tabuenca, M.C. (1964). Necesidades de frio invernal de variedades de albaricoquero, melocotonero y peral. *An Aula Dei* 7,113–132.

Phénologie de 6 graminées prairiales au cours du premier cycle de végétation selon un gradient d'altitude

Donato Andueza¹, Fabienne Picard¹, Nicolas Rossignol¹, Jean Marie Ballet¹, Marie Claude Pizaine¹, Laurent Lanore¹, Priscilla Note², René Baumont¹, Pascal Carrère³

1 INRA Auvergne Rhône Alpes, site de Clermont-Ferrand, UMR 1213 Herbivores, Clermont-Ferrand, France

2 INRA Auvergne Rhône Alpes, site de Laqueuille, UE1296-UEMA Laqueuille, France

3 INRA Auvergne Rhône Alpes, site de Clermont-Ferrand, UMR874-UREP, Clermont-Ferrand, France

Résumé

La phénologie de 6 graminées prairiales au cours de leur premier cycle de végétation a été caractérisée sur 3 sites du Massif Central répartis selon un gradient d'altitude (plaine, collinéen, montagnard). Sur la base des sommes de températures (ST), les six espèces ont présenté une phénologie similaire sur les trois sites : La Fétuque ovine a été l'espèce la plus précoce, la Fléole des prés, le Ray-grass anglais et le Dactyle aggloméré ont été les plus tardives, tandis que la Fétuque rouge et le Vulpin des prés ont présenté un comportement intermédiaire. Cela confirme le caractère espèce dépendante de la phénologie des graminées prairiales, et le pouvoir intégrateur de la ST pour décrire la phénologie des différentes espèces.

Mots clés

graminées, prairie, 1^{er} cycle végétation, phénologie

Introduction

La phénologie des espèces fourragères est le principal facteur qui conditionne leur valeur nutritive. Au cours du premier cycle, la végétation est sensible à la température moyenne journalière, ce qui permet d'utiliser la somme des températures (ST) pour caractériser leur phénologie. Dans la prairie permanente il y a une coexistence d'espèces et de stades phénologiques dont leur proportion varie entre prairies et notamment par rapport à leur altitude. Une meilleure connaissance de la phénologie des principales espèces des prairies apparaît essentielle pour comprendre l'évolution de la valeur nutritive de ces dernières. L'objectif de ce travail est d'étudier la stabilité de la relation entre la ST et la phénologie pour 6 espèces prairiales implantées dans des environnements d'altitude différente.

Matériel et Méthodes

Un dispositif expérimental de collections d'espèces fourragères a été implanté en 2008 sur 3 sites dans le Puy de Dôme selon un gradient d'altitude : Clermont-Ferrand (350 m, plaine), Theix (850 m, collinéen) et Laqueuille (1150m, montagnard). Chaque collection était composée de six graminées : Fléole des prés (FLE) cv Rasant, Ray-grass anglais (RGA) cv Milca, Fétuque ovine (FO) cv Spartan, Dactyle aggloméré (DAC) cv Starly, Fétuque rouge (FR) cv Swing et Vulpin des prés (VUL) cv Levoscaska. Chaque espèce a été semée en parcelles individuelles de 6 x 1,5 m² selon un schéma expérimental en bloc au hasard avec 3 répétitions. Les dispositifs ont été semés au printemps de 2008 mais à Clermont-Ferrand, il a été ressemé à l'automne 2008 à cause de la mauvaise levée des graines au printemps. L'expérimentation a été conduite en fertilisation non limitante. Le suivi des parcelles a été réalisé en 2009 et 2010. Des prélèvements de fourrage ont été réalisés au cours du premier cycle de végétation, aux ST entre 400 °jours (j) et 1400 °j tous les 100 °j. La ST moyenne (supérieures à zéro et bornées à 19 °C) a commencé chaque année le 1^{er} février. La détermination du stade phénologique a été effectuée sur 40 talles prélevées au hasard dans l'échantillon selon la grille

suivante : 1,5- végétatif, 2-début montaison, 2,5- montaison, 3-fin montaison, 3,1- début épiaison, 3,3-épiaison, 3,5- fin épiaison, 3,8- floraison, 4- grain visible, 4,1- grain laiteux, 4,4- grain pâteux, 4,7- grain mature, 4,9- grain tombé. Chaque talle a été triée selon son stade de développement, puis l'ensemble des talles à un même stade de développement ont été séchées (60°C, 72h) puis pesées. Le stade moyen de l'échantillon est déterminé par la moyenne des stades de chaque talle pondérée par leur biomasse respective.

Résultats et discussion

Pour une espèce donnée, la phénologie suit un patron comparable sur les trois sites et pour les deux années (Figure 1) à l'exception de Clermont-Ferrand pour l'année 2009 (Figure 2). Dans ce site en 2009, la phénologie est retardée et le comportement des espèces diffère par rapport aux autres sites. La différence de date de semence entre l'essai de Clermont-Ferrand et ceux de Theix et Laqueuille peut expliquer ce résultat. La FO a montré une phénologie plus précoce par rapport aux autres espèces dans les trois sites à l'exception de Clermont-Ferrand en 2009. Au contraire, le DAC et la FLE ont été caractérisés par un retard dans l'évolution du stade phénologique. Enfin, le VUL et la FO ont montrées une phénologie intermédiaire. Le RGA évolue plus vite que le reste des espèces au cours du cycle de végétation. Ces résultats diffèrent par rapport à ceux obtenus par Duru et al., (2007) pour la FO et Carrère et al (2010) pour le DAC. La méthodologie différente dans la caractérisation des stades de développement ainsi que les conditions de culture peuvent expliquer ces différences.

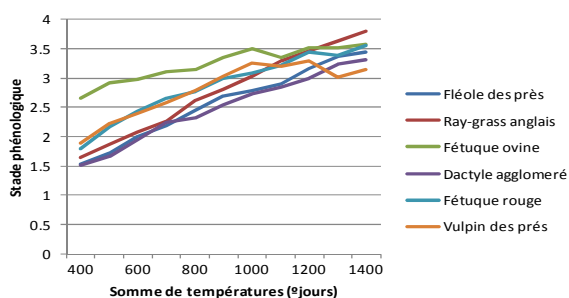


Figure 1. Phénologie des 6 graminées. Données moyennes de Theix et Laqueuille en 2009 et 2010 ainsi que de Clermont-Ferrand de 2010

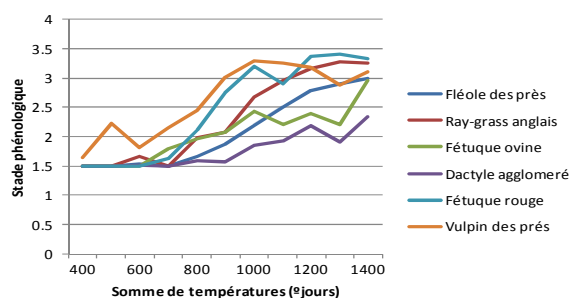


Figure 2. Phénologie de 6 graminées à Clermont-Ferrand en 2009

Conclusion

L'évolution de la phénologie est différente selon les espèces prairiales. La date de semence des espèces a une influence importante sur le développement et leur phénologie la première année. Les résultats confirment le caractère espèce dépendante de la phénologie des graminées prairiales, et le pouvoir intégrateur de la ST pour décrire la phénologie des différentes espèces dans les prairies permanentes mais pas toujours dans les prairies temporaires. Ils ouvrent des perspectives sur l'influence de différents modes de conduite des prairies sur la phénologie des espèces prairiales.

Références

- Carrère, P., Pontes, L. da S., Andueza, D., Louault, F., Rosseel, D., Taini, E., Pons, B., Toillon, S., Soussana, J.-F., 2010. Evolution de la valeur nutritive de graminées prairiales au cours de leur cycle de développement. *Fourrages* 201, 27-35.
- Duru, M., Cruz, P., Theau, J.-P., Jouany, C., Ansquer, P., Al Haj Khaled, R., Therond, O. 2007. Typologies de prairies riches en espèces en vue d'évaluer leur valeur d'usage: bases agroécologiques et exemples d'application. *Fourrages* 192, 453-475.

Diversité géographique des changements de dates de floraison chez le pommier: quel enseignement face à un réchauffement croissant ?

Jean-Michel Legave¹, Yann Guédon², Adnane El Yaacoubi³, Gustavo Malagi⁴, Vincent Mathieu⁵, Danilo Christen⁶, Isabelle Farrera¹, Marc Bonhomme⁷

1 INRA et Montpellier SupAgro, UMR AGAP, Montpellier, France

2 Cirad UMR AGAP et Inria, Virtual Plants, Montpellier, France

3 Université Moulay Ismail, Meknès, Maroc

4 Université Fédérale de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brésil

5 Ctifl, Bellegarde, France

6 Agroscope, Conthey, Suisse

7 INRA et Université Blaise Pascal, UMR PIAF, Clermont-Ferrand, France

Résumé

Les changements de dates de floraison du pommier dans un passé récent ont été étudiés à une échelle mondiale. Une modélisation statistique de séries de dates de floraison et de températures révèle une diversité géographique des changements de dates et du réchauffement de l'automne au printemps. Face à un contexte de réchauffement globalement croissant mais géographiquement variable, l'adaptation de la phénologie, notamment en Europe, doit ainsi être raisonnée à des niveaux régionaux dont les caractéristiques climatiques et les contours géographique sont à définir.

Mots clés

arbre fruitier, phénologie, température, détection de ruptures multiples, adaptation climatique

Introduction

Les réponses au réchauffement climatique de la phénologie florale des arbres fruitiers de climat tempéré ont été étudiées dans un passé récent pour différentes espèces et régions du monde (Fujisawa et Kobayashi, 2010; Grab et Craparo, 2011; Črepinšek et al., 2012). Pour une espèce donnée, les données de floraison ont cependant été rarement collectées sur une vaste aire géographique couvrant une large gamme climatique (Legave et al., 2013). Ceci peut expliquer que seules des avancées de floraison ont été mises en évidence chez les arbres fruitiers contrairement à d'autres plantes pérennes étudiées à l'échelle de continents, pour lesquelles des réponses diverses ont été mises en évidence (Zhang et al., 2007; Schwartz et Hanes, 2010; Cook et al., 2012). Afin d'identifier une diversité similaire chez les arbres fruitiers, des dates de floraison (stades BBCH 61 et 65) ont été rassemblées pour le pommier sur trois à cinq décennies à partir d'un réseau expérimental à échelle mondiale incluant 7 sites européens contrastés, 1 site marocain et 2 sites brésiliens principaux (**Fig.1**). L'analyse de 30 séries de dates de floraison (site x cultivar x stade BBCH) et de séries correspondantes de températures s'est appuyée sur une modélisation statistique testant à la fois des modèles constants par morceaux et des modèles linéaires par morceaux (incluant les simples modèles linéaires dans le cas d'un seul segment). Ceci a permis de tester à la fois les hypothèses de tendance linéaire et de ruptures pour ces séries.

Résultats et discussion

Les séries de dates de floraison montrent une grande diversité spatio-temporelle allant d'avancées de floraison à des séries stationnaires pour les deux stades étudiés. Les sites européens à climats tempérés sont caractérisés par des avancées de floraison, à l'exception notable du site

Méditerranéen de Nîmes dont l'évolution la plus probable des dates de floraison sur 40 ans est un état stationnaire (**Fig.2**). Les sites à climats doux sont caractérisés soit par des avancées de floraison (série marocaine et une série brésilienne) soit par des dates de floraison stationnaires (autres séries brésiliennes). Une analyse complémentaire pour chaque site de séries de températures, couvrant des périodes déterminantes pour la satisfaction des besoins en froid et en chaleur, permet d'expliquer la diversité des réponses phénologiques en termes d'interactions entre des différences régionales de déterminisme climatique de la date de floraison et des différences régionales de contexte du réchauffement climatique récent. Les séries de nombres de jours entre les dates 61 et 65 sont stationnaires pour tous les sites avec des valeurs moyennes significativement plus élevées pour les sites à climats doux. Sur cette base, les implications sur l'adaptation climatique sont discutées en fonction d'évolutions possiblement diverses de la cinétique de floraison (précocité, synchronisme, étalement) suivant les caractéristiques régionales (climatiques et géographiques).

Conclusion

Des collectes à long terme de dates de floraison diversifiées et une modélisation statistique de séries phénologiques et thermiques ont conduit à une vision élargie et une compréhension améliorée des évolutions de la phénologie florale du pommier dans un passé récent. Ceci permet d'en tirer un enseignement pour l'adaptation climatique du pommier, notamment à l'échelle européenne.

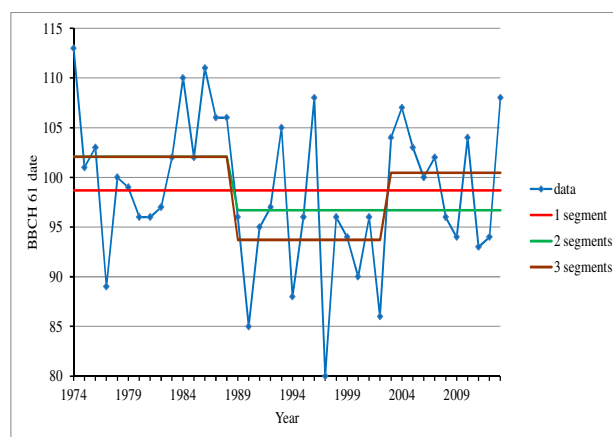
Références

- Cook, B.I., Wolkovich, E.M., Parmesan, C. (2012). Divergent responses to spring and winter warming drive community level flowering trends. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 109, 9000-5.
- Črepinšek, Z., Štampar, F., Kajfež-Bogataj, L., Solar, A. (2012). The response of *Corylus avellana* L. phenology to rising temperature in north-eastern Slovenia. *Int. J. Biometeorol.* 56, 681-694.
- Fujisawa, M., and Kobayashi, K. (2010). Apple (*Malus pumila* var. domestica) phenology is advancing due to rising air temperature in northern Japan. *Glob. Chang. Biol.* 16, 2651-2660
- Grab, S., and Czaparo, A. (2011). Advance of apple and pear tree full bloom dates in response to climate change in the southwestern Cape, South Africa: 1973-2009. *Agric. For. Meteorol.* 151, 406-413.
- Legave, J.M., Blanke, M., Christen, D., Giovannini, D., Mathieu, V., Oger, R. (2013). A comprehensive overview of the spatial and temporal variability of apple bud dormancy release and blooming phenology in Western Europe. *Int. J. Biometeorol.* 57, 317-31.
- Schwartz, M.D., and Hanes, J.M. (2010). Continental-scale phenology: warming and chill. *Int. J. Climatol.* 30, 1595-1598.
- Zhang, X., Tarpley, D., Sullivan, J.T. (2007). Diverse responses of vegetation phenology to a warming climate. *Geophys. Res. Lett.* 34,1-5.

Figure 1. Sites d'observation à échelle mondiale (Hémisphères Nord et Sud, climats tempérés et doux)



Figure 2. Modélisation de la série Golden Delicious x stade 61 à Nîmes, en utilisant des modèles constants par morceaux (1 à 3 segments)



Dormance des bourgeons et phénologie: synthèse des connaissances acquises par la mise en œuvre d'un test biologique simple

Jean-Claude Mauget

AGROCAMPUS OUEST, Centre d'Angers, Angers, France

Résumé

La phénologie des espèces ligneuses dépend de la période de repos apparent qui précède, pendant la mauvaise saison, le débourrement de leurs bourgeons. Ce repos apparent est marqué par la dormance des bourgeons qui, elle-même, est constituée d'une succession d'états physiologiques dont l'expression la plus évidente est une plus ou moins grande incapacité de croissance en conditions écologiques réputées favorables. Le premier de ces états baptisé endodormance nécessite l'action des températures froides d'automne pour être surmonté. S'ensuit une phase d'écodormance correspondant à une récupération totale de la capacité de croissance: cette croissance est d'autant plus rapide que les températures de fin d'hiver et de printemps sont élevées conduisant au débourrement observé *in situ*. En conditions d'hiver doux, ce qui correspond au climat des zones tropicales, les températures ne sont pas suffisamment basses pour permettre une sortie correcte d'endodormance. Ceci a pour conséquence un débourrement retardé et erratique. Cette situation préfigure ce que pourrait être ans le futur le comportement des espèces ligneuses fruitières et forestières dans le contexte actuel du changement du climat de la France .

Mots clés

arbre, débourrement, floraison, adaptation

Introduction

Les recherches entreprises à l'INRA de Clermont-Ferrand à partir de 1970 sur la dormance des bourgeons avaient pour objectif agronomique de cerner le déterminisme de la date de débourrement afin d'évaluer l'adaptation des espèces et cultivars fruitiers aux climats locaux, en particulier vis à vis du gel printanier. Par la suite, cet objectif a été étendu à la compréhension de la mauvaise adaptation des espèces de climat tempéré aux zones à hiver doux. L'étude de la dormance s'est appuyée sur le test biologique des boutures de nœuds isolés qui permet de quantifier l'état dormant au moyen du temps nécessaire au débourrement d'une population de bourgeons placés dans des conditions climatiques standard. Cette approche, même si elle ne renseigne pas sur les déterminismes cellulaires des états dormants, permet des comparaisons entre espèces et variétés, situations climatiques et autorise l'établissement de lois d'action de la température sur le développement des bourgeons.

Résultats et discussion

La technique des boutures de nœuds isolés a permis de décrire la période de dormance des bourgeons chez un nombre important d'espèces fruitières et forestières (Crabbé, 1968) sans parler de la vigne qui a fait l'objet des travaux pionniers de Pouget (1963) et Nigond (1967). Cette dynamique de dormance a la même allure quelle que soit l'espèce ou la variété considérée (Mauget, 1988). Schématiquement, elle est constituée d'une phase d'endodormance levée par les températures froides d'automne, suivie d'une phase d'écodormance au cours de laquelle les bourgeons ont récupéré une complète capacité de croissance, d'autant plus rapide que la

température de fin d'hiver et début de printemps est plus élevée. Seules varient la durée de la phase d'endodormance et la valeur maximale du temps moyen nécessaire au débourrement permettant de distinguer des dormances plus ou moins profondes, cette profondeur semblant déterminée par les événements climatiques ou phytotechniques (taillages, effeuillages) survenus au cours de l'été précédent. Cependant il n'a jamais été possible de montrer une relation entre la profondeur de la dormance et la difficulté de la surmonter dans la mesure où la plante est soumise à des températures fraîches et froides (inférieures à 15°C sans que cette valeur soit un absolu).

En condition de climat tempéré à automne et hiver froids, la dynamique de débourrement, donc la phénologie, dépend des températures survenues pendant l'écodormance. En condition d'hiver doux (zones tropicales), l'endodormance s'élimine avec retard ou partiellement. L'écodormance commence donc elle-même avec retard et conduit à un débourrement plus tardif et hétérogène qu'en condition d'hiver froid. C'est ce que l'on observe dans les pays de la zone tropicale dans lesquels on a installé des vergers d'espèces fruitières de climat tempéré, pommiers ou pêchers.

Conclusion

Les recherches précédentes donnent des éléments d'explication des comportements observés depuis une trentaine d'années sous nos climats. L'augmentation de la température moyenne est, jusqu'à présent, insuffisante pour perturber la levée de dormance, par contre, elle accélère de façon notable la croissance des bourgeons pendant l'écodormance : ceci explique la plus grande précocité de débourrement et de floraison observée chez la plupart des espèces et variétés. Seuls les bourgeons floraux des rosacées fruitières comme le pêcher ou l'abricotier voient leur développement perturbé lorsque les températures d'automne et hiver sont trop élevées sans qu'il soit vraiment possible de fixer un seuil thermique précis. Ces perturbations conduisent à la nécrose des tissus et la mort de ces organes. Tout porte à croire que la poursuite de l'augmentation de la température moyenne conduira à des difficultés de levée de dormance au moins chez certaines espèces : dans ce cas, tout comme aujourd'hui en zone tropicale, on observera un retard dans la phénologie et un débourrement erratique conduisant à des anomalies de l'architecture de ces végétaux. D'autres recherches sont nécessaires pour une meilleure compréhension des phénomènes en jeu afin d'en permettre la modélisation sur des bases plus mécanistes et espérer prévoir ainsi les déplacements de zones d'adaptation des cultures et peuplements pérennes. L'exemple le plus typique est celui de la viticulture pour laquelle se pose la question du devenir des zones d'appellation.

Références

Crabbé J., 1968. Evolution annuelle de la capacité intrinsèque de débournement des bourgeons successifs de la pousse de l'année, chez le pommier et le poirier. Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique, 101, 195-204

Mauget J.C., 1988. Principales caractéristiques de la dormance des bourgeons chez quelques cultivars de noyer : conséquences sur la précocité de débournement et la ramification de l'arbre. Fruits, 43, 6, 391-398

Nigond J., 1967. Recherches sur la dormance des bourgeons de la vigne. Thèse, Université de Paris

Pouget R., 1963. Recherches physiologiques sur le repos de la vigne (*Vitis vinifera* L.) : la dormance des bourgeons et le mécanisme de sa disparition. Annales de l'Amélioration des Plantes, 13, 1-247.

Phénologie et estimation de la distribution verticale de Chlorophylle dans un chêne *Quercus pubescens* par spectroscopie à fente

Luc Arnold¹, Ilja Reiter², Jean-Philippe Orts³, Thierry Gauquelin⁴

1 Aix Marseille Université, CNRS, Observatoire de Haute Provence (OHP), Institut Pythéas (UMS3470), 04870 Saint-Michel-l'Observatoire

2 ECCOREV (FR 3098), CNRS, Observatoire de Haute Provence (OHP), 04870 Saint-Michel-l'Observatoire

3 Aix-Marseille Université, IMBE (UMR 7263) - Observatoire de Haute Provence (OHP), 04870 Saint-Michel-l'Observatoire

4 Aix-Marseille Université, IMBE (UMR 7263) - Campus Saint-Charles Case 4 Bât. Sciences Naturelles 3, place Victor Hugo 13 331 Marseille cedex 03

Résumé

L'O3HP (*Oak Observatory at* Observatoire de Haute Provence) s'intéresse à un échantillon typique de forêt provençale dans le cadre plus général de l'étude de la dynamique de la forêt méditerranéenne. Nous avons installé un spectrographe à fente pour suivre la phénologie d'un chêne pubescent *Quercus pubescens* pendant 2 ans. La résolution spatiale obtenue grâce à la fente verticale du spectrographe permet de suivre la phénologie de différentes branches dans le houppier. Nous avons calculé à partir des séries temporelles de spectres deux indices de végétation : l'un permet de mesurer des dates d'évènement, par exemple feuillaison ou sénescence, au sens de valeurs données de l'index de végétation; le second proportionnel à la concentration de chlorophylle [Chl] dans les feuilles permet de remonter à [Chl] dans le houppier le long d'une ligne verticale échantillonnée par la fente du spectrographe. Les dates d'évènement sont mesurées pour certaines avec une erreur évaluée statistiquement inférieure au jour et les mesures de [Chl] mettent en évidence un gradient dans l'arbre observé, confirmé par un dosage de [Chl] sur des feuilles prélevées sur les branches étudiées. Les séries temporelles de spectres permettent aussi de construire des graphes *couleurs le long de la fente versus temps* et d'évaluer ainsi la quantité relative de feuilles vertes, jaunes et brunes (Figure 1).

Mots clés

Quercus pubescens - spectroscopie – spectro-imagerie – index de végétation - [Chl]

Références

Arnold.L, Reiter I., Orts J.-P., Gauquelin T., 2015 en préparation

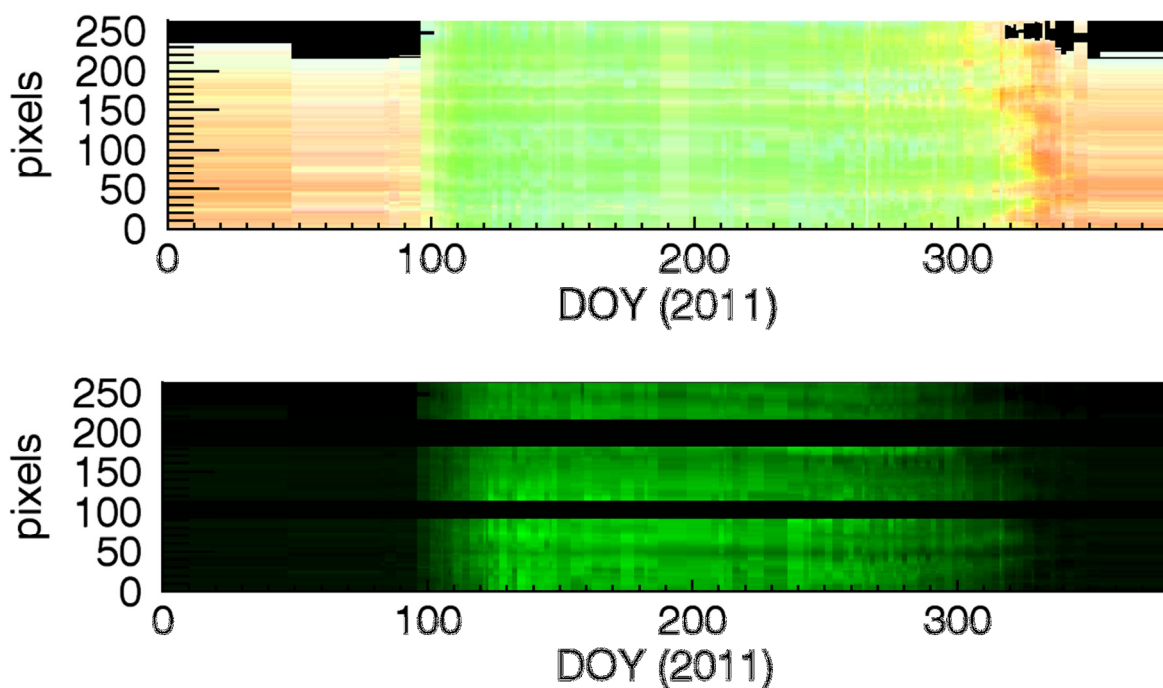


Figure 1. En haut : couleurs en fonction du temps (DOY=day of year) vues par le long de la fente du spectrographe, reconstituées à partir des spectres de la série temporelle de 2011. Les 250 pixels en ordonnées couvrent la totalité de la hauteur du houppier. Cette figure permet aussi de mesurer au cours de l'année la quantité relative de feuilles vertes, jaunes ou brunes. **En bas :** Index proportionnel à la concentration [Chl] tirée de la même série temporelle qu'en haut. Les bandes horizontales noires correspondent à l'espace entre les branches. L'intensité de la couleur verte est proportionnelle à [Chl]. La figure montre une baisse de [Chl] à partir de l'été (vers DOY=180) ainsi qu'une baisse de [Chl] avec la hauteur dans le houppier.

A la recherche de méthodes alternatives aux tests biologiques classiques pour la détermination de la date de sortie d'endormance, la quête du haut débit par le Groupe de Travail Dormance de Perpheclim et d'ODS.

Marc Bonhomme¹, Jean Paul Charpentier², Vincent Segura², Luc Pâques², Jean Marc Audergon³, José Quero Garcia⁴, Elisabeth Dirlewanger⁴, Remi Beauvieux⁴, Benedicte Wenden⁴, Jean Michel Legave⁵, Isabelle Farrera⁵, Hendrik Davi⁶, Frédéric Jean⁶, Isabelle Chuine⁷

1 INRA Auvergne Rhône Alpes, site de Clermont-Ferrand, UMR0547 PIAF Physiologie intégrative de l'Arbre Fruitier et forestier, Clermont-Ferrand, France

2 INRA Val de Loire, site d'Orléans, UR0588 AGPF Amélioration Génétique et Physiologie Forestières, Orléans, France

3 INRA Provence Alpes Cotes d'Azur, site d'Avignon, UR1052 GAFL Génétique et Amélioration des Fruits et Légumes, Avignon, France

4 INRA Aquitaine, site de Bordeaux, UMR 1332 BFP Biologie du fruit et pathologie, Villenave d'Ornon, France

5 INRA-SupAgro, Languedoc Roussillon, UMR 1334 AGAP Amélioration Génétique et Adaptation des Plantes, Montpellier, France

6 INRA Provence Alpes Cotes d'Azur, site d'Avignon, UR0629 URFM Ecologie des forêts méditerranéennes, Avignon, France

7 CNRS CEFE, Montpellier, France

Résumé

Pour améliorer les modélisations de la phénologie, nous avons besoin de dates de débourrement et de floraison mais aussi de dates de levée de dormance, sur un grand nombre d'espèces. On est à la recherche de méthodes alternatives aux tests classiques, peu onéreuses et permettant de s'approcher du haut débit. Une approche en spectrométrie proche infrarouge montre une bonne corrélation entre NIRS et paramètre classique de dormance (DMD) sur poudre de bourgeons végétatifs et floraux. Une autre approche concernant la visualisation de callose au niveau de la zone méristématique, considérée comme un marqueur d'état dormant, a été entreprise.

Mots clés

NIRS, callose, tige, bourgeon, dormance, délai moyen de débourrement (DMD).

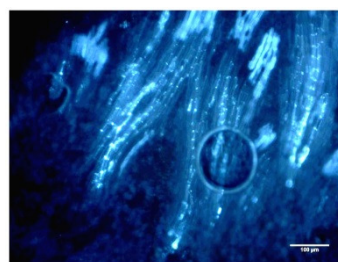
Introduction

Pour améliorer les modélisations de la phénologie, nous avons besoin de dates de débourrement et de floraison mais aussi de dates de levée de dormance et ceci sur un grand nombre d'espèces et de sites. Actuellement ces données sont extraites de cinétiques temporelles de Délais Moyens de Débourrement (DMD) obtenues par des tests de forçage qui sont longs à réaliser, pas adaptés à toutes les espèces et coûteux puisque nécessitant des cellules climatiques. On est donc à la recherche de méthodes alternatives peu onéreuses et permettant de s'approcher du haut débit. La NIRS était potentiellement un bon candidat et nous avons voulu tester l'existence d'une relation entre réponse en spectrométrie IR et évolution du paramètre DMD, et ceci sur un panel d'espèce tant fruitières que forestières. La présence de callose au niveau de la zone méristématique est également souvent considérée comme un marqueur d'état dormant suite aux travaux de Rinne et Van der Schoot. Sa visualisation pourrait constituer une autre voie possible nous disposons de méthodes histologiques simples et rapides.

Résultats et discussion

En spectroscopie IR, nous avons réalisé des mesures sur bourgeons entiers, sur tige grossièrement découpées. Les tiges et les bourgeons ont ensuite été broyés pour obtenir une poudre fine. Les spectres ont été acquis sur le spectromètre Perkin (Transformé de Fourier) d'Orléans (sur la bande 4000-8000 cm^{-1}) et le spectromètre FOSS de l'INRA Clermont (bande 400-2500 nm). Seuls les spectres issus du spectromètre Perkin ont fait l'objet d'une première analyse intégrant un module de sélection de bandes (méthode CARS : Li et al 2009). L'approche directe sur bourgeons entiers lyophilisés doit être abandonnée. En revanche, la relation obtenue sur poudre de bourgeons est convaincante (Fig 1) et les paramètres R2_MCCV (Monté Carlo Cross Validation) et PRD_MCCV intéressants (tableau 1). Les corrélations obtenues sont meilleures sur bourgeons floraux que sur bourgeons végétatifs. Les prélèvements réalisées en 2013-14, 2014-15 et en cours d'analyse, doivent nous permettre de conforter les modèles obtenus.

Pour ce qui concerne la callose, des inclusions en paraffines ont été réalisées mais restent à analyser. Une autre approche, plus rapide consistant à colorer immédiatement une coupe de bourgeon réalisée au cryo-microtome nous a permis de révéler la présence de callose ... mais pas là où nous le souhaitons. La technique doit donc être affinée et les analyses approfondies.



Callose sur bourgeon de pêcher

Conclusion

Concernant l'approche NIRS, les résultats acquis sont à consolider mais on sait déjà que, sur poudre, on obtient une bonne corrélation entre DMDs et Spectres. Pour les bourgeons floraux elle est très bonne, pour les bourgeons végétatifs elle est bonne. Pour les tiges, la qualité est moins bonne mais pourrait constituer cependant une alternative car, cela pourrait rester acceptable pour du screening rapide. Il est encore impossible de trancher concernant l'approche callose.

Références

Li H, Liang Y, Xu Q, Cao D (2009). Key wavelengths screening using competitive adaptive reweighted sampling method for multivariate calibration. *Analytica Chimica Acta* 648 (2009) 77–84

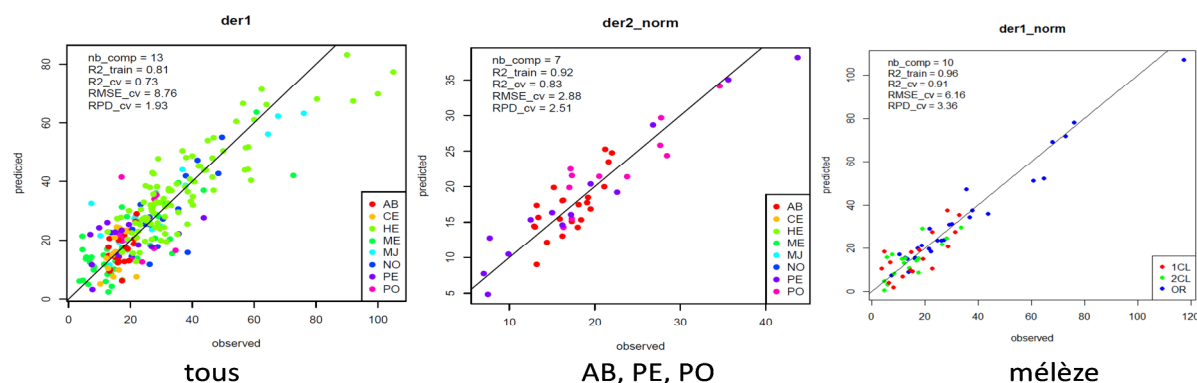


Figure 1. Qualité des modèles obtenus à partir de poudres de bourgeons végétatifs pour différentes espèces (AB abricotier, PE pêcher, PO pommier, CE cerisier, NO noyer, M mélèze, HE hêtre).

Etat	Tissu	Esp	Effectif	pretr	nbcomp	R2_train	R2_MCCV	RMSE_MCCV	RPD_MCCV	nb_outliers	nb_lambda
Broye	V	AB, CE, HE, M, NO, PE	236	der1	13	0.81	0.73	8.76	1.93	3	350
Broye	V	AB, CE, PE, PO	62	der2_norm	6	0.68	0.48	4.70	1.40	1	124
Broye	V	AB, CE, PE	51	norm	10	0.90	0.70	4.93	1.88	0	313
Broye	V	AB, PE, PO	47	der2_norm	7	0.92	0.83	2.88	2.51	1	46
Broye	V	HE, M, NO	174	der2_norm	12	0.89	0.82	7.74	2.35	3	126
Broye	V	HE	93	raw	10	0.90	0.83	7.71	2.48	0	365
Broye	V	M	62	der1_norm	10	0.96	0.91	6.15	3.37	0	117
Broye	V	HE, M, PE	80	norm	16	0.95	0.79	8.52	2.24	0	468

PHENOTOOLS : un suivi continu de la croissance assistée par capteur pour comprendre la phénologie et physiologie d'espèces exotiques « acclimatées » au climat méditerranéen.

Améglio Thierry^{1,2}, Marchal Cécilia³, Caraglio Yves⁴, Bellanger Richard³, Heinz Christine⁵, Mellerin Yannick³, Chevallier Joëlle³, Ducatillion Catherine³

1 INRA, UMR PIAF, site de Crouël, 63100 Clermont-Ferrand

2 Clermont université, UBP, UMR PIAF, 63100 Clermont-Ferrand

3 INRA, UE Villa Thuret, 06160 Antibes

4 CIRAD, UMR AMAP, 34000 Montpellier

5 Université de Montpellier, UMR AMAP, 34000 Montpellier

Résumé

Les mesures continues des variations de diamètre des arbres ont été utilisées comme marqueur de la phénologie et de physiologie de quelques espèces exotiques acclimatées au climat méditerranéen du Jardin Thuret au Cap d'Antibes. Ces mesures sont comparées aux mesures classiques de phénologie et mises en regard des données climatiques. Différentes stratégies de croissances face au risque de sécheresse sont ainsi observées et montrent que la mesure continue de variations de diamètre est un outil performant de phénologie et physiologie.

Mots clés

Aesculus californica, *Eucalyptus dorriigoensis*, *Arbutus x thuretiana*, PépiPIAF, variations de diamètre, Phenotools.

Introduction

Dans le cadre du projet « Perphéclim » (Perennial fruit crops and forest phenology evolution facing to climatic change - Database, Modelling and Observatory network) du métaprogramme ACCAF (Adaptation de l'agriculture et de la forêt au changement climatique) de l'INRA, nous avons testé un nouvel outil (le PépiPIAF) de mesures continues des variations de diamètre des arbres comme marqueur de la phénologie et de physiologie de quelques espèces exotiques acclimatées au climat méditerranéen du Jardin Thuret au cap d'Antibes. En parallèle des mesures d'allongement des axes, de phénologie foliaire (débourrement, senescence) et de desquamation des écorces ont été relevées. Nos principaux objectifs cherchent à répondre aux questions suivantes

- Comment le climat méditerranéen impacte-t-il la croissance (primaire et secondaire) des espèces étudiées ?

- Peut-on mettre en évidence des stratégies de croissance face aux risques de sécheresse édaphiques pour ces espèces ?

-Quels déterminants phénologiques et physiologiques peut-on suivre par ses mesures continues de variations de diamètre ?

Pour répondre à ces objectifs, nos mesures ont été réalisées et comparées pour trois espèces «exotiques» (*Aesculus californica*, *Eucalyptus dorriigoensis* et *Arbutus x thuretiana*) contrastées (décidu vs. sempervirent ; croissance rythmique vs. a périodique) du Jardin Thuret.

Pour chacune de ces espèces, les mesures de variations de diamètres ont été mises en regard des données climatiques, des périodes d'allongement, des différentes phénophases et de la chute de l'écorce.

Résultats et discussion

Sous un même climat méditerranéen, les espèces suivies montrent des croissances secondaires très contrastées avec des sensibilités variables aux facteurs du climat (pluviométrie et sécheresse estivale ou températures hivernales) selon les espèces, alors que d'autres semblent esquiver les potentiels sécheresses estivales indépendamment de la pluviométrie de l'année par une chute précoce des feuilles sans lien apparent avec un facteur climatique.

La physiologie de ces espèces en termes de phénophases, flux hydrique et gestion du carbone peut ainsi être approchée par l'analyse continue des variations de diamètre et montrent une grande diversité de fonctionnement sous un même climat.

Conclusion

L'observation de la phénologie des écorces par l'acquisition continue des variations micrométriques du diamètre des branches ou tronc permet donc de suivre, non seulement la croissance secondaire (reprise d'activité cambiale, rythme de croissance) mais aussi la phénologie foliaire (débourrement, croissance foliaire, sénescence) en apportant des nouvelles connaissances de physiologie sur des espèces peu ou mal connues. Ce nouvel outil semble donc pouvoir permettre d'acquérir des mesures de phénologie dans nombreuses situations (arbre isolé, arboretum, jardins d'acclimatation, vergers, forêt, vignes, arbres en ville ...), tout en contextualisant les différentes phénophases observées au travers de l'environnement climatique (ex. thermique), mais également de l'environnement physiologique (ex. contrainte hydrique) tous deux approchés par la même mesure.

Références

Améglio T., Cruiziat P., 1992 - Daily variations of stem and branch diameter: short overview from a developed example. NATO ASI Series, Vol. H64. Mechanics of Swelling. Ed T.K. KARALIS. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1992, 193-204

Améglio T., Dusotoit-Coucaud A., Guillot V., Coste D. Et Adam B., 2009 – PépiPIAF : une nouvelle génération de biocapteurs pour le pilotage d'une arboriculture de précision. 2ème Conférence sur l'entretien des espaces verts, jardins, gazons, forêts, zones aquatiques et autres zones non agricoles Angers, 28-29 octobre 2009.

Daudet F.A., Améglio T., Cochard H., Archilla O., Lacoïnte L., 2005 – Experimental analysis of the role of water and carbon in the tree trunk diameter. Journal of Experimental Botany 56 (409), 135-144. (DOI:10.1093/jxb/eri026).

Ducatillion C., Améglio T., 2015 - Changement climatique : les écorces peuvent parler. Les cahiers de Jardins de France n°2 – A l'affût des connaissances – Edition 2015, 74-77.

Dynamique de métabolites en relation avec l'état de dormance des bourgeons floraux chez le cerisier doux.

Rémi Beauvieux^{1,2}, Bénédicte Wenden^{1,2}, Yves Gibon^{1,2}, Elisabeth Dirlewanger^{1,2}

1 INRA Bordeaux, UMR 1332 BFP Biologie du Fruit et Pathologie, Bordeaux, France

2 Univ. Bordeaux, UMR 1332 Biologie du Fruit et Pathologie, F-33140 Villenave d'Ornon, France

Résumé

L'endodormance chez les espèces pérennes fruitières est une caractéristique importante pour survivre au froid hivernal. Pour paramétrer au mieux les modèles phénologiques prédictifs chez le cerisier doux (*Prunus avium* L.), des données biochimiques ont été acquises à intervalles de temps réguliers, sur des bourgeons floraux écaillés, de quatre variétés contrastées pour leur besoin en froid pendant les périodes d'endodormance et d'écodormance. Des dosages colorimétriques ont été utilisés après extractions éthanoliques des métabolites sur la poudre congelée. Parmi ces métabolites, les sucres solubles (sorbitol, saccharose, fructose, glucose), l'amidon, le glutamate, la proline, les acides aminés totaux, les protéines totales, le glucose-6-phosphate, le malate, et le citrate ont été quantifiés. Les résultats montrent un intérêt des profils du malate, sorbitol et saccharose pour prédire la date de levée de dormance.

Mots clés

Prunus avium, endodormance, métabolites, phénotypage

Introduction

La dormance chez les arbres fruitiers en zones tempérées est un mécanisme adaptatif permettant de survivre aux conditions défavorables durant l'hiver. La dormance se décompose en paradormance, endodormance et écodormance. L'endodormance est une inhibition physiologique du débourrement. Chez le cerisier doux (*Prunus avium* L.) les bourgeons se forment durant l'été, les organes se développent et rentrent en endodormance durant l'automne sous l'action de la baisse des températures et de la photopériode. La levée de l'endodormance intervient après une accumulation de froid, définie comme les besoins en froid. Les besoins en froid ont une forte composante variétale (Hauagge et Cummins, 1991). La satisfaction des besoins en froid conditionne le débourrement des bourgeons à la fin de l'hiver et le développement des organes au printemps. Dans un contexte de réchauffement climatique, la non satisfaction des besoins en froid durant l'hiver pourrait apparaître

critique (Chung *et al.*, 2011, Hur et Ahn, 2014). Le choix de variétés adaptées aux conditions futures devient nécessaire dès aujourd'hui. Dans cet objectif, la prédiction de la valeur de variétés ou de géniteurs existants au travers de la modélisation est une approche utilisée (Luedeling et Brown, 2011). De nombreux modèles phénologique existent mais leur paramétrage nécessite de nombreuses données physiologiques et génétiques. Dans notre étude, nous avons étudié l'évolution de métabolites clés au sein du bourgeon au cours de l'endodormance jusqu'à l'écodormance chez quatre variétés contrastées pour leurs besoins en froid. Les dosages ont été réalisés à l'aide de dosages colorimétriques simples à mettre en oeuvre.

Résultats et discussion

L'évolution du saccharose et du sorbitol montre une augmentation jusqu'à un pic correspondant de près à la date de levée de dormance puis une diminution pendant l'écodormance. Il est intéressant de noter que ce pic est décalé dans le temps pour les quatre variétés, en lien avec la date de levée de dormance et des besoins en froid. Une autre observation intéressante est que les pics observés ont des valeurs comparables (120 µg/g MF pour le saccharose et 60 µg/g MF) pour le sorbitol. De plus, on

observe une augmentation des sucres totaux dans les bourgeons jusqu'aux pics de saccharose et de sorbitol. Ainsi, le carbone est importé du reste de l'arbre pendant la dormance. Cette observation est en concordance avec les dosages des sucres de la sève xylémienne chez la pêche (Maurel *et al.*, 2004) et le poirier japonais (Ito *et al.*, 2012) qui montrent un pic de sorbitol au moment de la levée de dormance, ainsi qu'un flux de saccharose depuis la sève jusqu'au bourgeon chez le noyer (Bonhomme *et al.*, 2010). Une hypothèse pour expliquer la faible quantité initiale de sucres dans les bourgeons, en comparaison à la quantité à la levée de dormance, est la présence de bouchons de callose au niveau des plasmodesmes, isolant le bourgeon du rameau. Il a été montré chez le peuplier que la callose isole le méristème et que la levée de dormance se fait suite à l'action de β -1,3-endoglucanases (Rinne *et al.*, 2011) inductibles par les GA (Acides Gibbéréliques), qui dégradent cette callose. Chez le cerisier doux, nos données de RNAseq montrent un pic de la transcription de gènes codant des β -1,3-endoglucanases au moment de la levée de dormance. De plus, on observe une diminution de la transcription des gènes codant des protéines de catabolisme des GA4 au moment de la levée de l'endodormance (GA2ox). Enfin Barbier *et al.* (2015) ont montré que la dormance de bourgeons latéraux chez *Arabidopsis* est expliquée par la disponibilité en saccharose des bourgeons. Ainsi, l'isolation par des bouchons de callose serait à l'origine de la maintenance en dormance du bourgeon, et leur dégradation, qui implique un signal hormonal, entraînerait l'accumulation de sucres qui, arrivés à un seuil, fonctionnent comme un signal de réactivation du métabolisme.

Conclusion

Cette étude montre qu'il est possible de disposer d'un marqueur pour la levée de dormance, plus facile d'utilisation que les méthodes actuelles. Ce marqueur pouvant être standardisé, permettrait également la comparaison de données entre équipes et ainsi paramétrer plus précisément les modèles phénologiques existant actuellement. Un protocole simplifié n'impliquant pas de broyages est en essai pour permettre une utilisation à plus haut débit. Le dosage d'hormones est en cours de réalisation ainsi que des quantifications de callose au niveau des plasmodesmes des bourgeons pour étayer cette hypothèse.

Références

- Barbier, F. F., Lunn, J. E. et Beveridge, C. A., 2015. Ready, steady, go ! A sugar hit starts the race to shoot branching. *Current Opinion in Plant Biology*, 25:39–45.
- Bonhomme, M., Peuch, M., Ameglio, T., Rageau, R., Guilliot, A., Decourteix, M., Alves, G., Sakr, S. et Lacoïnte, A., 2010. Carbohydrate uptake from xylem vessels and its distribution among stem tissues and buds in walnut (*Juglans regia* L.). *Tree Physiology*, 30(1):89–102.
- Chung, U., Mack, L., Yun, J. I. et Kim, S.-H., 2011. Predicting the Timing of Cherry Blossoms in Washington, DC and Mid-Atlantic States in Response to Climate Change. *PLoS ONE*, 6(11):e27439.
- Hauagge, R. et Cummins, J., 1991. Genetics of Length of Dormancy Period in *Malus* Vegetative Buds. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(1):121–126.
- Hur, J. et Ahn, J.-B., 2014. The change of first-flowering date over South Korea projected from downscaled IPCC AR5 simulation : peach and pear. *International Journal of Climatology*, 1926–1937.
- Ito, A., Sakamoto, D. et Moriguchi, T., 2012. Carbohydrate metabolism and its possible roles in endodormancy transition in Japanese pear. *Scientia Horticulturae*, 144:187–194.
- Luedeling, E. et Brown, P. H., 2011. A global analysis of the comparability of winter chill models for fruit and nut trees. *International journal of biometeorology*, 55(3):411–421.
- Maurel, K., Leite, G. B., Bonhomme, M., Guilliot, A., Rageau, R., Pétel, G. et Sakr, S., 2004. Trophic control of bud break in peach (*Prunus persica*) trees : a possible role of hexoses. *Tree Physiology*, 24(5):579–588.
- Rinne, P. L., Welling, A., Vahala, J., Ripel, L., Ruonala, R., Kangasjärvi, J. et van der Schoot, C., 2011. Chilling of dormant buds hyperinduces FLOWERING LOCUS T and recruits GA-inducible β -1,3-glucanases to reopen signal conduits and release dormancy in *Populus*. *The Plant Cell Online*, 23(1):130–146.

Phénologie et résistance au gel : que nous apporte l'étude de la biologie hivernale ?

Guillaume Charrier¹, Isabelle Chuine², Marc Bonhomme³, André Lacoïnte³, Thierry Améglio³

1 UMR EGFV, Institut de la Vigne et du Vin, Villenave d'Ornon, France

2 UMR CEFE, Montpellier, France

3 UMR PIAF, Clermont-Ferrand, France

Résumé

Les processus contrôlant les dynamiques de levée de dormance et d'acclimatation au gel des cellules vivantes ont été étudiés chez différents géotypes de noyers (*Juglans regia* cv Franquette, Lara, Serr et Chandler ; hybrides à bois *Juglans regia* x *nigra* précoces et tardifs) et dans des conditions environnementales différentes (plaine et moyenne montagne). De Septembre à Janvier, les dynamiques d'acclimatation au gel et de levée d'endodormance sont essentiellement contrôlées par les variables environnementales. De Janvier au débourrement, un effet génotypique fort a été identifié pour la désacclimatation au gel ainsi que la levée d'écodormance. Les variables physiologiques contrôlant ces processus sont également discutées, ainsi que leur utilisation potentielle dans la prédiction de dégats gélifs.

Mots clés

Résistance au gel, *Juglans regia*, endodormance, écodormance, marge de sécurité.

Introduction

Comme pour la plupart des stress, la résistance au gel des arbres peut être séparée en deux processus principaux: l'évitement et la tolérance. L'arrêt temporaire de la capacité de croissance au cours de l'hiver permet d'éviter l'exposition au gel des bourgeons à des périodes critiques. La reprise de croissance des bourgeons n'intervient qu'après une exposition à des températures froides, qui lèvent l'endodormance au cours de l'hiver, puis chaudes, qui lèvent l'écodormance au cours du printemps. De nombreux événements gélifs interviennent au cours de cette période, mais, néanmoins, n'induisent pas nécessairement des dégats. En effet, les arbres sont capables d'ajuster leur tolérance au gel en réduisant le risque de prise en glace intracellulaire pour la confiner à l'espace extracellulaire : c'est l'acclimatation au gel. Les deux processus de résistance (tolérance et évitement) sont contrôlés par des variables environnementales (*i.e.* photopériode et température), ainsi que par des effets génotypiques.

Résultats et discussion

Nous avons évalué en quelle mesure les différences de levée de dormance et d'acclimatation au gel étaient soumises à des influences environnementales et génétiques en comparant différents cultivars de noyer présentant des différences significatives en terme de dates de débourrement (noyers à fruit *Juglans regia* cv Franquette, Lara, Serr et Chandler, ainsi que des hybrides à bois *Juglans regia* x *nigra* précoces et tardifs) dans deux conditions climatiques différentes (plaine et moyenne montagne). Les besoins de froid pour lever l'endodormance ainsi que les besoins de températures douces pour lever l'écodormance ont été évalués. De plus, la résistance cellulaire au gel a été évaluée par la méthode de fuite des électrolytes sur les mêmes arbres au cours de deux hivers successifs.

Aucune différence significative n'a été observée concernant les besoins de froid entre génotypes. En outre, les dynamiques d'acclimatation au gel étaient similaires entre génotypes ou condition environnementale. Néanmoins, la résistance au gel maximale observée durant l'hiver était significativement plus forte chez les noyers à bois que chez les noyers à fruits.

Les besoins de températures douces étaient significativement différents entre génotypes, les hybrides en requérant davantage que les noyers à fruit. De plus, parmi les noyers à bois, des différences de taux de croissance ont été observés pour les basses températures. Les dynamiques de désacclimatation au gel étaient similaires entre noyers à fruits et noyers à bois entre Janvier et le débourrement.

A partir de ces données expérimentales, la modélisation de l'évolution de la résistance au gel au cours de l'hiver a permis d'évaluer les périodes critiques pour les dégâts gélifs, ainsi que la sensibilité de différents génotypes aux gels automnaux, hivernaux et printaniers, ainsi que les mécanismes physiologiques modulant la résistance au gel.

Conclusion

De Septembre à Janvier, les dynamiques d'acclimatation au gel et de levée d'endodormance sont essentiellement contrôlées par les variables environnementales, alors que de Janvier au débourrement, un effet génotypique fort a été identifié pour la désacclimatation au gel ainsi que la levée d'écodormance. Les variables physiologiques contrôlant ces processus sont également discutées.

Références

Charrier G, Améglio T 2010 The timing of leaf fall affects cold acclimation by interactions with air temperature through water and carbohydrate contents *Environmental and Experimental Botany* 72 (3), 351-357

Charrier G, Bonhomme M, Lacoïnte A, Améglio T 2011 Are budburst dates, dormancy and cold acclimation in walnut trees (*Juglans regia* L.) under mainly genotypic or environmental control? *International journal of biometeorology* 55 (6), 763-774

Charrier G, Poirier M, Bonhomme M, Lacoïnte A, Améglio T 2013 Frost hardiness in walnut trees (*Juglans regia* L.): How to link physiology and modelling? *Tree physiology* 33 (11), 1229-1241

Charrier G, Ngao J, Saudreau M, Améglio T 2015 Effects of environmental factors and management practices on microclimate, winter physiology, and frost resistance in trees *Frontiers in plant science* 6

La levée de dormance: évènement ou processus dynamique intégré aux autres déterminants du débourrement?

Hendrik Davi¹, Frédéric Jean¹, François Madon¹, Julie Gauzere¹, Cécile Dantec², Sylvain Delzon²,
Isabelle Chuine³, Marc Bonhomme^{4,5}

1 INRA Provence Alpes Côtes d'Azur, site de Avignon, UR 0629, URFM Ecologie des Forêts Méditerranéennes, Avignon, France

2. INRA Bordeaux -Aquitaine, site de Bordeaux, UMR, BIOGECO, France

3 CNRS, site de Montpellier, UMR CEFE, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive Montpellier, France.

4. INRA, site de Crouel, UMR 547, PIAF, Clermont Ferrand, France.

5. Clermont université, Université Blaise Pascal, UMR 547, PIAF, Clermont Ferrand, France.

Résumé

Les changements climatiques impactent fortement les processus phénologiques (débourrement et sénescence). Concernant certaines espèces comme le Hêtre, il existe de nombreuses incertitudes quant aux mécanismes impliqués dans le débourrement et à la façon dont on peut les modéliser. Or si les différents modèles donnent des résultats similaires concernant les simulations passées, ils divergent en ce qui concerne les prédictions futures. Le Hêtre est une des essences pour laquelle nous avons le plus d'incertitude, quant aux rôles respectifs du froid et de la photopériode durant la période d'endodormance et des températures durant la période d'écodormance. Nous synthétisons ici les leçons issues de suivis de débourrement et d'expérimentation de levée de dormance sur trois gradients altitudinaux (Pyrénées, Ventoux, Massif central) sur le Hêtre. Nous avons montré que la levée de dormance n'était pas un évènement, mais un processus dont la rapidité dépend de la photopériode et dont le niveau conditionne la façon d'accumuler de la chaleur durant l'écodormance.

Mots clés

Fagus sylvatica, débourrement, dormance, photopériode, gradients altitudinaux

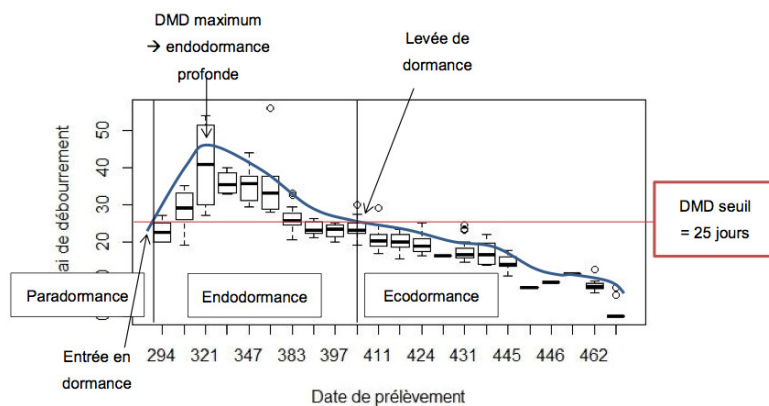
Introduction

Les processus phénologiques sont un élément clé du fonctionnement des plantes, car ils conditionnent leur capacité à mobiliser les ressources en présence et délimitent la durée de saison de croissance et de reproduction. Or ces processus vont être fortement impactés par les changements climatiques, car ceux-ci dépendent très fortement des conditions de température. Le Hêtre (*Fagus sylvatica* L.) est une des deux principales essences de feuillus constitutives des forêts d'Europe avec le Chêne. En plus de son importance économique, c'est une espèce dont la phénologie printanière pose de nombreuses questions quant aux rôles respectifs des différents déterminants climatiques. Les rôles respectifs des températures froides pendant la dormance, des températures chaudes pendant la quiescence, et de la photopériode sont encore très largement discutés. De plus, on observe chez cette espèce des variations spatiotemporelles des dates de débourrement parfois plus difficilement interprétables.

Résultats et discussion

La levée de dormance est expérimentalement investiguée en mettant en chambre à 25°C des branches récoltées à différents moments durant l'hiver. La date de levée de dormance peut ensuite

être estimée selon trois méthodes: application d'un seuil de froid estimé par ailleurs en soumettant des échantillons prélevés au début de l'automne à différentes quantités de froid, la détection d'un plateau concernant le nombre de jours requis pour débourrer, ou la hausse du taux de débourrement (Fig 1.).



En étudiant des suivis de débourrement sur le long terme et des résultats d'expérimentation de levée de dormance sur trois gradients altitudinaux, nous avons d'abord montré que la relation entre températures printanières et débourrement présente des

anomalies corrélées avec les besoins en froid. Ce résultat suggère que la date de levée de dormance chez le Hêtre affecte la date de débourrement. Mais, les indicateurs permettant d'estimer cette date levée de dormance expérimentalement divergent entre eux et selon les sites. Ce résultat questionne donc le concept de date de levée de dormance comme évènement unique et irréversible. Nous proposons donc de considérer la levée de dormance comme un processus dynamique variable entre individus, dont le délai de débourrement serait un indicateur continu. Nous avons aussi montré que la dynamique du taux de glucides était probablement un meilleur indicateur de sortie de la période d'endodormance. Enfin les expérimentations avec différents niveaux de photopériode (12h et 10h) confirment les résultats obtenus par Caffarra et al. (2012), c'est-à-dire qu'en présence de longues photopériodes (12h) les besoins en froid sont moins importants, alors qu'à 10h de photopériode, le débourrement nécessite d'avantage de froid. Ces interactions complexes entre besoins en froid, photopériode et besoins en chaud permettent d'interpréter certains résultats comme l'apparente absence d'effets de l'altitude sur la dynamique de la levée de dormance ou l'absence de débourrement très précoce même lors de printemps chaud, le seuil de photopériode de 11h agissant comme un facteur limitant (Fig 2).

Conclusion : Nous proposons de nouveaux protocoles expérimentaux pour estimer le niveau d'endodormance et nous discutons de la nécessité de développer un nouveau modèle pour prédire le débourrement du Hêtre.

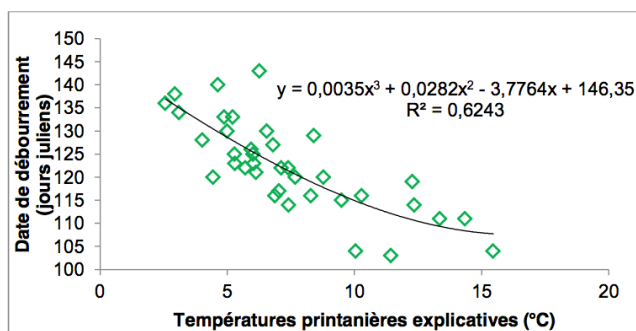


Figure 1: Délai de débourrement de branches récolté à différents moments de l'hiver mis en chambre climatique à 25°C

Figure 2: Date de débourrement en fonction des températures printanières.

La phénologie de débourrement du chêne au croisement des interactions biotiques et abiotiques

Marie-Laure Desprez-Loustau¹, Cécile Dantec¹, Benoit Marçais², Sylvain Delzon¹,

1 INRA-Université Bordeaux, UMR 1202 BIOGECO

2 INRA-Université Nancy, UMR 1136 IAM

Résumé

Nous montrons comment la variabilité de la phénologie foliaire du chêne est source et conséquence d'interactions avec les facteurs biotiques et abiotiques. Les résultats sont discutés dans une perspective évolutive et dans le contexte du changement climatique.

Mots clés

Quercus, gel, oïdium

Introduction

La date du débourrement printanier des espèces d'arbres feuillus en climat tempéré est une étape clé du cycle annuel de développement, qui conditionne de nombreux processus à l'interface de l'environnement biotique et abiotique de l'arbre. Nous avons étudié la phénologie du chêne et de son principal agent de maladie foliaire (*Erysiphe alphitoides*, champignon causal de l'oïdium) afin d'analyser l'impact des facteurs abiotiques sur la phénologie des deux espèces, et en retour de l'effet de la phénologie des chênes sur leur exposition aux aléas biotiques (oïdium) et abiotiques (gel).

Matériel et méthodes

La phénologie du chêne et de l'oïdium ont été suivies pendant plusieurs années sur un gradient altitudinal et géographique.

Résultats

Nous montrons que les phénologies du chêne et de l'oïdium répondent différemment aux facteurs environnementaux, avec une réponse plus plastique du chêne à la température. La variabilité phénologique intra- et inter- populations de chênes se traduit par des expositions différentes aux aléas de gel et d'oïdium, les deux facteurs agissant en sens inverse.

Discussion - Perspectives

Les patrons observés suggèrent que l'adaptation des populations de chênes est meilleure pour éviter le gel que l'oïdium. La combinaison de pressions de sélection biotiques et abiotiques pourrait toutefois contribuer au maintien de la diversité phénotypique de la phénologie dans les populations de basse altitude. Des approches de modélisation sont en cours pour simuler comment le changement climatique affectera les risques biotiques, via la synchronisation hôte-parasite, et abiotiques (gels tardifs).

Références

Dantec CF, Y Vitasse, M Bonhomme, JM Louvet, A Kremer, S Delzon 2014 Chilling and heat requirements for leaf unfolding in European beech and sessile oak populations at the southern limit of their distribution range. *International journal of biometeorology* 58 (9), 1853-1864

Dantec, C. F. ; Ducasse, H. ; Capdevielle, X. ; Fabreguettes, O. ; Delzon, S. ; Desprez Loustau, M. L. 2015. Escape of spring frost and disease through phenological variations in oak populations along elevation gradients. *Journal of Ecology* 103: 1044-1056

Desprez-Loustau ML, Vitasse Y, Delzon S, Capdevielle X, Marçais B, Kremer A. 2010. Are plant pathogen populations adapted for encounter with their host? A case study of phenological synchrony between oak and an obligate fungal parasite along an altitudinal gradient. *Journal of Evolutionary Biology* 23: 87-97

Marçais B, Kavkova M, Desprez-Loustau M.L 2009. Phenotypic variation in phenology of ascospore production between European populations of oak powdery mildew. *Annals of Forest Science* 66, 814

Une revue des processus et de la modélisation de la phénologie des arbres forestiers tempérés et boréaux

Nicolas Delpierre^{1,*}, Yann Vitasse²⁻⁴, Isabelle Chuine⁵, Joannes Guillemot¹, Stéphane Bazot¹, This Rutishauser⁶, Cyrille B.K. Rathgeber⁷

1 Université Paris-Sud, Laboratoire Ecologie Systématique et Evolution, UMR8079, Orsay, France

2 University of Neuchâtel, Institute of Geography, Neuchâtel, Switzerland

3 WSL Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Neuchâtel, Switzerland

4 WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Group Mountain Ecosystems, Davos, Switzerland

5 CNRS, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, UMR 5175, Montpellier, France

6 University of Bern, Institute of Geography, Bern, Switzerland

7 INRA, LERFOB, UMR 1092, Champenoux, France

Résumé

Nous montrons qu'outre la phénologie foliaire, les cycles phénologiques du bois et des racines fines présentent des réponses claires aux facteurs environnementaux chez les arbres tempérés et boréaux. Ces réponses doivent être implémentées dans les modèles de fonctionnement des écosystèmes.

Mots clés

Dormance, débourrement, senescence, cambium, racines fines, modèles

Introduction

Une période de dormance prévient le développement des organes en conditions hivernales chez les arbres tempérés et boréaux. Alors que les phénologies foliaire et florale ont été largement étudiées, il y a à ce jour peu de travaux relatifs à la phénologie des autres tissus tels que le bois, les racines fines, ou encore les composés de réserves.

Nous présentons ici une synthèse bibliographique visant (1) à établir le rôle des facteurs environnementaux dans le déterminisme de la phénologie foliaire et non-foliaire chez les arbres forestiers, (2) à évaluer la représentation de ces phénologies dans les modèles de fonctionnement des forêts.

Résultats et discussion

La température est un facteur clé pour la reprise d'activité printanière, avec des effets spécifiques selon les organes. Il n'y a pas de facteur dominant identifié concernant l'arrêt d'activité estival / automnal, mais la température, la photopériode et le stress hydrique sont clairement impliqués. Il apparaît de plus que la phénologie d'un organe donné est, dans une certaine mesure, influencée par la phénologie d'organes distaux.

Conclusion

Afin d'être en capacité de prédire l'évolution future de la phénologie en environnement changeant, des modèles phénologiques spécifiques doivent être développés pour les différents organes. Ces modèles doivent considérer le cycle phénologique comme une suite d'évènements dans laquelle les facteurs environnementaux influençant une phase sont indirectement impliqués dans les phases

suivantes. Le fait d'incorporer de tels modèles aux modèles de fonctionnement des forêts améliorera très probablement la précision de leurs prédictions. Il est par ailleurs clair que la coordination des phénologies inter-organes, et sa sensibilité au changement climatique nécessitent des études spécifiques, qui font défaut à ce jour.

Cette communication s'appuie sur l'article « Temperate and boreal forest tree phenology: from organ-scale processes to terrestrial ecosystem models », sous presse dans Annals of Forest Science

Méthode générique d'évaluation des impacts du changement climatique sur la faisabilité des cultures

Julie Caubel¹, Anne-Charlotte Vivant¹, Iñaki García de Cortázar-Atauri², Frédéric Huard², Marie Launay², Nathalie de Noblet-Ducoudré¹ et l'équipe ORACLE

1 CNRS, LSCE, UMR 8212, Gif-sur-Yvette, France

2 INRA, AgroClim, US 1116, Avignon, France

Résumé

Nous proposons d'utiliser une méthode générique d'évaluation des impacts du changement climatique sur la faisabilité des cultures à différentes échelles spatiales. Cette méthode est basée sur l'analyse inter-annuelle d'indicateurs agroclimatiques calculés au cours de phases de développement de la culture (appelés indicateurs écoclimatiques). Son application permet d'identifier les stress météorologiques futurs affectant les cultures et leur positionnement au cours du cycle cultural afin de permettre aux gestionnaires du territoire, agriculteurs et sélectionneurs de proposer et appliquer des stratégies d'adaptation pour améliorer les potentialités agricoles futures.

Mots clés

Stress météorologiques, faisabilité des cultures, indicateurs écoclimatiques, phénologie, changement climatique.

Introduction

Sous l'effet du changement climatique et de l'augmentation attendue de la température et de la fréquence des événements extrêmes (Stocker et al., 2013), la faisabilité des cultures dans une région donnée risque d'être modifiée. En conséquence, l'identification des stress météorologiques affectant les cultures permet d'élaborer des stratégies d'adaptation spécifiques (aux cultures, aux régions) pour améliorer les potentialités agricoles futures. L'utilisation d'indicateurs agroclimatiques calculés pendant des phases phénologiques (ex : nombre de jours de stress hydrique autour de la floraison) est pertinent pour répondre à cette problématique. En effet, ils fournissent une information précise et rapide concernant les stress météorologiques affectant les processus écophysologiques ou les pratiques culturales ayant lieu pendant des phases phénologiques spécifiques dont le positionnement au cours du cycle cultural et la durée dépendent eux-mêmes du climat.

Présentation de la méthode

Dans ce contexte, nous proposons une méthode générique permettant d'évaluer les impacts du changement climatique sur la faisabilité des cultures (i.e. maïs, blé, tournesol...) à différentes échelles spatiales (exploitation agricole, région, national) en termes d'écophysologie, de qualité de la production et de nombre de jours disponibles pour réaliser les opérations culturales. Cette méthode a été développée dans Caubel et al. (2015) et est basée sur l'analyse inter-annuelle d'indicateurs agroclimatiques calculés au cours de phases de développement de la culture (appelés indicateurs écoclimatiques). La figure 1 présente la méthode. La figure 2 présente un exemple d'utilisation des indicateurs écoclimatiques.

Discussion autour de la méthode

Les potentialités de la méthode sont multiples :

- Identifier les principaux facteurs limitant et proposer des adaptations spécifiques à la région considérée (date de semis optimale pour éviter les stress météorologiques).
- Choisir ou développer des variétés mieux adaptées aux conditions climatiques d'une région via la prise en compte de la phénologie des cultures.
- Caractériser à la fois la variabilité inter-annuelle et intra-annuelle (calcul des indicateurs au cours de phases phénologiques).

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet ANR ORACLE (Opportunités et Risques pour les Agro-écosystèmes et les forêts en réponse aux changements CLimatiquE, socio-économiques et politiques en France, ANR-10-CEPL-011).

Références

Caubel, J., de Cortazar-Atauri, I.G., Launay, M., de Noblet-Ducoudre, N., Huard, F., Bertuzzi, P., Graux, A.I., 2015. Broadening the scope for ecoclimatic indicators to assess crop climate suitability according to ecophysiological, technical and quality criteria. *Agric. For. Meteorol.* 207, 94-106.

Stocker T. F., Qin D., Plattner G. K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J., et al. (2013). *IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge: Cambridge University Press.

Figure 1: Méthode générique d'évaluation des impacts du changement climatique sur la faisabilité des cultures.

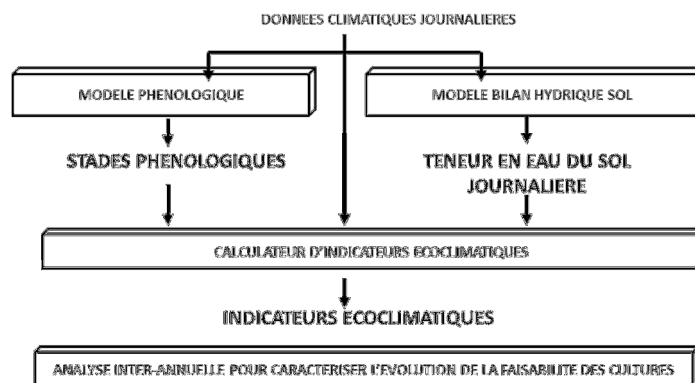
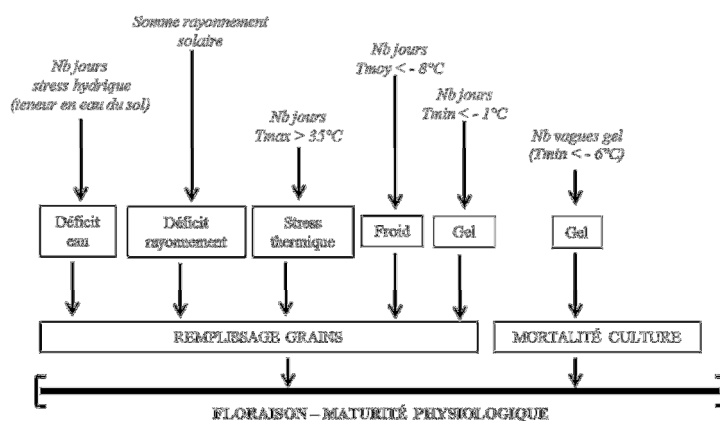


Figure 2: Exemple d'utilisation des indicateurs écoclimatiques relatifs à l'effet des stress météorologiques sur l'écophysiologie du maïs entre la floraison et la maturité physiologique.



Variabilité phénotypique et génétique de l'effort de reproduction du chêne sessile (*Quercus petraea*) le long d'un gradient altitudinal.

Thomas Caignard^{1,2}, Florine Routier^{1,2}, Antoine Kremer^{1,2}, Sylvain Delzon^{1,2}

1 INRA Aquitaine, site de Pierroton, UMR 1202 BIOGECO Biodiversité Gènes et Communautés, Cestas - France

2 Université de Bordeaux, UMR 1202 BIOGECO Biodiversité Gènes et Communautés, Talence - France

Résumé

La reproduction est l'une des composantes majeures de la fitness des arbres (valeur sélective), elle caractérise fortement avec la croissance et la survie, la capacité de ces organismes à pouvoir s'adapter dans leur environnement. Très peu d'études ont étudié la réponse de la reproduction des arbres forestiers au changement climatique. Dans le cadre de cette étude, notre objectif a été de quantifier les variations phénotypiques et génétiques de ces traits en fonction de la température. Nous avons ainsi caractérisé la variabilité de l'effort de reproduction de 10 populations de chênes sessiles *in situ* le long d'un gradient altitudinal (allant de 100 à 1600 mètres d'altitude) dans les Pyrénées ainsi que sur leurs descendants dans un test de provenances situé en plaine. Le nombre, la masse moyenne des glands et leur taux de germination ont été suivis à l'échelle de l'individu depuis 2012. Nos résultats montrent une forte variabilité interpopulationnelle le long du gradient : l'effort de reproduction diminuant avec l'altitude. En test de provenances, l'effort de reproduction augmente avec l'altitude de provenance : les populations provenant de hautes altitudes produisent plus de glands de plus grandes tailles. Ces résultats démontrent que l'adaptation génétique est opposée à la variation phénotypique (contre gradient) permettant ainsi, dans une faible mesure, de compenser les effets des conditions froides de hautes altitudes.

Mots clés

Reproduction, Adaptation, Contre-gradient, *Quercus petraea*

Introduction

La fitness ou valeur adaptative caractérise la capacité d'un arbre à survivre et transmettre ses gènes à la génération suivante. Quantifier la fitness permet d'étudier la réponse adaptative des arbres à un changement environnemental tel que l'augmentation de température. La phénologie foliaire, trait phénotypique fortement corrélé à la survie et à la croissance des arbres, fait l'objet de nombreuses études en réponse au changement climatique (Cleland et al., 2007), toutefois, du fait de sa difficulté de mesure, peu de travaux s'intéressent directement à une autre composante majeure de la fitness : la reproduction. A l'échelle d'une population, la reproduction des arbres forestiers comme le chêne est caractérisée par de fortes variations interannuelles non périodiques et synchrones au sein de la population (Kelly, 1994). Ce phénomène, caractéristique de beaucoup d'espèces pérennes, est connu sous le nom de masting. La plupart des travaux portant sur la reproduction des arbres s'intéressent essentiellement à la compréhension de ce phénomène (Crone and Rapp, 2014), en revanche très peu d'études ont corrélé l'évolution de ces traits avec le changement climatique. Notre objectif principal ici a été dans un premier temps de quantifier les variabilités phénotypique et génétique pour une espèce endémique au paysage européen: le chêne sessile (*Quercus petraea*). Les traits de reproduction (nombre de glands, masse moyenne d'un gland, taux de germination) ont été mesurés sur des populations *in situ* le long d'un gradient altitudinal dans les Pyrénées ainsi que sur

leurs descendants dans un test de provenances situé en plaine. L'objectif premier a été de caractériser l'existence de clines altitudinaux le long du gradient pour ces traits de reproduction (variabilité phénotypique) puis, dans un deuxième temps, de définir la différenciation génétique de ces traits en test de provenances.

Résultats et discussion

Le long du gradient altitudinal on observe une forte variabilité des glandées et de la masse moyenne des fruits entre les populations (Figure 1a) révélant une diminution de l'effort de reproduction au fur et à mesure que l'altitude augmente. Ces résultats suggèrent un effet important de la température sur la reproduction des chênes. En test de provenances on observe pour les deux variables étudiées un cline opposé aussi appelé « contre gradient » (Figure 1b). Ces résultats révèlent une variabilité génétique entre les populations de provenances différentes : les populations de hautes altitudes produisant des glands en plus grande quantité et de plus grosse taille. Toutefois, en conditions naturelles, ce cline génétique ne contrebalance pas les effets environnementaux (basses températures et gels précoces). On peut supposer que les stress liés au froid viennent affecter la phénologie de la reproduction induisant une chute des fruits plus précoces et non mûres ce qui expliquerait à la fois leurs petites tailles et la baisse du taux de germination, une faible régénération des chênes à haute altitude pourrait expliquer la présence d'une treeline.

Conclusion

Dans la perspective d'augmentation globale de la température le chêne sessile semble pouvoir s'adapter, (1) les différenciations génétiques laissent supposer qu'une colonisation de cette espèce est possible à haute altitude et (2) le cline altitudinal observé *in situ* présume une augmentation de l'effort de reproduction.

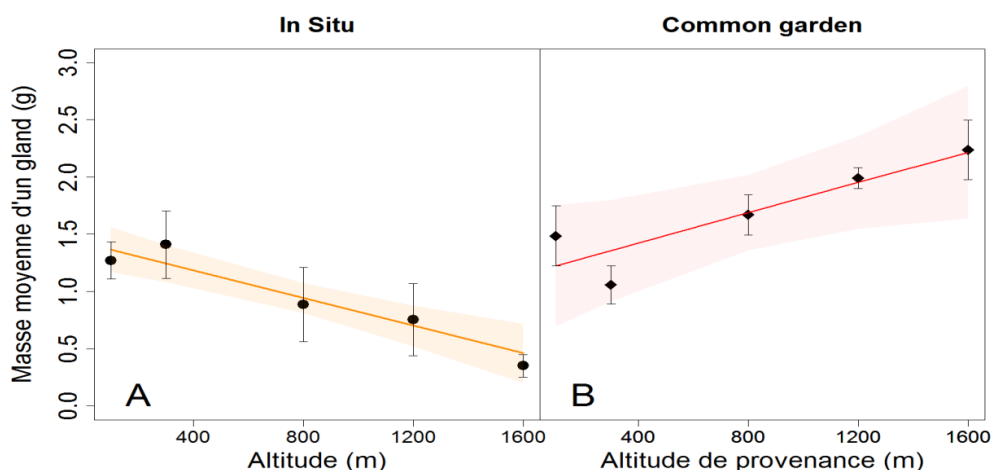


Figure 1. Variation de la masse moyenne d'un gland en fonction de l'altitude des populations (*in situ*) et en fonction de l'altitude d'origine des populations (common garden).

Références

Cleland, E.E., Chuine, I., Menzel, A., Mooney, H.A., and Schwartz, M.D. (2007). Shifting plant phenology in response to global change. *Trends Ecol. Evol.* 22, 357–365.

Crone, E.E., and Rapp, J.M. (2014). Resource depletion, pollen coupling, and the ecology of mast seeding: Mechanisms of mast seeding. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1322, 21–34.

Kelly, D. (1994). The evolutionary ecology of mast seeding. *Trends Ecol. Evol.* 9, 465–470.

De l'architecture à la phénologie de la croissance

Yves Caraglio et Sylvie Sabatier

CIRAD, UMR AMAP, 34398 MONTPELLIER, FRANCE

Résumé

La chronologie des périodes d'organogénèse et d'allongement des axes et des observations de phénologie de leur allongement sont présentées chez plusieurs espèces ligneuses. La variabilité interspécifique sera abordée pour proposer de grandes tendances. Ces résultats pourraient éventuellement être utilisés dans les modèles phénologiques.

Mots clés

Architecture végétale, phénologie, organogénèse, allongement, pousse annuelle

Introduction

Deux processus permettent l'allongement des axes et le développement de leurs structures aériennes chez les plantes vasculaires. Le premier est la mise en place de nouveaux métamères par le méristème terminal caulinaire et le deuxième est leur allongement (Barthélémy and Caraglio, 2007). De nombreuses espèces ont fait l'objet d'un suivi de croissance dans l'objectif de déterminer le moment d'établissement des structures observées à posteriori via l'analyse architecturale. Les notions de préformation et néoformation des organes ont été également intégrées dans les modèles de description et de simulation de l'architecture des arbres (Reffye *et al.* 1997). Des suivis phénologiques ont permis de dater les structures observées lors de l'analyse rétrospective de la croissance (Nicolini *et al.* 2012, Mangenet, 2013).

Dans les modèles intégrant la phénologie des arbres, la date de débourrement du bourgeon hivernal, est utilisée comme indicateur des fluctuations climatiques inter-annuelles. La levée de dormance des tiges est un des facteurs impliqué dans le débourrement du bourgeon au printemps (Primack *et al.* 2015). Mais peu d'études se sont focalisées sur la phénologie de l'organogénèse dans le bourgeon et/ou de l'allongement de la pousse annuelle.

Les connaissances acquises en architecture pourraient-elles apporter une meilleure compréhension du déterminisme du débourrement du bourgeon? Est-ce que la connaissance des périodes d'organogénèse dans le bourgeon peut permettre de préciser des périodes cruciales pour la croissance des espèces? Qu'en est-il des espèces polycycliques?

Résultats et discussion

Des résultats issus d'une part de suivi de la croissance: *Fagus sylvatica* (Nicolini, 1997), *Nothofagus dombeyi* (Puntieri *et al.* 2002), *Quercus robur* (Champagnat *et al.*, 1986), *Juglans regia* (Sabatier and Barthélémy 2003), *Fraxinus americana* (Gill, 1971), *Pinus pinaster* (Kremer et Roussel, 1982), *Pinus halepensis* (Hover, 2014), *Hevea brasiliensis* (Hallé et Martin, 1968), *Camellia thea* (Bond, 1942) et d'autre part de suivi d'allongement d'espèces tropicales (Nicolini *et al.* 2012, Mangenet 2013) seront présentés pour aborder la diversité de la chronologie des phases d'organogénèse et d'allongement des axes.

Conclusion

Dans le cas d'espèces tempérées, les phases d'organogénèse dans le bourgeon hivernal des pousses sont soit au moment de l'allongement printanier ou soit en fin d'allongement de la tige. Pour les espèces polycycliques, une première phase d'organogénèse se déroule lors de l'allongement estival au niveau du méristème constituant le futur bourgeon hivernal. Une deuxième phase d'organogénèse peut avoir lieu lors de l'allongement printanier dans le bourgeon printanier contenant la pousse estivale. Ces décalages entre les deux composantes de la croissance sont importants à prendre en compte dans l'évaluation des effets du climat sur le développement des arbres. En forêt tropicale, les observations phénologiques ont permis de dater à posteriori les structures constituant les grands arbres.

Références

- Barthélémy D., Caraglio Y. 2007. Plant Architecture: A Dynamic, Multilevel and Comprehensive Approach to Plant Form, Structure and Ontogeny. *Annals of Botany* 99: 375-407.
- Bond TET. 1942. Studies in the vegetative growth and anatomy of the Tea plant (*Camellia thea* Link.) with special reference to the phloem. I. The flush shoot. *Annals of Botany* 9: 183-216.
- Champagnat P, Barnola P, Lavarenne S. 1986. Quelques modalités de la croissance rythmique endogène des tiges chez les végétaux ligneux. Comptes rendus du Colloque International sur l'Arbre, Montpellier, 9-14 Septembre 1985, Naturalia Monspelienis, No. Hors Série: 279-302.
- Gill AM. 1971. The formation, growth and fate of buds of *Fraxinus americana* L. in Central Massachusetts. *Harvard Forestry Papers* 20: 1-16.
- Hallé F, Martin R. 1968. Etude de la croissance rythmique chez l'Hévéa (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg., Euphorbiacées – Crotonoïdées). *Adansonia* 8: 475-504.
- Hover A., 2014. Organogénèse et allongement de la pousse annuelle polycyclique chez le Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill., 1768). Rapport de stage, Gestion des Milieux Naturels, AgroParisTech – Nancy.
- Kremer et Roussel, 1982. Composantes de la croissance en hauteur chez le Pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.). *Annals of Forest Sciences*, 39 1 :77-98.
- Mangenet T, 2013. Approche rétrospective des cycles phénologiques chez quelques espèces guyanaises. Vers une nouvelle branche de la dendrochronologie ? Thèse Université Montpellier, 200 p.
- Nicolini E. 1997. Approche morphologique du développement du hêtre (*Fagus sylvatica* L.). PhD thesis, University Montpellier 2.
- Nicolini E, Beauchêne J, Leudet de la Vallée B, Ruelle J, Mangenet T, Heuret P 2012. Dating branch growth units in a tropical tree using morphological and anatomical markers : the case of *Parkia velutina* Benoist (Mimosoïdeae).
- Puntieri JG, Barthélémy D, Mazzini C, Brion C. 2002. Periods of organogenesis in shoots of *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oersted (Nothofagaceae). *Annals of Botany* 89: 115-124.
- Reffye de P, Fourcaud T, Blaise F, Barthélémy D, Houllier F. 1997. Afunctional model of tree growth and tree architecture. *Silva Fennica* 31: 297-311.
- Sabatier, S. et Barthélémy, D., 2003. Periods of organogenesis in mono- and bicyclic annual shoot of *Juglans regia* L. (Juglandaceae). *Annals of Botany* 92 : 231-238.

Impact de l'intensité d'exploitation sur la phénologie de 6 graminées prairiales

Donato Andueza¹, Fabienne Picard¹, Nicolas Rossignol¹, Jean Marie Ballet¹, Marie Claude Pizaine¹, Laurent Lanore¹, Pascal Carrère²

1 INRA Auvergne Rhône Alpes, site de Clermont-Ferrand, UMR 1213 Herbivores, Clermont-Ferrand, France

2 INRA Auvergne Rhône Alpes, site de Clermont-Ferrand, UMR874-UREP, Clermont-Ferrand, France

Résumé

L'évolution de la phénologie de 6 espèces prairiales au cours du 1^{er} cycle de végétation ayant suivi une conduite extensive ou intensive les années précédentes a été comparée. Les espèces étudiées étaient : la Fléole des prés, le Ray-grass anglais, la Fétuque ovine, le Dactyle aggloméré, la Fétuque rouge et le Vulpin des prés. La conduite la plus extensive a provoqué un retard dans l'évolution de la phénologie des 6 espèces. Ce retard diffère selon les espèces. Le Dactyle aggloméré et le Vulpin des prés sont les espèces les plus affectées car elles restent au stade végétatif pendant toute la durée du cycle.

Mots clés

Conduite intensive, conduite extensive, graminées prairiales 1^{er} cycle végétation

Introduction

La valeur nutritive des fourrages est fortement impactée par la phénologie des espèces prairiales. Des études antérieures ont montré une forte corrélation à la température moyenne (Ansquer et al., 2009) et à la gestion. Andueza et al., (2015 a,b) ont montré que l'évolution de la phénologie de certaines espèces peut varier avec le mode de conduite des parcelles, et notamment avec la date de fauche à l'automne de l'année précédent. Dans cette étude nous avons évalué l'impact de l'intensité de la gestion -extensive ou intensive - antérieure sur l'évolution du stade phénologique.

Matériel et Méthodes

Une collection fourragère de 6 graminées prairiales a été implantée en deux dispositifs à l'automne de 2008 sur le site de l'INRA de Clermont-Ferrand (350 m). Chaque dispositif était composé de six graminées : Fléole des prés cv Rasant, Ray-grass anglais cv Milca, Fétuque ovine cv Spartan, Dactyle aggloméré cv Starly, Fétuque rouge cv Swing et Vulpin des prés cv Levoscaska. Chaque espèce a été semée en parcelles individuelles de 6 x 1,5 m² selon un schéma expérimental en bloc au hasard avec 3 répétitions. Un dispositif a été conduit d'une manière intensive pendant les années 2009 et 2010 (apports de 180 unités d'azote par an et 3 coupes par an au début de juillet, début de septembre et fin octobre). L'autre dispositif a été conduit d'une manière extensive pendant les mêmes années (pas de fertilisation et une coupe au début du mois de juillet). Le cycle phénologique des espèces des deux dispositifs a été suivi selon la méthode décrite par Andueza et al., (2015a) pendant le première cycle de végétation en 2011. Des prélèvements de fourrage ont été réalisés pour chaque espèce de chaque dispositif aux sommes de températures (ST) de 400, 800, 1200 et 1600 °jours (j). La ST moyennes (supérieures à zéro et bornées à 19 ° C) a commencée chaque année le 1^{er} février.

Résultats et discussion

L'évolution de la phénologie des 6 espèces gérées selon une conduite intensive ou extensive est montrée dans la Figure 1. Les espèces ayant suivi les années précédentes une conduite intensive sont caractérisées par une phénologie plus précoce que celles ayant suivi une conduite extensive. Dans le

dispositif intensif, la Fétuque ovine est l'espèce qui présente la phénologie la plus avancée suivant une évolution quadratique (Figure 1a). Il est intéressant de noter que le Dactyle aggloméré présente aussi une phénologie plus précoce par rapport à celle du Ray-grass anglais, de la Fléole des prés et de la fétuque rouge, surtout entre 400 et 1200 °j. Egalement, l'évolution de la phénologie de la Fétuque rouge dans cette période est parmi les plus retardées. Ces résultats diffèrent de ceux obtenus les années précédentes sur le même essai (Andueza et al., 2015a). On peut faire l'hypothèse que l'âge des populations de graminées pourrait avoir une influence sur l'évolution de leur phénologie. En ce qui concerne le dispositif ayant suivi une conduite extensive, la Fétuque ovine présente aussi la phénologie la plus avancée entre 400 et 1200 °j, tandis que la Fléole des prés, le Ray-grass anglais et la Fétuque rouge sont caractérisées par une évolution de la phénologie intermédiaire entre celle de la Fétuque ovine et celle du Dactyle aggloméré et du Vulpin des prés. Cependant, à 800 °j, toutes les talles de ces espèces présentant une phénologie intermédiaire, restent encore au stade végétatif. Enfin, la phénologie du Dactyle aggloméré et du Vulpin des prés s'est caractérisée par une évolution nulle au cours du cycle de végétation. Toutes les talles restent au stade végétatif ou certaines au stade début de montaison, mais jamais n'arrivent à montrer à épis.

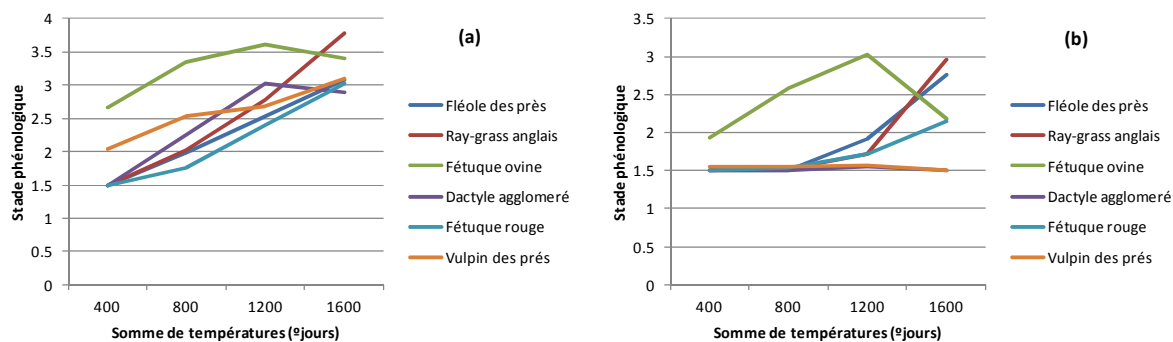


Figure 1. Evolution de la phénologie de 6 espèces prairiales au cours du 1^{er} cycle de végétation selon un mode de conduite intensive (a) ou extensive (b).

Conclusion

Le mode de conduite d'une culture fourragère influence énormément l'évolution du stade phénologique de la saison suivante. Une conduite extensive provoque un retard notable de l'évolution de la phénologie des espèces. Ce retard diffère selon les espèces, il est moins important pour des espèces précoces (ici la Fétuque ovine). Il serait important d'étudier l'évolution de la composition chimique et la valeur nutritive des fourrages ayant suivi ce type de conduite, afin d'optimiser la qualité du fourrage l'offert et de l'adapter aux besoins fourragers des exploitations.

Références

Andueza, D., Picard, F., Rossignol, N., Ballet, J.-M., Pizaine, M.-C., Lanore, L., Note, P., Baumont, R., Carrère, P., 2015a. Evolution de la phénologie de 6 graminées au cours du premier cycle de végétation dans 3 sites selon un gradient d'altitude. Comptes rendus du colloque Phéno 2015. Clermont-Ferrand 17-19 novembre 2015.

Andueza, D., Picard, F., Rossignol, N., Ballet, J.-M., Pizaine, M.-C., Lanore, L., Carrère, P., 2015b. Evolution de la phénologie de 5 graminées sélectionnées ou natives au cours du premier cycle de végétation. Comptes rendus du colloque Phéno 2015. Clermont-Ferrand 17-19 novembre 2015.

Ansquer P., R. Al Haj Khaled, P. Cruz, J.-P. Theau, O. Therond and M. Duru (2009) Characterizing and predicting plant phenology in species-rich grasslands *Grass and Forage Science*, 64, 57–70

Variabilité phénotypique pour la phénologie au sein d'une population de variétés sauvages de Vigne

Nathalie Ollat¹, Louis Bordenave¹, Jean-Pascal Tandonnet¹, Stéphane Decroocq² et Serge Delrot³

1 INRA- UMR EGFV, ISVV, site de Bordeaux, 210 chemin de Leysotte, 33882 Villenave d'Ornon

2 INRA – UMR BFP, 71 avenue Edouard Bourleaux, 33883 Villenave d'Ornon

3- Université de Bordeaux – UMR EGFV, ISVV, site de Bordeaux, 210 chemin de Leysotte, 33882 Villenave d'Ornon

Résumé

Les stades phénologiques débourrement – floraison – véraison ont été notés pendant 3 années consécutives sur une centaine de variétés de *Vitis* sauvages considérées en tant que greffon ou porte-greffe. Une différence de plus de 60 jours a été notée pour les stades débourrement et véraison pour les variétés étudiées en tant que greffon, alors qu'elle n'excède pas 15 jours lorsque les variétés sont utilisées comme porte-greffes. Les résultats sont très bien corrélés d'une année sur l'autre, démontrant le fort contrôle génétique de ces paramètres phénologiques.

Mots clés

Vitis, stades phénologiques, variabilité, greffage, contrôle génétique

Introduction

Entre et au sein de chaque espèce du genre *Vitis*, il existe une très grande variabilité pour de nombreux caractères d'adaptation aux contraintes biotiques et abiotiques. Si la variabilité au sein de l'espèce *Vitis vinifera* est très étudiée pour ce qui concerne les stades de développement et la phénologie (Parker et al., 2013), celle existant au sein et entre les autres espèces de *Vitis* l'est beaucoup moins. Pourtant, dans le contexte de l'adaptation au changement climatique, la valorisation de ces espèces de *Vitis* pour créer de nouvelles variétés de vigne résistantes aux principales maladies de la vigne devra prendre en compte les propriétés de phénologie et d'adaptation aux contraintes abiotiques. Les travaux présentés ici sont une synthèse de l'étude de la variabilité des principaux stades phénologiques au sein d'une centaine de *Vitis* sauvages représentant 20 espèces différentes. Les différents génotypes ont été étudiés en tant que greffon et en tant que porte-greffes lors de deux projets différents.

Matériel et méthodes

Une collection de ressources génétiques Vigne comprenant une centaine de variétés appartenant à une vingtaine d'espèces de *Vitis* différents, installée sur le domaine expérimental de l'INRA-ISVV à Bordeaux a été à la base de ces travaux (<https://www.bordeaux.inra.fr/ampelobase/>). D'une part, les variétés ont été étudiées en tant que greffon avec un porte-greffe unique au sein même de la collection avec 3 plantes par variété, conduites en cordon haut. Les stades phénologiques (débourrement, floraison et début de maturation appelé véraison) ont été notés pendant 3 années consécutives par la date d'apparition de la première manifestation du stade sur l'une des 3 plantes. Seules les variétés femelles ou hermaphrodites ont été notées pour les stades floraison et véraison. Ces mesures de phénologie ont été accompagnées d'enregistrement du nombre de baies par grappe, du poids individuel des baies, du nombre du poids de pépins par baie, de la teneur en sucres et de l'acidité totale à partir d'un prélèvement réalisé 30 jours après le début de la véraison. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet européen KBBE – GRASP. D'autre part, 80 de ces variétés ont

été utilisées comme porte-greffe avec la variété Merlot et implantées en 1999 dans un dispositif de terrain sur le domaine expérimental INRA du Grand Parc (Latresne-33). Chaque combinaison était représentée par un maximum de 10 répétitions de 1 souche réparties de façon totalement aléatoire. Les vignes étaient conduites en monoplan vertical palissé à la densité de 5000 cep / ha, taillées en Guyot avec 30 000 bourgeons / ha répartis selon une échelle de taille unique. Dans ce dispositif, les stades phénologiques débourrement et véraison ont été notés chaque semaine de 2004 à 2009 en estimant le pourcentage d'organes ayant atteint le stade à une date donnée. Ces mesures ont été accompagnées par l'enregistrement d'autres paramètres comme le poids des bois de taille, le rendement unitaire en fruits de chaque souche. Ces travaux étaient conduits dans le cadre d'un projet soutenu par le Conseil Interprofessionnel du Vin de Bordeaux.

Résultats et discussion

Les résultats montrent une très grande variabilité de tous les stades phénologiques enregistrés sur les différents *Vitis* en tant que greffon, allant au-delà de 60 jours. Les variétés des espèces *V. riparia*, *V. amurensis*, *cognatae* et *Thunbergii* sont parmi les plus précoces alors que celles des espèces *V. berlandieri* et *V. rubra* sont parmi les plus tardives. Quel que soit le mode d'expression des stades phénologiques (jour ou degré jour), les corrélations inter-annuelles sont très élevées, révélant une forte composante génétique sur ces caractères. En tant que porte-greffe, on retrouve une variabilité moindre et les effets sur la phénologie du cépage Merlot ne sont pas corrélés à la phénologie des mêmes variétés notées comme greffon, indiquant que les caractéristiques phénologiques ne sont certainement pas transmises au greffon. Il n'a pas été possible de mettre en évidence de variété sauvage de *Vitis* induisant une véraison plus tardive qu'un porte-greffe déjà utilisé commercialement.

Conclusion

La variabilité génétique pour les stades phénologiques au sein du genre est très importante et pourrait être valorisée dans les programmes de création variétale vigne afin de combiner résistance aux maladies et adaptation au changement climatique. Les caractéristiques phénologiques du porte-greffe ne se transmettent pas au greffon, mais le porte-greffe affecte néanmoins la phénologie du greffon. Cet effet « porte-greffe » pourrait contribuer, avec d'autres pratiques viticoles, à l'adaptation au changement climatique quand le changement de variété greffon est problématique.

Références

Parker, A., de Cortázar-Atauri, I.G., Chuine, I., Barbeau, G., Bois, B., Boursiquot, J.-M., Cahurel, J.-Y., Claverie, M., Dufourcq, T., Génys, L., Guimberteau, G., Hofmann, R.W., Jacquet, O., Lacombe, T., Monamy, C., Ojeda, H., Panigai, L., Payan, J.-C., Lovelle, B.R., Rouchaud, E., Schneider, C., Spring, J.-L., Storchi, P., Tomasi, D., Trambouze, W., Trought, M. and van Leeuwen, C., 2013. Classification of varieties for their timing of flowering and veraison using a modelling approach: A case study for the grapevine species *Vitis vinifera* L. *Agricultural and Forest Meteorology* 180, 249-264.

Remerciements

Nous souhaitons remercier vivement Martine Donnart, Cyril Hévin, Bernard Douens, Jean Paul Robert et Jean Pierre Petit qui ont largement contribué à ce travail. Nous remercions également l'Unité Expérimentale Viticole de Bordeaux. Ces travaux ont reçu le soutien financier de l'UE et du Conseil Interprofessionnel du Vin de Bordeaux. Nous les en remercions.

Evaluation de la diversité phénotypique chez la vigne pour les stades de développement et recherche des déterminants génétiques

Vincent Dumas¹, Oliver Loeffler² et Eric Duchêne^{1,*}

1 UMR SVQV, INRA – Université de Strasbourg, 28 rue de Herrlisheim, BP20507, 68021 Colmar Cedex, France

2 UMR AGAP, INRA – Montpellier SupAgro, 2 place Viala, 34000 Montpellier, France

*Correspondance : E. Duchêne, 33(0)3 89 22 49 84, Email: eric.duchene@colmar.inra.fr

Résumé

Les dates de débourrement, floraison et véraison (début de la maturation des raisins) ont été observées sur plus de 450 génotypes de vigne présents en serre ou au vignoble sur le site expérimental de l'INRA de Colmar en 2015. Ces données ont permis le calcul des sommes de températures nécessaires pour atteindre les stades de débourrement, floraison et véraison, mais aussi pour la durée des phases entre ces stades. Ces sommes de températures permettront de calculer des dates de stades dans le futur selon différents scénarios d'évolutions climatiques et d'évaluer quelles seront les conditions de températures prévisibles pendant la maturation des raisins. En parallèle, ces données seront utilisées pour identifier les régions du génome de la vigne impliquées dans la variabilité génétique des caractères étudiés.

Mots clés

Vigne, débourrement, floraison, véraison, génétique

Introduction

Le réchauffement climatique conduit à une avancée des stades de développement de la vigne, que ce soit le débourrement, la floraison ou la véraison (début de la maturation). En conséquence, la période de maturation des raisins tend à se décaler vers les périodes chaudes du milieu de l'été. Les caractéristiques des raisins, en particulier leur acidité, sont directement impactées par cette augmentation des températures pendant la maturation. Une des voies d'adaptation au changement climatique consisterait donc à utiliser des variétés considérées actuellement comme trop tardives, de manière à ce que, dans le futur, leur période de maturation se situe le plus tard possible, à la fin de l'été ou au début de l'automne. Nous avons conduit une évaluation des stades phénologiques pour des collections de génotypes de vigne présents en serre et au vignoble sur le site expérimental de l'INRA de Colmar. Pour certaines populations, nous avons recherché des relations entre les phénotypes observés et les données de génotypage disponibles.

Résultats et discussion

Quatre dispositifs expérimentaux ont été suivis.

En serre, des données de débourrement ont été obtenues sur 243 génotypes issus d'un panel de diversité représentant la diversité de caractères observables chez la vigne cultivée (Nicolas *et al*, en préparation). La véraison pu être observée pour 87 d'entre eux.

Au vignoble, une core-collection de 92 génotypes, représentant la diversité des variations alléliques existant chez la vigne, a été étudiée (Le Cunff, 2008) ainsi qu'une population RV2 (41524), issue d'un croisement intergénérique complexe dont la généalogie comporte des plantes du genre *Muscadinia rotundifolia* et du genre *Vitis vinifera* (116 génotypes et les deux parents).

Enfin, des génotypes présents à la fois en serre et au vignoble ont été suivis pour évaluer la concordance des résultats entre les deux conditions de culture.

Dans tous ces dispositifs, les génotypes ont été caractérisés selon une méthodologie validée antérieurement (Duchêne et al, 2010). Elle consiste à calculer les sommes de températures nécessaires pour atteindre les stades de débourrement, floraison et véraison, mais aussi pour la durée des phases entre ces stades.

Les dates de véraison observées en 2015 à Colmar s'étendaient du 22 juin au 10 août en serre, du 14 juillet au 30 août au vignoble. Les données obtenues permettent d'analyser finement la hiérarchie des caractères génétiques à l'origine de ces variations.

De plus, des régions de génome impliquées dans la variabilité génétique des caractères étudiés dans la population 41254 ont pu être détectées.

Conclusion

L'évaluation de la variabilité génétique existant chez la vigne pour les sommes de températures requises pour atteindre les stades de débourrement, floraison et véraison, doit permettre de tester le comportement de génotypes, réels ou virtuels, dans les conditions climatiques du futur avec différents scénarios. Elle doit également permettre d'identifier des régions du génome à l'origine de ces variations, que ce soit dans une descendance en ségrégation pour ces caractères ou au sein d'un panel de génotypes permettant des études de génétique d'association.

Références

Duchêne E, Huard F, Dumas V, Schneider C, Merdinoglu D (2010) The challenge of adapting grapevine varieties to climate change. *Climate Research* 41: 193-204

Le Cunff L, Fournier-Level A, Laucou V, Vezzulli S, Lacombe T, Adam-Blondon AF, Boursiquot JM, This P (2008) Construction of nested genetic core collections to optimize the exploitation of natural diversity in *Vitis vinifera* L. subsp. *sativa*. *BMC Plant Biol* 8: 31

Nicolas S, Péros J-P, Lacombe T, Launay A, Le Paslier M-C, Bérard A, Mangin B, Desrousseaux D, Valière S, Martins F, Thareau V, Le Cunff L, Laucou V, Chatelet P, Bacilieri R, Dereeper A, This P, Doligez A (en préparation). Design of a grapevine (*Vitis vinifera* L. subsp. *vinifera*) association panel: genetic diversity and linkage disequilibrium within four genomic regions.

Etude et compréhension du déterminisme génétique et moléculaire de la floraison chez le cerisier doux (*Prunus avium*)

Sophie Castède^{1,2}, José Antonio Campoy^{1,2}, Loïck Le Dantec^{1,2}, José Quero-García^{1,2}, Teresa Barreneche^{1,2}, Bénédicte Wenden^{1,2}, Elisabeth Dirlewanger^{1,2*}

1 INRA, UMR 1332 de Biologie du Fruit et Pathologie, F-33140 Villenave d'Ornon, France

2 Univ. Bordeaux, UMR 1332 de Biologie du Fruit et Pathologie, F-33140 Villenave d'Ornon, France

Résumé

Chez les espèces fruitières, la floraison est un évènement majeur qui influencera fortement la fructification. Ce processus, finement régulé par de nombreux facteurs génétiques et environnementaux, est encore peu connu. Chez le cerisier doux (*Prunus avium*), les fleurs ne s'épanouissent qu'après avoir satisfait des besoins en froid et en chaud. Les effets du changement climatique sur la floraison sont déjà notables et pourraient induire d'importantes pertes économiques. La compréhension des déterminants génétiques et moléculaires impliqués dans la floraison permettra l'amélioration des programmes de sélection variétale visant l'obtention d'arbres adaptés aux futures conditions climatiques. L'objectif de cette étude est d'accroître les connaissances sur ces déterminants et d'identifier les gènes contrôlant la floraison chez le cerisier. En étudiant les deux familles intra spécifiques 'Regina' × 'Lapins' et 'Regina' × 'Garnet', la détection de nombreux quantitative trait loci (QTL) sur l'ensemble des groupes de liaisons (GL) a permis de confirmer la forte implication des besoins en froid dans la floraison ainsi que la complexité de ces caractères. Un QTL pour la date de floraison et pour les besoins en froid, très stable au cours des années et à effet majeur, a été localisé sur le GL4. En parallèle, une liste de 79 gènes candidats (GC) intervenant dans le contrôle de la dormance et de la floraison chez diverses espèces a été établie. Tous ces GCs ont été cartographiés *in silico* en utilisant le génome du pêcher et 35 ont été cartographiés génétiquement sur au moins une des cartes génétiques. Des co-localisations GC-QTL ont été identifiées. Ces GC seront étudiés pour leur expression au cours de la dormance des bourgeons.

Mots clés

Prunus avium, phénologie de la floraison, dormance, QTL, gènes candidats

Introduction

La plantation et la gestion des cultures fruitières pérennes nécessitent d'être planifiées sur de longues périodes. Il est donc indispensable d'analyser l'impact des changements climatiques sur ces systèmes pour établir de nouvelles stratégies prospectives de façon à créer de nouvelles variétés adaptées au climat futur. La longévité et la longueur des intervalles de génération propres à un grand nombre d'espèces fruitières pérennes les situent dans une position extrêmement précaire lorsque des changements environnementaux se produisent rapidement. Contrairement aux cultures annuelles, qui complètent leur cycle en une seule saison, la production chez les cultures pérennes repose sur des séries de cycles végétatifs ou floraux pendant de longues années. En conséquence, la plantation et la récolte ne peuvent être ajustées facilement en fonction des changements climatiques et la sélection variétale est beaucoup plus lente. Chez de nombreuses espèces pérennes, il a été démontré qu'une élévation de température pendant les périodes de dormance (automne, hiver) était responsable des avancées des dates de floraison et de désordres phénologiques avec un

étalement important des dates de floraison. Ces modifications peuvent avoir des implications négatives pour les systèmes agricoles. Celles-ci pourraient être : une augmentation du risque de gelées provoquées par les fluctuations de température au printemps, une plus difficile synchronisation de la floraison avec l'activité des pollinisateurs, un changement dans la période optimale de croissance, du développement du fruit et de la germination, et une modification des relations hôte/pathogène. Dans un contexte de changement climatique, ces risques deviendront de réelles menaces pour les arboriculteurs de l'hémisphère Nord où des hivers particulièrement doux ont déjà été enregistrés.

Chez les espèces pérennes, la phénologie de la floraison est sous la dépendance directe d'une sortie adéquate de dormance (période de repos déclenchée par la baisse de la température et par la diminution de la photopériode). La dormance peut se décomposer en endodormance et écodormance (Lang et al. 1987). La levée de l'endodormance nécessite une accumulation suffisante de températures froides (besoins en froid), alors que l'écodormance requiert des températures suffisamment élevées (besoins en chaleur) pour permettre la croissance. Dans notre étude la date de floraison a donc été décomposée en besoins en froid et en chaleur. Deux descendances F_1 issues des croisements Regina' × 'Lapins' et 'Regina' × 'Garnet' ont été évaluées pour ces caractères pendant plusieurs années. En parallèle, des GC intervenant dans le contrôle de la dormance et de la floraison, déjà identifiés chez d'autres espèces, ont été cartographiés. Les co-localisations CG-QTL ont été recherchées.

Résultats et discussion

Un QTL à effet majeur, expliquant jusqu'à 45 % des variations observées pour la date de floraison, a été identifié sur le GL4. Ce QTL est détecté pour toutes les années d'évaluation avec une très grande stabilité pour les besoins en froid et la date de floraison (Castède *et al* 2014). En revanche, aucun QTL stable n'a été détecté pour les besoins en chaud.

Pour les 79 GC étudiés, les séquences orthologues ont été identifiées chez le pêcher et le cerisier et des amorces ont été définies. Des SNP ont été détectés à partir des séquences issues des produits d'amplification des parents des deux descendances pour 35 GC. Ces gènes ont été génétiquement cartographiés et tous les autres ont été localisés *in silico* en utilisant la séquence du pêcher. Des GC ont été localisés dans presque tous les QTL et en particulier dans le QTL à effet le plus fort pour la date de floraison, localisé sur le GL4. Un effet significatif des haplotypes comprenant deux GC a été mis en évidence pour la date de floraison et les besoins en froid.

Conclusion

Cette étude confirme le caractère complexe de la date de floraison et des besoins en froid, des QTL ayant été détectés dans tous les GL. Les GC situés dans les régions des QTL seront par la suite étudiés pour leur expression. Toutefois, les deux GC localisés dans le QTL du GL4 peuvent être utilisés pour sélectionner des génotypes à faibles besoins en froid avec des floraisons précoces.

Références

- Castède S, Campoy JA, Quero-García J, Le Dantec L, Lafargue M, Barreneche T, Wenden B, Dirlwanger E. (2014) Genetic determinism of phenological traits highly affected by climate change in *Prunus avium*: flowering date dissected into chilling and heat requirements. *New Phytologist* 202:703-715.
- Lang GA (1987) Dormancy - A new universal terminology. *Hortscience* 22: 817-820.

Architecture génétique du débourrement induite par les différents partenaires d'une plante greffée

Elisa Marguerit^{1,2}, Cornelis van Leeuwen^{1,2}, Serge Delrot², Nathalie Ollat³

1 Bordeaux Sciences Agro - UMR EGFV, ISVV, site de Bordeaux, 210 chemin de Leysotte, 33882 Villenave d'Ornon

2 Université de Bordeaux – UMR EGFV, ISVV, site de Bordeaux, 210 chemin de Leysotte, 33882 Villenave d'Ornon

3 INRA – UMR BFP, 71 avenue Edouard Bourleaux, 33883 Villenave d'Ornon

Résumé

Ce travail conduit chez la vigne sur une descendance de type F1 démontre le contrôle génétique exercé par les différents partenaires, porte-greffe et greffon, sur le débourrement du greffon. Toutefois, à partir des calculs d'héritabilité et des QTLs détectés, la variabilité du débourrement est plus largement expliquée par la variabilité génétique du greffon que celle du porte-greffe.

Mots clés

vigne, débourrement, QTL, greffage, porte-greffe

Introduction

La modification de la phénologie a déjà été largement démontrée en tant que conséquence du changement climatique (Chuine, 2000 ; Duchêne *et al.*, 2010). Le débourrement, un des stades phénologiques majeurs chez la vigne, constitue le début du développement végétatif. La vigne est cultivée greffée. Le porte-greffe et le greffon interagissent ensemble et influencent la croissance et le développement. L'objectif de ce travail est d'analyser l'architecture génétique du débourrement induite par le porte-greffe ou par le greffon.

Matériel et méthodes

Une descendance de type F1 constituée de 138 individus et issue du croisement *V. vinifera* x *V. riparia* Gloire de Montpellier, a été d'abord utilisée en tant que boutures, puis en position de porte-greffe (le Cabernet Sauvignon a été alors utilisé comme greffon sur chaque génotype de la descendance), et pour finir en position de greffon (le Gravesac a été le porte-greffe sur lequel ont été greffés l'ensemble des génotypes de la descendance). Les boutures et l'expérimentation de la descendance en position de porte-greffe ont été conduites en pot en serre alors que l'expérimentation de la descendance en position de greffon a été conduite au champ. L'ensemble de ces trois expérimentations ont été menées au cours de deux années. Le débourrement a été évalué jusqu'à ce que la première feuille soit étalée comme décrit par Baggiolini (1952). La température de l'air a été enregistrée pour l'ensemble des expérimentations.

Résultats et discussion

Les sommes de température exprimées en degrés jours (somme des températures quotidiennes depuis le début de l'expérimentation) ont été calculées pour chaque stade de débourrement (stade C, D et une feuille étalée). Une large variabilité a été observée au sein de la descendance étudiée qu'elle soit en bouture, en position de porte-greffe ou en position de greffon. L'héritabilité du débourrement est très élevée lorsque la descendance est en position de greffon et moyenne lorsqu'elle est en position de porte-greffe. L'analyse QTL a été réalisée sur l'ensemble des caractères cités précédemment. Des QTLs stables au cours des deux années d'étude et expliquant un faible

pourcentage de la variance phénotypique, ont été détectés sur huit groupes de liaison. Toutefois, aucun QTL n'a été détecté lorsque la descendance est en position de porte-greffe.

Conclusion

Il s'agit de la première étude de génétique quantitative prenant en compte l'influence des différents partenaires assemblés au sein d'une plante greffée.

Références

Baggiolini M (1952) Les stades repères dans le développement annuel de la vigne et leur utilisation pratique. Rev. Mon. Agr. Viticult. 8:4-6.

Chaine I (2000) A Unified Model for Budburst of Trees. Journal of Theoretical Biology 207(3):337-347.

Duchêne E, Huard F, Dumas V, Schneider C, & Merdinoglu D (2010) The challenge of adapting grapevine varieties to climate change. Climate research 41:193-204.

Dynamique évolutive du cycle phénologique foliaire : le cas d'une métapopulation de chênes sessiles le long d'un gradient altitudinal

Cyril Firmat¹, Sylvain Delzon¹, Jean-Marc Louvet¹, Antoine Kremer¹

1 INRA - Université de Bordeaux, UMR1202, BIOGECO, Cestas, France.

Résumé

La phénologie de la feuille, comme celle de toute structure labile, se caractérise par un cycle défini par une date de formation (débourrement), une date de sénescence, délimitant ensemble la durée de fonction de la structure (saison de croissance). Bien que la variation de chacun de ces traits puisse contenir une composante adaptative forte, ils se trouvent généralement analysés séparément dans le cas des arbres. Cela conduit à négliger le rôle des contraintes génétiques ainsi que de potentiels scénarios de sélection multivariée. Cette étude propose une approche de génétique quantitative intégrée pour comprendre l'évolution du cycle phénologique foliaire chez une métapopulation de chênes distribuée le long d'un gradient altitudinal dans les Pyrénées. Ce système témoigne d'une forte divergence adaptative de la date de débourrement foliaire (Alberto *et al.* 2011). A partir d'un modèle simple dérivé de l'équation de Lande (1979), nous montrons qu'une approche de génétique quantitative appliquée à l'ensemble du cycle phénologique s'avère informative pour comprendre la nature des processus sélectifs présidant à la divergence adaptative en relation avec le climat.

Mots clés

Contraintes évolutives, débourrement, Génétique quantitative, *Quercus petraea*, saison de croissance, sénescence.

Introduction

Sur la base d'un large dispositif en jardin commun (test de provenances-descendances des populations naturelles du gradient), cette étude vise à déterminer :

- (1) le(s) trait(s) impliqué(s) dans la divergence du cycle phénologique en lien avec l'altitude.
- (2) les scénarios évolutifs pouvant affecter la distribution de la (co)variance génétique entre traits, aux niveaux intra- et inter-populations.

Résultats et discussion

Un "modèle animal" a permis d'estimer une variance génétique abondante pour chacun des traits considérés et une covariance faible entre les dates de débourrement et de sénescence foliaire (Figure 1). Cela suggère que les contraintes génétiques n'ont que faiblement influencé l'évolution du cycle phénologique. Le niveau de divergence génétique des traits (Q_{ST}) excède largement l'attendu de neutralité estimé à partir de marqueurs microsatellites (F_{ST}) pour les dates de débourrement comme pour la sénescence (Figure 2). Cela suggère une forte sélection directionnelle sur ces deux traits le long du gradient altitudinal, qui se traduit par la divergence génétique corrélée entre traits au niveau inter-populationnel ($R^2 = 0,41$). La saison de croissance, quant à elle, semble moins soumise à sélection directionnelle (Figure 2, droite). A partir d'une matrice **G** moyenne (Figure 1), notre approche permet d'estimer que le gradient de sélection directionnel moyen s'étant exercé sur la date de débourrement était plus de quatre fois supérieur à son homologue portant sur la date de sénescence.

Conclusion

De fortes pressions de sélection (p. ex., liées à des gels printaniers plus précoces) pour une date de débourrement retardée ont dû jouer un rôle clé dans l’adaptation locale à l’altitude. Une sélection corrélée plus faible pour une date de sénescence plus tardive a certainement permis de compenser partiellement le raccourcissement de la saison de croissance en haute altitude (faible divergence, Figure 2), conduisant à une divergence corrélée des dates de sénescence et de débourrement.

Références

Alberto F., Bouffier L., Louvet J.-M., Lamy J.-B., Delzon S., Kremer A., 2011. Adaptive responses for seed and leaf phenology in natural populations of sessile oak along an altitudinal gradient. *Journal of Evolutionary Biology* 24, 1442–1454.

Lande R., 1979. Quantitative genetic-analysis of multivariate evolution, applied to brain-body size allometry. *Evolution* 33, 402–416.

Figure 1 : Matrice de variance-covariance génétique des dates de débourrement et de sénescence foliaire. *Gauche* : représentation ellipsoïde de la matrice estimée (noir) et distribution (gris) de 1000 échantillons obtenus par la méthode de méthode de Monte-Carlo par chaînes de Markov (MCMC). *Droite* : Estimation (points noirs) et intervalles de crédibilité à 95% (IC 95%) des éléments de la même matrice **G** : variance génétique des dates de débourrement et de sénescence (G_D et G_S) et leur covariance génétique ($G_{D,S}$). La variance G_{SC} de la saison de croissance est de l’ordre de $G_{SC} \approx G_D + G_S$.

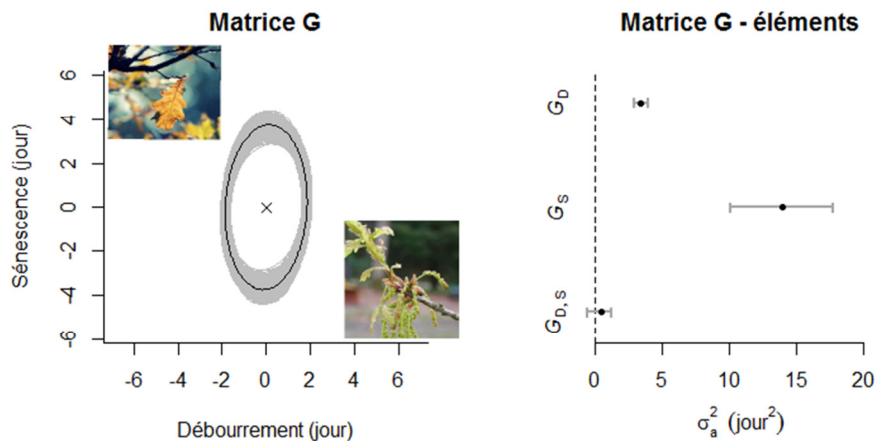
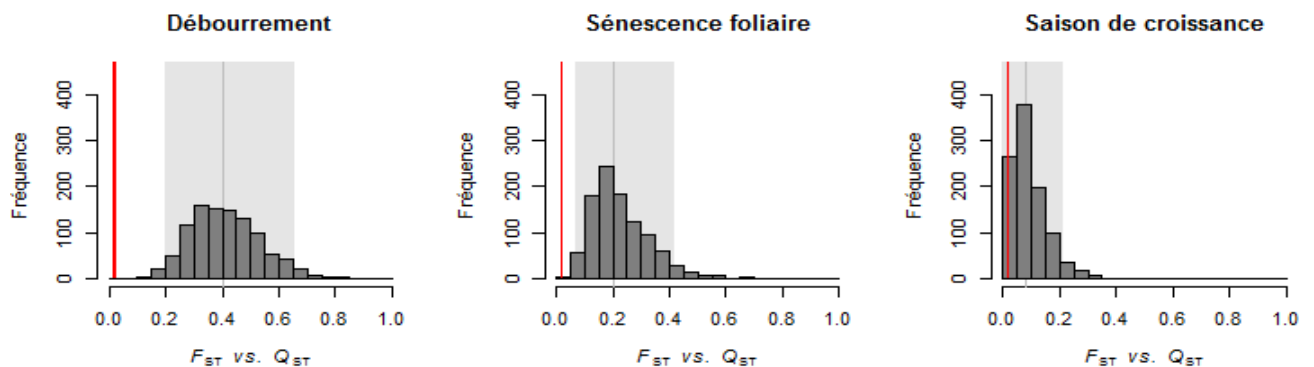


Figure 2 : Comparaison F_{ST} - Q_{ST} pour les trois traits considérés. Ligne rouge : $F_{ST} = 0.02$, correspondant à l’attendu de neutralité (intervalles de confiance à 95% compris). Histogramme : distribution de 1000 échantillons MCMC du Q_{ST} . Ligne grise et surface grisée : médiane et IC 95% de cette distribution.



Modélisation bioclimatique de la phénologie des cultures annuelles et pérennes : Une approche générique

Gaétan Bourgeois, Dominique Plouffe, Nathalie Beaudry et Danielle Choquette

Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et développement en horticulture, Saint-Jean-sur-Richelieu (Québec), Canada

Résumé

Afin de mieux caractériser les effets de la variabilité météorologique sur le développement des cultures, un modèle phénologique générique a été développé pour simuler l'évolution des stades phénologiques des cultures annuelles et pérennes tout au long de la saison de croissance. Ce modèle a permis de simuler adéquatement l'évolution phénologique de plusieurs cultures maraîchères, fruitières, céréalières et oléagineuses en fonction des données météorologiques mesurées.

Mots clés

Phénologie, Photopériode, Variabilité climatique, Vernalisation, Température

Introduction

En agriculture, plusieurs décisions opérationnelles et stratégiques doivent être prises quotidiennement pour la production et la protection des cultures végétales. Une meilleure connaissance de l'évolution phénologique des cultures est un élément clef pour 1) la planification des semis, des transplantations et des récoltes, 2) la planification des interventions phytosanitaires, 3) les stratégies de dépistage des ravageurs des cultures, 4) la gestion de l'eau (drainage et irrigation) et 5) la coordination régionale de la mise en marché des récoltes (Lepage et Bourgeois, 2012). Le développement de modèles bioclimatiques permettant de prédire les stades phénologiques devient donc un outil fort intéressant pour mieux gérer les cultures en fonction de la variabilité météorologique, tant intra-annuelle qu'interannuelle.

Plusieurs approches ont été proposées pour modéliser la phénologie des cultures, la plus importante étant l'approche des cumuls thermiques (ex. : degrés-jours) (Plouffe et al. 2004). Dans un contexte d'augmentation des températures, cette approche peut devenir limitante, surtout à des températures supra-optimales, car leur réponse thermique est essentiellement linéaire, alors que cette réponse est en réalité non-linéaire. De plus, ces cumuls thermiques se limitent souvent à la prédiction des dates d'atteinte de stades phénologiques spécifiques (ex. : floraison et maturité). Afin de réduire ces contraintes, un nouveau modèle bioclimatique a été conceptualisé et intégré dans le logiciel CIPRA (Plouffe et al. 2014) afin de simuler la phénologie des cultures en utilisant des réponses non-linéaires à la température et en intégrant d'autres facteurs limitatifs (ex. : photopériode).

Description du modèle phénologique

L'échelle phénologique universelle BBCH (Meir et al. 2001) a été utilisée pour décrire les différents stades de développement des cultures. Dans cette échelle, la phase germination-levée (culture annuelle) ou développement des bourgeons (culture pérenne) est définie par les stades BBCH 0 à 9. Le développement du couvert végétal est ensuite caractérisé par les stades BBCH 10 à 19 (feuilles sur la tige principale), les stades 20 à 29 (pousses secondaires ou tallage) et les stades 30 à 39 (élongation de la tige, formation de la rosette). Les stades 40 à 49 sont surtout utilisés pour décrire le développement des parties végétatives de récolte, tandis que les stades 50 à 89 couvrent le développement reproductif des plantes (inflorescence, floraison, fruits/grains et maturation).

Pour le modèle phénologique générique, le développement des cultures a été divisé en quatre phases : 1) la phase émergence/débourrement (BBCH 0 à 9), 2) la phase foliaire (BBCH 10 à 29), 3) la phase commerciale (BBCH 40 à 49) et 4) la phase reproductive (BBCH 50 à 89). Pour chacune de ces phases, un taux maximal de développement est modulé par des fonctions de réponse à la température et/ou la photopériode. De plus, une phase de transition a été intégrée dans le modèle afin d'assurer le passage entre la phase foliaire et les phases commerciale ou reproductive. Cette transition est actuellement effectuée en fonction de l'atteinte d'un stade végétatif spécifique. Des améliorations sont requises pour ce module afin de mieux caractériser cette transition chez certaines cultures en fonction de la photopériode et de la vernalisation.

Des expérimentations sur plusieurs cultures ont été effectuées sous conditions contrôlées (c.à.d. cabinets de croissance, serres) afin de caractériser les différentes réponses à la température et/ou photopériode de chacune des phases phénologiques du modèle. De plus, des parcelles au champ implantées à différentes dates de semis pour les cultures annuelles et des parcelles en verger sur plusieurs années ont permis d'obtenir plusieurs jeux de données pour calibrer les modèles de plusieurs cultures et cultivars sous de multiples conditions météorologiques. Des adaptations ont été réalisées pour plusieurs cultures maraîchères (brocoli, carotte, chou-fleur, laitue pommée, oignon), fruitières (pommier, vigne), céréalières (blé de printemps, orge, maïs) et oléagineuses (canola, soya). Plusieurs de ces modèles phénologiques, notamment ceux du brocoli, de la carotte, du chou-fleur, de la laitue pommée et de l'oignon, sont déjà utilisés par les producteurs agricoles canadiens pour leur planification des semis et des récoltes avant le début de la saison de croissance et aussi pendant la saison de croissance afin de mieux répartir leurs volumes de production et orchestrer leurs stratégies commerciales auprès des acheteurs potentiels. Jumeler les prédictions phénologiques des cultures avec les modèles prévisionnels de leurs bioagresseurs permet aussi une meilleure planification des visites de dépistage au champ et, conséquemment, la justification d'interventions sanitaires.

Conclusion

Pour réaliser ses prédictions bioclimatiques, le modèle phénologique que nous avons conceptualisé ne nécessite que les intrants de températures horaires, de photopériode et de date de semis, ce qui fait de lui un outil simple, précis et facile d'utilisation. Cependant, l'application du modèle à une plus grande variété de cultures, de cultivars et d'environnements est souhaitable pour continuellement améliorer la précision des prédictions et ainsi fournir à nos producteurs agricoles un outil d'aide pour leurs décisions opérationnelles et stratégiques dans un contexte de climat variable, d'évènements climatiques extrêmes et de changements climatiques.

Références

- Lepage, M.P. et Bourgeois, G. 2012. Modèles bioclimatiques pour la prédiction de la phénologie, de la croissance, du rendement et de la qualité des cultures. Commission agrométéorologie, CRAAQ, Québec, Canada. Feuille technique, Publication no. PAGR0104. 15 p.
- Meier, U. et al. 2001. Stades phénologiques des mono- et dicotylédones cultivées; BBCH monographie (2e éd.). Centre Fédéral de Recherches Biologiques pour l'Agric. et les Forêts. 166 p.
- Plouffe, D. et al. 2014. CIPRA - Centre Informatique de Prévision des Ravageurs en Agriculture: Guide des cultures. AAC, Bulletin technique, A42-119/2013F-PDF. 138 p.
- Plouffe, D. et al. 2004. Estimateur de degrés-jours pour la prédiction de stades phénologiques (DJPheno); Version 2.6. AAC, Bulletin technique, A54-9/2004-5F-PDF. 18 p.

Prévision et utilisation de la phénologie du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) dans des outils d'aide à la décision

Xavier Le Bris¹, Philippe Gate², David Gouache², Cécile Garcia³, Jean-Charles Deswarte³

1 ARVALIS – Institut du végétal, La Chapelle Saint-Sauveur (44), France

2 ARVALIS – Institut du végétal, Paris (75), France

3 ARVALIS – Institut du végétal, Villiers le Bâcle (91), France

Résumé

On assiste depuis plusieurs années à une utilisation croissante des Outils d'Aide à la Décision (OAD) pour les grandes cultures à destination des agriculteurs et de leurs conseillers. La plupart des OAD d'ARVALIS – Institut du végétal nécessite le calcul quotidien de la phénologie de céréales à paille, pour un total de plusieurs milliers parcelles. Pour des variétés bien connues de blé tendre, les performances des modèles de prévision de stades-clés sont satisfaisantes par rapport aux attentes des utilisateurs (RMSE de 5.1 jours à épi 1cm, de 2.7 jours à épiaison). La connaissance des variétés nouvelles nécessitant des années d'expérimentations en plusieurs lieux, l'utilisation de la génétique est une voie actuellement explorée pour un paramétrage plus rapide.

Mots clés

Blé tendre, phénologie, modèle, épi 1cm, épiaison.

Introduction

La modélisation de la phénologie des céréales à paille se fait autour de trois stades-clés : la levée (BBCH 09), le stade épi 1cm (BBCH 30), le stade épiaison (BBCH 55). Les autres stades sont prévus à partir de ceux-ci en se basant sur le phyllotherme et les sommes de températures. Des bases de données ont été constituées par ARVALIS – Institut du végétal pour les principales céréales à paille cultivées en France. Les modèles d'épi 1cm et d'épiaison présentés ici pour le seul blé tendre, sont des modèles adaptés du modèle ARCWHEAT (Weir et al., 1984). Ils sont bâtis, dans un premier temps, pour une variété de référence. Une méthode, dite « méthode des couples », est utilisée ensuite pour le paramétrage variétal, en relatif à la variété de référence.

Résultats et discussion

Compte tenu de sa longévité, la variété Soissons a été retenue comme variété de référence avec des données de 1990 à 2014, sur environ 74 sites. Pour le stade épi 1cm, la mesure de la hauteur d'épi n'étant pas toujours effectuée à 10 mm, un modèle de recalage (Gate, 1995) permet d'estimer la date du stade à 10 mm. Le modèle calcule quotidiennement une somme de températures en base 0°C pondérées par un facteur photopériode et un facteur vernalisation et fait des cumuls jusqu'à atteindre une somme propre à chaque variété. Le jeu de données a permis de reparamétrer le modèle initial sur le début de la vernalisation, la photopériode de base, les seuils de vernalisation. Le modèle a été complété par un effet de la densité de semis et du type de sol. Le modèle obtenu a une RMSE de 5,1 jours (figure 1). Le modèle du stade épiaison est construit de façon similaire, sans le facteur vernalisation. La RMSE est de 2,7 jours (figure 2).

Pour le paramétrage variétal, la méthode des couples consiste à comparer des variétés conduites sur le même site, la même année avec le même itinéraire technique afin d'établir des indices pour la précocité intrinsèque et la vernalisation.

Conclusion

Ces modèles sont aujourd'hui utilisés dans des OAD de prévisions de stades, de maladies, de fertilisation, d'irrigation (Farmstar®, Stadi-Lis®, Septo-Lis®, FertiWeb®, Irré-Lis®). Cette utilisation en cours de campagne nécessite des calculs fréquents pour le climat à venir. D'autres espèces sont paramétrées sur les mêmes bases : blé dur (*Triticum durum* L.), orges hiver et de printemps (*Hordeum vulgare* L.), triticale (*Triticum secale*). Ces modèles sont également utiles pour effectuer des bilans de campagne, des atlas ou des études stratégiques, notamment sur le changement climatique (Brissou et al., 2010). La difficulté actuelle étant le paramétrage des nouvelles variétés, d'importants travaux sont en cours pour déterminer les paramètres de chaque variété à partir de la génétique (Gouache et al., à paraître).

Références

- Gate Ph., 1995. Ecophysiologie du blé: de la plante à la culture. Lavoisier Editeur, Paris, France.
- Brissou N., Levrault F., (coords.), 2010, "Livre vert du projet Climator. Changement climatique, agriculture et forêt en France: (Eds.), ADEME édition simulations d'impacts sur les principales espèces (2007-2010)"
- Gouache D., Bogard M., Pegard M., Thépot S., Garcia C., Hourcade C., Paux E., Oury FX., Rousset M., Deswarte JC., Le Bris X., Bridging the gap between ideotype and genotype: challenges and prospects for modelling as exemplified by the case of adapting wheat (*Triticum aestivum* L.) phenology to climate change in France (à paraître)
- Weir A.H., Bragg P.L., Porter J.R., Rayner J.H., 1984. A winter wheat crop simulation model without water or nutrient limitations. *Journal of Agricultural Science* 102, 371-82

Figure 1. Stades observés et prévus avec le modèle épi 1cm (BBCH 30) pour la variété Soissons

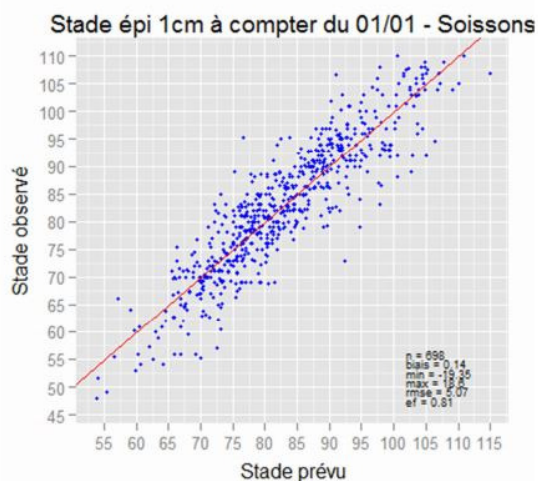
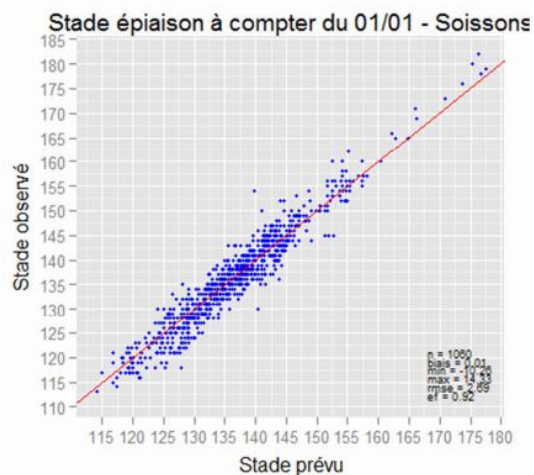


Figure 2. Stades observés et prévus avec le modèle épiaison (BBCH 55) pour la variété Soissons



La modélisation de la phénologie comme outil pour accéder à la régularité de production chez les *Prunus*.

Lucia Andreini¹, Maha Thabet², Jean-Marc Audergon¹, Inaki Garcia de Cortazar Aauri³

1 INRA Centre Paca, Domain Saint Maurice UR 1052 GAFL **Génétique et Amélioration des Fruits et Légumes, Montfavet - Avignon, France.**

2 Institut Supérieur Agronomique de Chott Meriem ISA-CM, Sousse, Tunisie

3 INRA Centre Paca, Domain Saint Paul US 1116 Agroclim, Montfavet - Avignon, France

Résumé

Comprendre la phénologie est nécessaire, pour bien choisir et sélectionner les cultivars qui peuvent mieux s'adapter dans un contexte de changement climatique. Les modèles phénologiques, basés sur la réponse de la plante à la température, sont des outils utiles pour prédire les différentes phénophases sous différentes conditions climatiques (Chuine *et al.*, 2003). Cette étude a visé à développer deux modèles phénologiques à l'échelle de l'espèce pour prédire d'une part la floraison et d'autre part la maturation de l'abricotier (*Prunus armeniaca* L.).

Mots clés

Prunus armeniaca, floraison, maturité.

Introduction

Afin de modéliser la floraison et la maturité de l'abricotier, deux bases de données phénologiques et climatiques ont été mises en place. Nous avons utilisé la plateforme de modélisation de phénologie PMP (<http://www.cefe.cnrs.fr/fr/component/content/article?id=921>) pour la calibration des modèles prévisionnels dans le but de comparer plusieurs modèles phénologiques qui utilisent différentes températures (Chuine *et al.*, 2013). Le choix du modèle le plus performant a été fait sur la base de différents critères statistiques.

Résultats et discussion

Date de Floraison. A partir d'une base de données multi-site (11) et multi-variétale (578), deux modèles phénologiques, GDD et Wang&Engel, ont été calibrés au niveau de l'espèce pour la prédiction de la date de floraison (Fig. 1). Les optimisations ont produit une erreur de prédiction d'environ 5 jours, résultat satisfaisant qui s'est maintenu aussi au niveau variétal (311 variétés). Sur un jeu de données indépendant (6 sites; 50 variétés) la validation a été réalisée. La validation des modèles de floraison a indiqué que les modèles peuvent être efficaces au niveau des variétés, bien que, à ce stade, le pouvoir de prédiction n'était pas nécessairement équivalent pour toutes les variétés. Toutefois, le fait que la plupart des données validées sont dans la même plage que les données utilisées en calibration, peut indiquer que la base de données est capable d'explorer suffisamment la variabilité de la phénologie liée aux conditions climatiques (Fig. 2).

Date de Maturité. La calibration des modèles a été réalisée à partir d'une base de données phénologiques comprenant 7 sites et 309 variétés. Les optimisations au niveau d'espèce ont produit une erreur de prédiction de 16 jours. Sur la base de ces résultats trois modèles (Sigmoid, Wang & Engel et GDD) ont été retenus afin d'établir des projections au niveau variétal. La simulation des trois modèles à l'échelle variétale a été faite sur un sous ensemble de 155 variétés et a produit des erreurs de prédiction de l'ordre de 5 jours. Cependant l'erreur de prédiction au niveau d'espèce suggère d'élargir la gamme des variétés pour mieux comprendre le processus de la maturité.

Nous avons gardé plusieurs modèles pour l'espèce dont les performances étaient très similaires, notamment GDD et Wang & Engel.

Conclusion

Le travail de modélisation de la floraison réalisé sur une base de données assez large a permis de caractériser les exigences de chaleur (F^*) d'un grand nombre de variétés. Ces résultats pourront être utilisés dans le choix des plantations des nouvelles variétés dans les différentes régions de production. De plus ce travail permettra aussi d'identifier les variétés qui pourront mieux s'adapter aux conditions climatiques futures sur des nouvelles régions qui ne sont pas aujourd'hui dédiées à la culture de l'abricotier.

Sur la base de la caractérisation des stades phénologiques de la floraison et de la maturité pour une large gamme de variétés, une évaluation de la variabilité génétique intra-spécifique de l'espèce abricotier pourrait être envisagée.

Références

Chuine I., Kramer K., Hänninen H. (2003). «Plant Development Models » in Phenology: An Integrative Environmental Science. (Schwarz M. Éd.). Tasks for Vegetation Science. Springer. The Netherlands. 217-235.

Chuine I., Garcia de Cortazar Aauri I., Kramer K. & Hänninen H. (2013) Plant Development Models. In: Phenology: An Integrative Environmental Science (ed. Schwarz MD). Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 275-293.

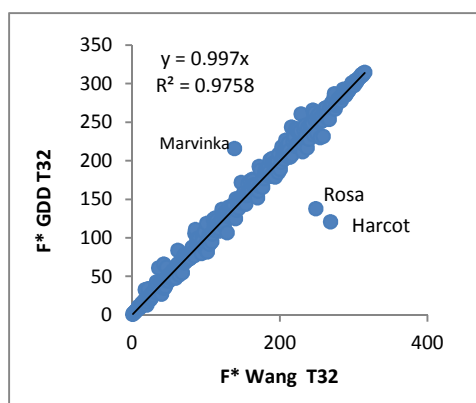
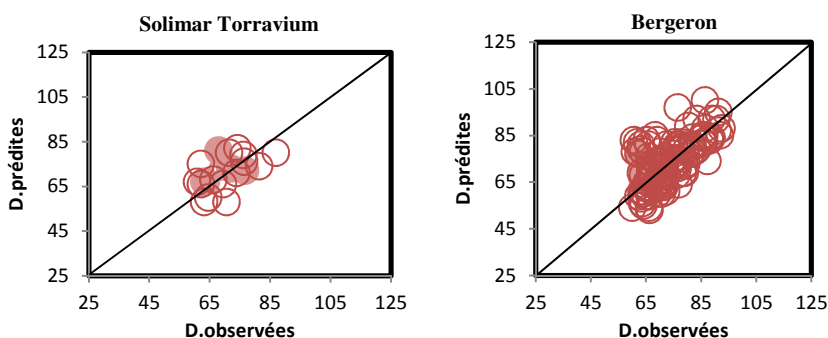


Figure 1. Correspondance de la classification entre GDD $t_{0=32}$ et WANG $t_{0=32}$ du besoin en chaleur spécifique de chaque variétés (F^*) pour atteindre la floraison

Figure 2. Validation du modèle. Exemple de comparaison des dates de floraisons observées et simulées avec le modèle GDD pour deux variétés, Solimar Torrarium et Bergeron. (○) dates utilisées pour calibrer le modèle WANG et (●) dates utilisées pour valider le modèle WANG.



Comment intégrer les effets combinés de la température et de la photopériode dans les modèles de débourrement végétatif ?

Julie Gaüzère¹, Hendrik Davi², Sylvain Delzon³ & Isabelle Chuine¹

1 CNRS, UMR 5175, 34293 Montpellier, France

2 INRA, UR 629, 84914 Avignon, France

3 INRA, UMR 1202, 33612 Bordeaux, France

Mots clés

Débourrement végétatif ; Modèle phénologique ; *Fagus sylvatica* ; *Quercus petraea*

Résumé

Avec le changement des conditions climatiques, de nombreuses espèces animales et végétales voient leur phénologie se décaler afin de bénéficier de conditions environnementales favorables plus précocement (Root et al. 2003, Berteaux et al. 2004). Chez la plupart des espèces, cette évolution est majoritairement due à une réponse plastique des traits phénologiques (Berteaux et al. 2004).

Etre capable de prédire l'évolution de ces traits avec le climat est un enjeu certain pour comprendre les capacités de maintien des espèces dans leurs localités actuelles. Pour les organismes sessiles à cycle de vie long, comme les arbres, cette réponse va être d'autant plus importante que les capacités de migration de ces espèces se révèlent insuffisantes pour qu'elles soient capables de suivre leur enveloppe climatique (Nathan et al. 2011).

Parmi les traits phénologiques, le débournement végétatif est probablement le trait sur lequel la plus grande connaissance empirique a été acquise. Le débournement végétatif est classiquement décrit comme la terminaison de deux phases successives : la phase d'endodormance, ou dormance vraie, et celle d'écodormance, dont les déterminants principaux sont respectivement le cumul de température « froides » (ou *chilling*) et le cumul des températures « chaudes » (ou *forcing*).

Cette vision séquentielle des effets du *chilling* et *forcing* sur le développement des bourgeons est actuellement discutée, du fait de la difficulté à mesurer la date de fin d'endodormance (ou date de levée de dormance) chez plusieurs espèces forestières. De récentes études empiriques ont également révélé un effet non-négligeable de la photopériode sur le débournement de certaines espèces (Basler and Koerner 2012, Caffarra and Donnelly 2011, Zohner et al. 2015). Pour une des espèces pour laquelle cet effet fait consensus, le hêtre commun (*Fagus sylvatica*), il a été montré que la photopériode présente un effet compensatoire et interactif avec le *chilling* (Caffarra and Donnelly 2011, Zohner et al. 2015).

Les modèles basés sur les processus permettent de décrire ces effets complexes des facteurs environnementaux sur le taux de développement des bourgeons. Actuellement, le modèle le plus utilisé pour simuler les dates de débournement chez les arbres est un modèle séquentiel à deux phases, faisant intervenir un effet cumulatif du *chilling* puis du *forcing* sur le taux de développement. Ce type de modèle semble cependant dépassé pour certaines espèces d'après les nouvelles connaissances empiriques.

L'objectif de cette étude a été d'explorer comment les effets du *chilling* et de la photopériode pouvaient être intégrés dans les modèles de débourrement. Pour cela nous avons comparé différents modèles déjà décrits dans la littérature avec un nouveau modèle incluant les effets continus et dynamiques du *chilling* et de la photopériode via une fonction de compétence de croissance modulant la réponse au *forcing*. Nous avons adressé cette question pour deux espèces forestières majeures en Europe, *Fagus sylvatica* et *Quercus petraea*. Les modèles testés ont été calibrés et validés avec le logiciel PMP (Phenological Model Platform; Chuine et al. 2013) en utilisant les données d'observation de la phénologie du réseau Français RENECOFOR ($N_{F_{syl.}} = 137$; $N_{Q_{pet.}} = 190$).

Les résultats préliminaires montrent que la prise en compte d'un effet dynamique du *chilling* et de la photopériode via une fonction de compétence de croissance permet d'améliorer les prédictions des dates de débourrement pour le hêtre commun. Pour le chêne sessile, la calibration des modèles ne révèle pas d'effet notable de la photopériode sur le déterminisme des dates de débourrement. Dans ce cas, considérer un effet continu du *chilling* sur le processus de levée de dormance (i.e. la capacité à accumuler des unités de forcing) n'améliore pas non plus les performances des modèles.

Bien que l'apport de réalisme biologique dans les modèles se fasse souvent au détriment de leur complexité et nombre de paramètres, cette évolution semble primordiale afin d'être capable de prédire correctement l'évolution des dates de débourrement dans le climat futur. Pour les espèces photosensibles notamment, l'effet des jours longs pourrait contrebalancer des besoins en froid non satisfaits et conduire à la stagnation des dates de débourrement malgré l'allongement de la période favorable de croissance avec le changement climatique.

Références

- Basler D and Koerner C, 2012. Photoperiod sensitivity of bud burst in 14 temperate forest tree species. *Agricultural and Forest Meteorology* **165**: 73-81
- Berteaux D, Reale D, McAdam AG and Boutin S, 2004. Keeping pace with fast climate change: Can arctic life count on evolution? *Integrative and Comparative Biology* **44** : 140-151
- Caffarra A and Donnelly A, 2011. The ecological significance of phenology in four different tree species: effects of light and temperature on bud burst. *International Journal of Biometeorology* **55** : 711-721
- Caffarra A, Donnelly A and Chuine I, 2011. Modelling the timing of *Betula pubescens* budburst. II. Integrating complex effects of photoperiod into process-based models. *Climate Research* **46** : 159-170
- Chuine I, Garcia de Cortazar Atauri I, Kramer K and Hänninen H, 2013. Plant Development Models. In: Phenology: An Integrative Environmental Science (ed. Schwarz MD). Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 275-293.
- Nathan R, Horvitz N, He Y, Kuparinen A, Schurr FM and Katul GG, 2011. Spread of North American wind-dispersed trees in future environments. *Ecology Letters* **14** : 211-219
- Root TL, Price JT, Hall KR, Schneider SH, Rosenzweig C and Pounds JA, 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* **421** : 57-60
- Zohner CM and Renner SS, 2015. Perception of photoperiod in individual buds of mature trees regulates leaf-out. *New Phytologist* doi: 10.1111/nph.13510.

Analyse statistique de données multisites de floraison pour le cerisier doux

Bénédicte Wenden^{1,2}, Mahendra Mariadassou³, José Antonio Campoy^{1,2}, José Quero-Garcia^{1,2} and Elisabeth Dirlewanger^{1,2}

1 INRA, UMR 1332 Biologie du Fruit et Pathologie, F-33140 Villenave d'Ornon, France

2 Univ. Bordeaux, UMR 1332 Biologie du Fruit et Pathologie, F-33140 Villenave d'Ornon, France

3 INRA, UR1077 Unité Mathématique, Informatique et Génome, F-78350 Jouy-en-Josas

Résumé

La phénologie des arbres dépend fortement des conditions environnementales et en particulier, un bon déroulement de la dormance et de la floraison est essentiel pour garantir la productivité des arbres fruitiers. En conséquence, les cultures fruitières en milieu tempéré seront en danger dans les prochaines décennies dans un contexte de changement climatique, notamment face aux hivers doux et aux risques de gel au début du printemps. Un des principaux défis rencontrés est de mieux comprendre la réponse de la floraison aux conditions environnementales. Dans ce but, nous présentons une analyse statistique globale de données de floraison pour plusieurs variétés de cerisier doux dans de nombreux sites expérimentaux à travers l'Europe, caractérisés par des conditions climatiques variées. Ces données phénologiques ont été obtenues via le réseau national d'expérimentation du CTIFL mais également grâce aux collaborateurs du réseau européen COST ACTION FA1104 sur le cerisier doux coordonné par l'INRA de Bordeaux. Cette approche, qui repose sur les régressions PLS (Partial Least Square), conduit notamment à l'identification des périodes critiques au cours desquelles la température a un effet significatif sur les dates de floraison. Ces résultats permettent de sélectionner de façon plus robuste les périodes clés pour la réponse aux conditions de température et donc d'affiner les approches de modélisation phénologique.

Mots clés

Prunus avium, dates de floraison, régression PLS

Introduction

De nombreuses études ont montré que l'évolution de la phénologie est un excellent indicateur pour mesurer l'impact de la variabilité climatique et des évolutions des phénophases sont observées depuis plusieurs décennies. En effet, une avancée de la phénologie printanière est notable pour une grande majorité des observations (par exemple, Guo et al., 2015) tandis que pour certains sites géographiques, la floraison et le débourrement sont retardés (Elloumi et al., 2013), ce qui pourrait être la conséquence de températures douces au cours de l'automne et l'hiver, et qui perturbent le bon déroulement de la dormance.

De tels désordres peuvent particulièrement menacer la production des arbres fruitiers, qui sont extrêmement sensibles aux changements de températures. En conséquence, il est essentiel de mieux comprendre la réponse des plantes aux conditions environnementales afin d'anticiper les changements à venir et prendre dès maintenant les mesures qui permettront d'adapter les variétés aux futures conditions climatiques. Des études récentes ont mis en avant les régressions PLS (Partial Least Square) comme des outils statistiques permettant d'identifier les périodes clés au cours desquelles la température a un effet significatif sur les phénophases pour le noyer en Californie (Luedeling and Gassner, 2012), le cerisier doux en Allemagne (Luedeling et al., 2013) et les châtaigner en Chine (Guo et al., 2013). Dans cette étude, nous proposons d'exploiter les régressions PLS pour analyser la sensibilité à la température de plusieurs variétés de cerisier doux dans plusieurs sites européens.

Résultats et discussion

L'analyse d'un grand jeu de données de dates de floraison pour la variété référence 'Burlat' dans plusieurs sites européens caractérisés par des conditions climatiques contrastées a confirmé une

avancée des dates de floraison au cours des 3 dernières décennies. Les modèles de PLSR décrivant la réponse des dates de floraison aux températures moyennes journalières ont été validés par des valeurs hautes de R^2 (75 – 96% selon les sites), ce qui a confirmé la forte corrélation entre les dates de floraison et les conditions de température. Pour tous les sites, les données ont confirmé l'importance des températures douces de la période dite « de forçage », correspondant aux mois de février et mars, au cours de laquelle les bourgeons sont en écodormance et nécessitent une certaine accumulation de températures chaudes pour fleurir. Ceci est critique en particulier pour les sites où les hivers et printemps sont froids et les températures au cours de l'écodormance sont limitantes. Au contraire, pour les sites localisés plus au sud et caractérisés par des hivers doux, les analyses PLSR ont confirmé un effet limitant des températures froides pendant l'endodormance, lorsqu'une certaine accumulation de froid est nécessaire. Enfin, les résultats obtenus pour la majorité des sites ont révélé pour juillet/août une période avec un impact significatif sur les dates de floraison de l'année suivante. Il pourrait s'agir d'un effet de fortes chaleurs estivales au cours de la formation des bourgeons qui accentueraient la profondeur de la dormance, similaire aux observations chez le pommier (Jonkers, 1979).

Conclusion

Nos résultats confirment l'intérêt d'utiliser les analyses PLSR sur la phénologie des espèces pérennes afin de mieux cerner leur réponse aux conditions de température. Les analyses multi-sites sont essentielles pour réaliser une analyse globale sous différents scénarios climatiques. Les connaissances acquises fournissent des éléments clés pour développer des modèles phénologiques plus précis.

Références

- Elloumi, O., Ghrab, M., Kessentini, H. and Ben Mimoun, M. 2013. Chilling accumulation effects on performance of pistachio trees cv. Mateur in dry and warm area climate. *Sci Hortic* 159: 80–87
- Guo, L., Dai, J., Ranjitkar, S., Xu, J. and Luedeling, E. 2013. Response of chestnut phenology in China to climate variation and change. *Agric For Meteorol* 180: 164–172
- Guo, L., Dai, J., Wang, M., Xu, J. and Luedeling, E. 2015. Response of spring phenology in temperate zone tree to climate warming: A case study of apricot flowering in China. *Agric For Meteorol* 201: 1–7
- Jonkers, H. 1979. Bud dormancy of apple and pear in relation to the temperature during the growth period. *Sci Hortic (Amsterdam)* 10: 149–154
- Luedeling, E. and Gassner, A. 2012. Partial Least Squares Regression for analyzing walnut phenology in California. *Agric For Meteorol* 158-159: 43–52
- Luedeling, E., Kunz, A. and Blanke M.M. 2013. Identification of chilling and heat requirements of cherry trees—a statistical approach. *Int J Biometeorol* 57: 679–89

Les modèles phénologiques donnent-ils des prédictions fiables pour le futur? La face cachée de la dormance

Isabelle Chuine¹, Marc Bonhomme^{2,3}, Jean-Michel Legave⁴, Iñaki García de Cortázar-Atauri⁵,
Guillaume Charrier^{2,3}, André Lacointe^{2,3}, Thierry Améglio^{2,3}

1 Centre d'Écologie Fonctionnelle et Evolutive, UMR CEFE CNRS 5175, 1919 route de Mende, 34293 Montpellier cedex 05, France.

2 INRA, UMR 547 PIAF, F-63100 Clermont-Ferrand, France.

3 Clermont Université, Université Blaise Pascal, UMR 547 PIAF, F-63100 Clermont-Ferrand, France.

4 INRA, UMR 1334 AGAP, F-34398 Montpellier Cedex 5, France.

5 INRA, US1116-Agroclim, F-84914 Avignon, France.

Résumé

L'occurrence des événements phénologiques de printemps a avancé au cours des dernières décennies du fait du réchauffement climatique. Les modèles phénologiques basés sur les processus sont maintenant utilisés pour prévoir à quelles dates ces événements auront lieu dans les prochaines décennies. Dans ce travail, nous avons cherché à savoir dans quelles mesures ces projections pouvaient être fiables et notamment si les dates de levée de dormance qu'ils estiment sont correctes. En effet les ajustements de ces modèles se font sans information sur ce stade pourtant critique étant donné que la dormance nécessite du froid pour être levée. Nous avons utilisé des séries de dates de levée de dormance et de débourrement/floraison pour le noyer, le pêcher et l'abricotier. Nos résultats montrent que les modèles à deux phases ajustés sans information sur la date de levée de dormance ne donnent pas toujours des prédictions justes de cette date. Nous montrons également que ces modèles donnent des projections pour le futur qui peuvent être très différentes de modèles qui ont été ajustés avec des informations sur les dates de levée de dormance.

Mots clés

Impact du changement climatique, floraison, débourrement, *Juglans regia*, *Prunus armeniaca*, *Prunus persica*

Introduction

L'occurrence des événements phénologiques de printemps a avancé de 2.3 jours/décennie durant les 40 dernières années en Europe (Menzel *et al.*, 2006) du fait du réchauffement climatique et cette tendance pourrait continuer dans les décennies à venir étant donné les projections climatiques. L'effet des températures sur la phénologie des plantes n'est cependant pas toujours linéaire car la température a un effet dual sur le développement des bourgeons (Arora *et al.*, 2003, Horvath, 2009). D'un côté, des températures basses sont nécessaires à la sortie de dormance, et d'un autre côté des températures plus élevées sont nécessaires à la croissance cellulaire. Différents modèles basés sur les processus ont été développés les deux dernières décennies pour prédire les dates de débournement et de floraison des arbres tempérés (Chuine *et al.* 2013). Ils prédisent que le réchauffement climatique pourrait retarder voire compromettre la levée de dormance dans les régions méridionales et de ce fait retarder voire compromettre le débournement et la floraison (Caffarra *et al.*, 2012, Morin *et al.*, 2009). Ces modèles sont classiquement ajustés en utilisant uniquement des dates de débournement et floraison mais pas des dates de levée de dormance, car ce type de données est très rare. Dans cette étude, nous avons essayé de déterminer dans quelle mesure ce manque d'information pouvait affecter les projections de ces modèles.

Matériel et Méthode

Nous avons utilisé des séries de dates de levée de dormance et de débournement ou floraison du noyer (variété Franquette, 11 données de date de levée de dormance), pêcher (variété Redhaven, 11 données de date de levée de dormance) et abricotier (variété Rouge du Roussillon, 12 données de

date de levée de dormance). Les dates de levée de dormance ont été estimées par la méthode de forçage de boutures à un nœud pour le noyer et le pêcher, et par la méthode de Tabuenca pour l'abricotier. Nous avons comparé les performances de 4 modèles de dates de levée de dormance et 9 modèles de dates de dates de débourrement/floraison. Les 4 modèles de dates de levée de dormance sont des modèles à une phase utilisant les fonctions Erez, Utah, Chuine, Richardson inversée. Les 9 modèles de dates de dates de débourrement/floraison sont : un modèle à une phase (fonction sigmoïde), quatre modèles à 2 phases de type séquentiel et 4 modèles à 2 phases de type Alternating, utilisant les fonctions Erez, Utah, Chuine, Richardson inversée pour la première phase et la fonction sigmoïde pour la seconde. Ces modèles à 2 phases ont été ajustés avec ou sans dates de levée de dormance. Les projections des meilleurs modèles obtenus avec deux scénarios climatiques (RCP 8.5 et 4.5) ont ensuite été comparées.

Résultats et discussion

Les meilleurs modèles de date de levée de dormance sont ceux utilisant la fonction Chuine pour pêcher et la fonction Richardson inversée pour abricotier et noyer. Les meilleurs modèles de dates de débourrement/floraison sont les modèles à deux phases séquentiels utilisant la fonction Richardson inversée. Ce modèle ajusté avec les dates de levée de dormance donne des erreurs 2 à 14 fois plus faibles que lorsqu'il ne l'est pas ; et en validation croisée, donne des erreurs également plus faibles sur les dates de débourrement et floraison (1 à 3 jours d'écart). Les dates de levée de dormance prédites pour le 21^e siècle par les modèles ajustés sans information sur la levée de dormance diffèrent énormément (plusieurs jours à plusieurs mois) de celles prédites par les modèles ajustés avec cette information. Les modèles ajustés sans information sur la levée de dormance utilisant la fonction Chuine qui montre un optimum thermique projettent des dates de débourrement/floraison très variables et des impossibilités de levée de dormance dans les régions méridionales après 2050 contrairement au modèle utilisant la fonction Richardson inversée qui ne montre pas d'optimum.

Conclusion

Nos résultats montrent qu'il est nécessaire de collecter de l'information sur la levée de dormance des espèces fruitières et forestières pour améliorer la robustesse des projections des modèles phénologiques pour le futur. Nos résultats pointent aussi l'importance du choix des fonctions de réponse à la température dans les modèles, notamment la présence d'optimum thermique, pour la fiabilité des projections pour le future.

Références

- Arora R, Rowland Lj, Tanino K (2003) Induction and release of bud dormancy in woody perennials: a science comes of age. *Hort Science*, **38**, 911-921.
- Caffarra A, Rinaldi M, Eccel E, Rossi V, Pertot I (2012) Modelling the impact of climate change on the interaction between grapevine and its pests and pathogens: European grapevine moth and powdery mildew. *Agriculture Ecosystems & Environment*, **148**, 89-101
- Chuine I, Auriol J, Kramer K, Hänninen H (2013) Plant Development Models. In: *Phenology: An Integrative Environmental Science*. (ed Schwarz Md) pp 275-293. Dordrecht, Netherlands, Springer,.
- Horvath D (2009) Common mechanisms regulate flowering and dormancy. *Plant Science*, **177**, 523-531.
- Menzel A, Sparks Th, Estrella N et al. (2006) European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, **12**, 1969-1976.
- Morin X, Lechowicz Mj, Augspurger C, Keef Jo, Viner D, Chuine I (2009) Leaf phenology in 22 North American tree species during the 21st century. *Global Change Biology*, **15**, 961-975.

La base de données de l'Observatoire Des Saisons

Isabelle Chuine, Marie-Claude Quidoz, Cyril Bernard, Patrick Schevin

Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, UMR CEFE CNRS 5175, 1919 route de Mende, 34293 Montpellier cedex 05, France.

Résumé

Dans cet exposé sera présentée la base de données du Système d'Observation de l'Observatoire des Sciences de l'Univers *Observatoire de Recherche en Environnement Méditerranéen* intitulé L'Observatoire des Saisons.

Mots clés

Phénologie, base de données en ligne, métadonnées

L'Observatoire Des Saisons est un réseau national d'observation de la phénologie de la flore et la faune qui a vu le jour sous la forme d'un Groupement de Recherche en 2006, puis est devenu Système d'Observation de l'Observatoire des Sciences de l'Univers *Observatoire de Recherche en Environnement Méditerranéen* en 2008. Cet observatoire est constitué d'une part d'une trentaine d'équipes de recherche et d'associations répartis sur le territoire national (www.gdr2968.cnrs.fr) et d'un réseau de bénévoles participants à un programme de sciences participatives animé par l'association Tela Botanica (www.obs-saisons.fr). Cet observatoire a constitué une base de données qu'il alimente chaque année. Les variables mesurées sont des dates d'occurrence d'événements biologiques, pour les plantes : dates de floraison, feuillaison, fructification, coloration des feuilles ; pour les animaux (insectes, amphibiens, oiseaux) : date de première apparition. Les observations sont faites majoritairement visuellement avec jumelles. Certaines données proviennent également de mesures instrumentales (capteurs à pollen, signal satellite, spectromètres, capteurs de PAR, caméra). Cette base de données est accessible en ligne à tous après demande de création de compte d'utilisation (<http://www.gdr2968.cnrs.fr>). Les métadonnées ont été décrites sous les standards EML, Darwin Core et ISO 19115, et les plus demandées sont libres d'accès sous la forme d'un outil cartographique dynamique en ligne. La base recense actuellement plus de 160 000 enregistrements sur plus de 600 espèces, 1000 sites, depuis 1349. Les données collectées par les citoyens alimentent également, après validation, cette base de données. La base de données a été interfacée, grâce à la réalisation de différents web services, au portail d'accès à des données phénologiques PERPHECLIM. Outre les publications scientifiques issues de ces données, des indicateurs de l'impact du changement climatique pour l'ONERC sont en cours d'élaboration.

Portail d'accès aux données phénologiques

Olivier Maury¹, David Delannoy¹, Iñaki Garcia de Cortazar Aauri¹, Cyril Pommier², Marie-Claude Quidoz³, Cyril Bernard³

1 INRA PACA, domaine Saint-Paul, US1116 AGROCLIM, Avignon, France

2 INRA Versailles-Grignon, site de Versailles, UR1164 URGI, Versailles, France

3 CNRS Languedoc-Rousillon, CEFE, Montpellier, France

Résumé

Le projet ACCAF Perpheclim comporte dans ses objectifs la construction d'un système d'information pour centraliser l'accès et structurer les données phénologiques. Une application web a été développée pour interroger simultanément des systèmes d'information gérés dans différentes unités INRA et CNRS en s'appuyant sur des web services existants ou conçus pour ses besoins.

Mots clés

Système d'information, diffusion de données, Web Service, interopérabilité, authentification

Introduction

Des données phénologiques des espèces pérennes ont été collectées par différentes unités parmi de nombreuses autres données. Elles sont de différentes natures (données historiques remontant au XIVème siècle, données expérimentales, données de collections variétales...) et sont gérées et partagées par des systèmes d'information différents. Elle reposent sur des référentiels différents (sites, stades, taxonomie). Jusqu'à présent, utiliser l'ensemble de ces données nécessite de connaître toutes les sources, s'enregistrer et procéder aux extractions dans chacune des interfaces.

Résultats et discussion

Au cours de l'année 2015, les besoins ont été affinés (interface, web service, authentification, charte d'utilisation). Des web services ont été développés au CEFE et à l'URGI. L'interface a été conçue et développée pour faciliter la recherche des données. Certaines méta-données ont pu être corrigées ou enrichies pour permettre la création d'une interface de requête unifiée pour les espèces pérennes d'intérêt agricole, forestier et viticole.

Les données recherchées sont rassemblées de manière identique en un seul fichier (CSV et/ou PMP) accompagné des méta-données afin de pouvoir les comparer et les utiliser dans le modèle PMP.

Conclusion

Le système conçu permettra facilement d'intégrer d'autres sources de données qui fournissent des web services.

Figure 1. Capture d'écran

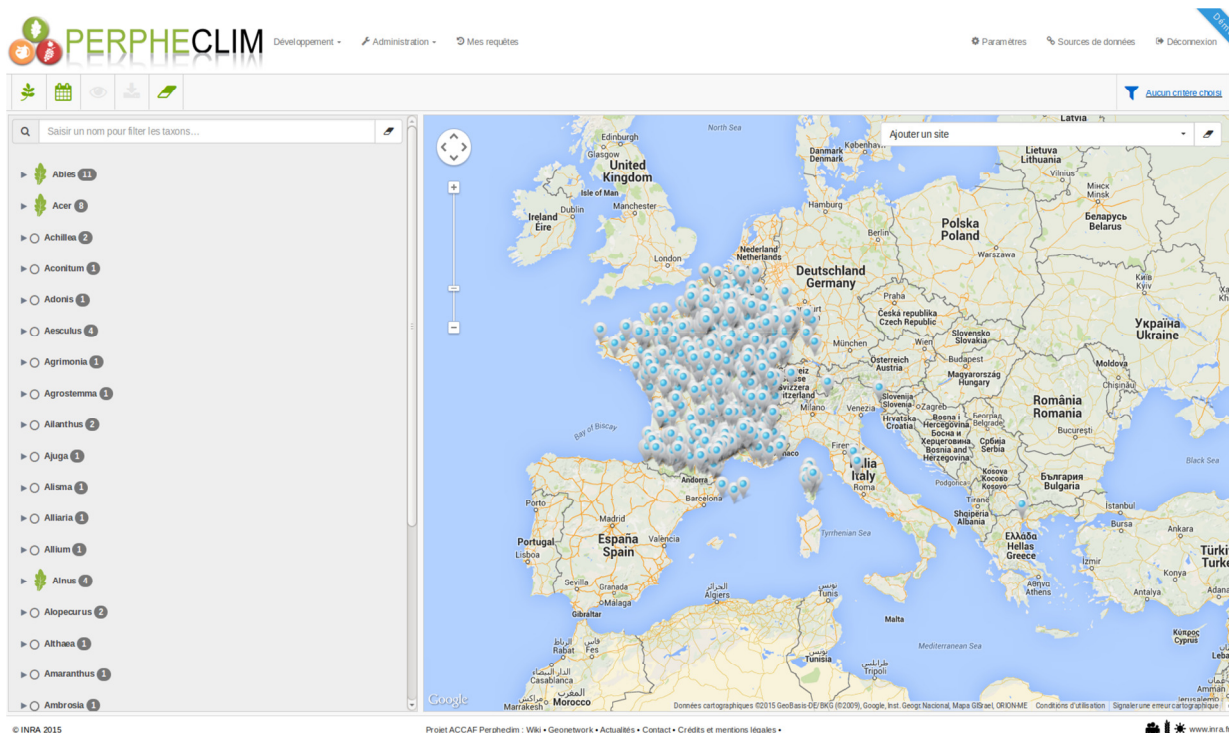


Tableau 1 : Liste des web services consommés

Dernière mise à jour	Date de dernière mise à jour
Sites	Liste des sites présentant des données (nom, coordonnées géographiques)
Stades	Liste des stades phénologiques (nom, code BBCH si possible)
Taxons	Liste des taxons ayant des données phénologiques
Années	Années d'observation phénologique
Critères de recherche	Ensemble de site – stade – taxon – année correspondant à une interaction avec l'interface
Données	Liste des données (site – stade – taxon – jour – source de donnée - responsable)
Web services spécifiques aux systèmes interrogés	Comme la liste des personnes responsables

RESUMES DES POSTERS

Par ordre alphabétique des présentateurs

Réponses phénologiques de deux espèces fruitières à des variations climatiques dans deux régions différentes de l'Algérie.

Lila Aicha Abed¹, Djamel Cherif Baali²

1 Université Khemis Miliana, Algérie abedlila24@yahoo.fr

2 Ecole nationale des sciences agronomiques, Algérie

Résumé

Une analyse de deux séries chronologiques de climat ; 1980 à 2002 et 2002/2015 a été établit en parallèle avec des notations phénologiques concernant deux espèces fruitières à savoir ; le pommier (Golden Delicious) et la vigne (Muscat Italia) dans deux régions en Algérie; l'une Montagneuse, Benchicao (Medéa) et l'autre plaine, Ain Defla. Une élévation accrue de la moyenne des températures minimales a été signalée dans la zone montagneuse (Benchicao), en atteignant **11.89 C°** durant la période récente (2002/2015). De même, un accroissement de **3.07C°** des températures moyennes annuelles est enregistré dans la même région. Une fluctuation notable s'est apparue dans les dates de débourrement et de floraison du Golden Delicious pour les deux régions, caractérisée par un retard de débourrement et un raccourcissement de la durée de floraison notamment à Benchicao.

Mots clés

Climat, débourrement, floraison, température minimale, pommier, vigne.

Introduction

L'Algérie est connue pour son climat aride et semi-aride, la région est extrêmement sujette aux changements climatiques. Selon **Zekri et al (2008)**, Plusieurs études indiquent que l'augmentation des températures, devrait entraîner des modifications appréciables ou une augmentation annuelle moyenne de 3°C déterminerait un décalage d'un étage de végétation. Les arbres fruitiers diffèrent par leur mécanisme de réponse en termes d'avancée ou de retard de la floraison. Des simulations ont fait apparaître une tendance vers des levées de dormance plus fréquemment tardives. Ce résultat suggère l'existence de deux effets opposés du réchauffement global: une satisfaction des besoins en froid plus souvent relativement lente et/ou tardive et une satisfaction des besoins en chaleur post dormance plus souvent relativement rapide. (**Legave, 2008**).

Résultats et discussion

L'analyse comparative de deux séries chronologiques de climat ; 1980 à 2002 et 2002 à 2015 dans deux milieux à savoir, un milieu subhumide Benchicao (1133m d'altitude) et un autre ayant un caractère de continentalité Ain Defla (211m d'altitude), nous a permet de soulever un accroissement remarquable des températures moyennes annuelles et mensuelles entre La première et la deuxième série estimé à 3.07C° pour la région de Benchicao et 0.89 C° pour la région d'Ain Defla., avec une augmentation notable de la moyenne annuelle des températures minimales à Benchicao et la moyenne annuelle des températures maximales à Ain Defla durant la deuxième période.

Les notations phénologiques soulevées pour la variété Golden Delicious reflètent une avancée de la floraison, notamment dans la région d'Ain Defla avec un raccourcissement remarquable de la durée de floraison et un débourrement prolongé. Les températures moyennes enregistrées durant le stade floraison sont approximativement de 20.8C° pour le mois d'Avril. **GALET (2000)**, a rapporté que la rapidité de la floraison et la fécondation dépend étroitement de la température qui domine au moment de la floraison. Une avancée de la floraison (fin avril et le début de mai) et le

raccourcissement de la durée de ce stade sont les deux aspects à soulever concernant la réponse de la vigne dans les deux régions.

Conclusion

Il semble que l'étage climatique d'une région avec sa composante principale l'altitude contribue à donner une certaine spécificité aux variations climatiques au fil de temps traduit par une augmentation des températures minimales ou des températures maximales. Une tendance de précocité de la floraison est la réponse des deux espèces avec une nette différence dans les dates, attribuée peut être à la spécificité de la région.

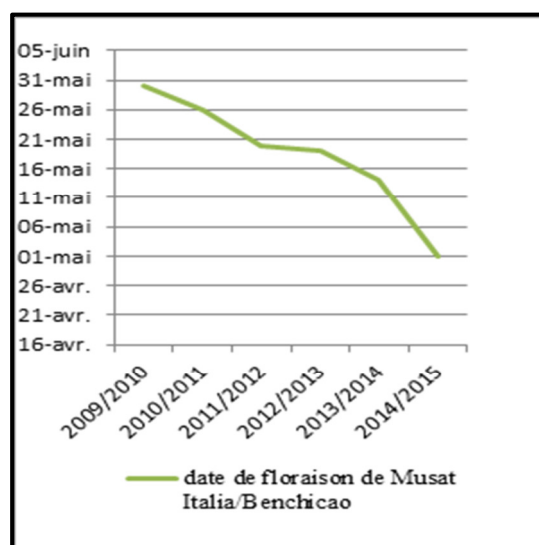
Références

Legave, JM 2008. Réponse phénologique des arbres fruitiers au réchauffement climatique en Europe : avancée de floraison avérée mais dormance prolongée selon la modélisation, Groupe d'Etude de l'Arbre, Montpellier, 2-3 octobre 2008.

Galet P, 2000. Précis de viticulture 7^{ème} ed. Montpellier, 559 p.

Zekri Dj, Lehout A, Souilah N, Alatou Dj. 2008. Etude des variations thermiques saisonnière dans les régions semi-arides. Université Mentouri Constantine, Laboratoire de développement et valorisation des ressources phytogénétiques, faculté des sciences de la nature et de la vie- Route de Ain El Bey 25000 Constantine, Algérie.

Température C°	Ain Defla (211 m)		Benchicao (3133 m)	
	1980/2002	2002/2015	1980/2002	2002/2015
T° moyenne minimale annuelle	13.08	12.84	09.88	11.89
T° moyenne annuelle maximale	23.75	25.76	19.64	20
T° Moyenne annuelle	18.41	19.3	12.74	15.81
Accroissement	0.89		3.07	



Déploiement d'Adonis dans le réseau de vergers observatoires

David Allétru¹, Frédéric Bernier², Vincent Dumas³

1 INRA Bordeaux-Aquitaine, Domaine des Jarres, UEA 0393 Unité Expérimentale Arboricole, 33210 Toulence, France

2 INRA UE 0570, Unité expérimentale Forêt Pierroton, 69 route d'Arcachon, F-33612 Cestas Cedex, France

3 UMR 1131, INRA - Université de Strasbourg, 28 rue d'Herrlisheim, BP20507, F-68021 Colmar Cedex, France

Résumé

Adonis est un outil informatique INRA d'acquisition de données dans le domaine du végétal. Il permet la fiabilisation de l'acquisition de données, l'organisation depuis la conception du dispositif jusqu'à l'archivage des données saisies puis leur transfert vers d'autres outils pour leurs exploitations (Clastre et al, 2010). Le verger observatoire implanté sur 6 sites en France dans le cadre du projet Perpheclim sera phénotypé à l'aide de cet outil. Deux journées de formations ont été organisées avec les responsables de chaque site d'implantation du verger observatoire et les agents réalisant les notations. L'objectif était dans un premier temps d'uniformiser la nomenclature des objets étudiés (facteurs, modalités, dispositif et plateforme) et de familiariser les utilisateurs à l'utilisation du logiciel, dans un second temps, de créer une bibliothèque de variables commune, partagée et évolutive, enfin, dans un troisième temps, de pérenniser les échanges au sein du groupe. L'utilisation d'Adonis dans un tel réseau expérimental permet 1) d'uniformiser l'identification et la structure des objets (dispositifs, accessions, variables), 2) de partager aisément des formats de données. Cette mutualisation facilite autant le traitement des données que leur enregistrement dans des bases de données.

Mots clés

Adonis, Perpheclim, Arboriculture, Phénotypage, Expérimentation, Réseau

Introduction

Un des objectifs du projet Perpheclim du méta-programme ACCAF (Adaptation au Changement Climatique de l'Agriculture et de la Forêt) est de formaliser et de coordonner les réseaux d'observations notamment pour la filière fruit. Pour répondre aux objectifs du projet, au-delà de l'implantation sur 6 sites (Gotheron, L'Amarine, Crouel, La Rétuzière, Toulence et Maugio) d'un verger observatoire commun composé de 4 espèces fruitières (Abricotiers, Pêchers, Pommiers et Cerisiers), il semblait indispensable que le réseau constitué partage les mêmes nomenclatures pour identifier les géotypes implantés (espèces – variétés) et les variables observées. Adonis, logiciel utilisé pour la saisie de données dans le cadre de ce projet, permet de répondre à cette attente. Déployé à l'INRA depuis le deuxième semestre 2012, l'utilisation du logiciel n'est pas encore généralisée auprès de tous les acteurs du réseau. Ainsi, dans le cadre du dispositif d'accompagnement d'Adonis à l'INRA (Dumas et al, 2014), deux journées de formation, ciblées autour de la constitution de ce réseau expérimental, ont été organisées en 2014 et 2015 avec l'appui des différents acteurs du projet Adonis (l'équipe projet, le réseau de formateurs et les référents). La première journée de formation s'est tenue le 09 Décembre 2014 sur le site de Toulence. Elle fut consacrée à la conception de dispositifs pour permettre à chaque responsable du verger observatoire de concevoir son dispositif en fonction de ses contraintes de terrain, tout en utilisant des facteurs et modalités communs à l'ensemble du réseau. La deuxième journée, du 18 Mars 2015, a été organisée à Gotheron afin d'aborder la création de projet de saisie, la saisie sur le terrain, le retour des données saisies au bureau et leurs exportations.

Résultats et discussion

La première journée de formation a permis à chaque personne présente de se réappropriier le logiciel Adonis. La première partie de la journée a permis d'effectuer certains rappels concernant la structuration et le vocabulaire du logiciel qui constitue un point indispensable pour une bonne maîtrise de l'outil. Puis, la deuxième partie fut consacrée à la construction des dispositifs (1 dispositif par espèce) et de la plateforme « Perpheclim » regroupant l'ensemble des dispositifs présent sur un site. A partir de ces éléments initiaux, chaque personne présente a ainsi élaboré ses propres dispositifs en prenant en compte leurs contraintes parcellaires. La journée s'est terminée par l'élaboration d'une bibliothèque de variables communes et partagées pour le phénotypage du verger observatoire.

La seconde journée, chaque participant (responsables du verger et expérimentateurs) a élaboré un projet de saisie, puis l'a transféré sur un appareil de saisie terrain et a réalisé les notations. Ceci a permis à tous d'appréhender la préparation d'une saisie sur Adonis en 1) choisissant les éléments des dispositifs qui seront observés (parcelle unitaire ou individus), 2) définissant les variables de différents types (entier, réel, date) et leurs échelles de notations et enfin 3) élaborant le chemin suivi par l'opérateur sur le terrain. Ensuite, le projet de saisie construit à partir de l'application « Adonis bureau » a été transféré sur « Adonis terrain » et mis en œuvre au verger pour tester la saisie de données. Au cours de cet exercice, l'identification à l'aide de code à barre a également été testée après avoir désactivé le cheminement imposé et identifié l'arbre à saisir grâce à l'activation de la lecture du code à barre. Au retour du terrain, les données saisies ont été transférées sur « Adonis bureau » pour être ensuite sauvegardées puis exportées dans des fichiers au format csv ou xml.

Au terme de ces deux journées, les membres du réseau de vergers observatoires de Perpheclim ont revu l'utilisation d'Adonis dans le cadre de leur expérimentation et ont ainsi pu gagner en autonomie.

Conclusion

Ces deux journées complémentaires de formation ont permis à tous les acteurs du réseau arboricole de se (re)familiariser avec l'utilisation du logiciel Adonis. De la conception du dispositif jusqu'à l'export des données saisies, tous les points importants ont été abordés. Au-delà de l'utilisation du logiciel d'acquisition de données, ces journées ont également permis de construire un support de travail commun aux différents expérimentateurs de ce réseau. Le partage au sein du réseau expérimental, d'une bibliothèque de variables ainsi que des noms et des d'abréviations de noms pour identifier les variétés permettra à terme de faciliter l'alimentation de bases de données ainsi que le traitement des données. La bibliothèque de variables est un élément qui pourra aisément évoluer, s'enrichir au cours du temps et être mutualisée. Ces deux journées ont permis de créer une synergie entre tous les expérimentateurs créant une forte dynamique de groupe. Une rencontre annuelle, au terme du projet, permettrait de pérenniser ces échanges de méthodes et ce travail collectif.

Références

CLASTRE P., DUMAS V., LECOMTE A., VERGER M., 2010. Adonis : un outil d'acquisition et de structuration de données issues d'expérimentations végétales à l'INRA. Journées de la Mesure et de la Métrologie. Nouan-le-Fuzelier, 11-14 octobre 2010.

DUMAS V., JACQUES-GUSTAVE A., 2014 Adonis, un outil INRA d'acquisition de données, premier bilan de son déploiement. Journées de la Mesure et de la Métrologie ; Stella Plage (62) (France).

La phénologie de la formation du bois chez le hêtre en région tempérée

Anjy Andrianantenaina¹, Cyrille Rathgeber¹

1 INRA Champenoux, LERFoB (UMR INRA-AgroParisTech 1092), Nancy, France

Résumé

Les dynamiques intra-annuelles de la croissance et de la formation du bois chez le hêtre ont été suivies au cours d'une saison de végétation, d'Avril à Novembre 2014 pour 14 arbres répartis sur deux stations qui diffèrent par la profondeur du sol (2 m et 60 cm), sur le site instrumenté de Montiers-sur-Saulx (Meuse, France). La phénologie de la formation du bois, l'activité cambiale et le développement du xylème ont été caractérisées à partir de microcarottes prélevées mensuellement. Ces microcarottes ont été ensuite traitées pour effectuer des observations sous microscopes optique sur des coupes anatomiques. Les dynamiques de croissance ont présenté des allures similaires sur les deux stations avec toutefois une variation plus importante de la largeur de cerne pour les arbres poussant sur sol profond. De plus, tout au long du processus de xylogenèse, la structure du cerne a été similaire quelle que soit la station considérée. Pour le hêtre à pore diffus, la xylogenèse semble impliquer le développement quasi-simultané de larges cellules à parois minces, les vaisseaux, et de petites cellules à parois épais, les fibres. L'étude de la phénologie de la formation du bois est à élargir jusqu'au phloème, mais également en comparant plusieurs espèces, et sous différentes conditions climatiques.

Mots clés

Fagus sylvatica, formation du bois, activité cambiale, xylème, croissance

Introduction

De nombreux travaux ont été effectués sur la formation du bois des résineux, avec les facteurs environnementaux qui entrent en jeu (climat, altitude, etc.). Néanmoins, le cas des feuillus reste encore peu étudié. Pour le hêtre en région tempérée, le débourrement des feuilles, ainsi que les températures et précipitations en Mars peuvent être un des facteurs de la réactivation du cambium à cette période. Ensuite, le cambium entre en division en Avril pour former le xylème et le phloème. Les cellules entrent ensuite en phases de différenciation par élargissement pour former le xylème. Après arrêt de la croissance en taille, les cellules de xylème entrent en phase de maturation par épaissement des parois vers fin Mai. L'arrêt de la division du cambium est situé vers Août (Čufar et al., 2008 ; Prislán et al., 2013 ; Schmitt et al., 2013).

Résultats et discussion

Le début de l'activité cambiale chez le hêtre a été situé entre début Avril et début Mai. La division du cambium atteint son maximum vers mi-Juin, peu avant le Solstice (21 Juin) avec une largeur de la zone cambiale de $51,65 \pm 3,51 \mu\text{m}$, et un nombre de cellules cambiales initiales maximal de 9 ± 1 . La variation de la largeur du cerne formé est également au maximum à cette période. La largeur moyenne des cernes (\pm erreur standard) passe de $0,40 \pm 0,06 \text{ mm}$ en Mai à $1,34 \pm 0,1 \text{ mm}$ en Juin, et stagne autour de $2,02 \pm 0,19 \text{ mm}$ (Juillet) à $2,7 \pm 0,34 \text{ mm}$ (Août). La photopériode peut être un des facteurs de cette activité maximale du cambium en mi-Juin. Ensuite, une deuxième phase de décroissance de l'activité cambiale est constatée de Juin jusqu'à mi-Août, où un minimum est atteint en largeur de la zone cambiale ($18,41 \pm 0,74 \mu\text{m}$) et en nombre de cellules ($3 \pm 0,1$). Pendant cette

période, il y a division des cellules de cambium, mais les cellules nouvellement formées entrent assez vite en phase d'élargissement et ne restent pas longtemps indifférenciées dans la zone cambiale. Entre mi-Août à mi-Septembre se situent le ralentissement puis l'arrêt progressif de l'activité cambiale où il n'y a plus de division du cambium. Les dernières cellules formées du côté xylème continuent leur développement. Elles sont matures vers Novembre, période où le cerne est totalement formé avec une largeur maximale moyenne de $2,94 \pm 0,4$ mm. La corrélation avec les températures, ainsi qu'avec le début de la coloration automnale des feuilles à cette période restent encore à déterminer.

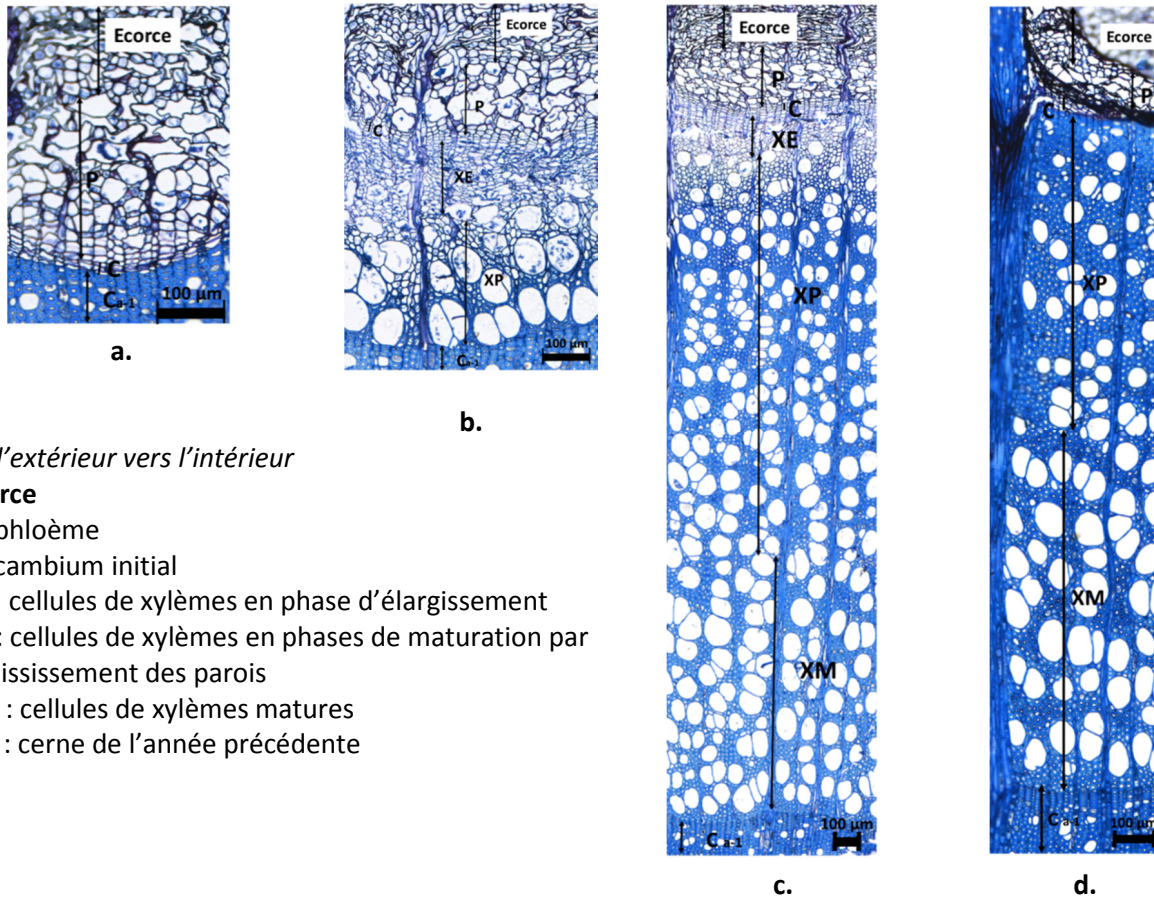
Conclusion

Cette étude a permis d'établir un calendrier de la formation du bois chez le hêtre. Un suivi plus régulier peut néanmoins apporter plus de précision sur les calendriers d'occurrence des différents processus. Une meilleure compréhension de l'influence des facteurs environnementaux sur l'activité cambiale et sur la cinétique de développement du xylème lors de la formation du bois est également possible en élargissant l'étude, sur plusieurs espèces et sur plusieurs sites différant en conditions climatiques.

Références

- ČUFAR, Katarina, PRISLAN, Peter, DE LUIS, Martin et GRIČAR, Jozica, 2008. Tree-ring variation, wood formation and phenology of beech (*Fagus sylvatica*) from a representative site in Slovenia, SE Central Europe. *Trees*. décembre 2008. Vol. 22, n° 6, pp. 749-758. DOI 10.1007/s00468-008-0235-6.
- PRISLAN, Peter, GRIČAR, Jožica, DE LUIS, Martin, SMITH, Kevin T. et ČUFAR, Katarina, 2013. Phenological variation in xylem and phloem formation in *Fagus sylvatica* from two contrasting sites. *Agricultural and Forest Meteorology*. octobre 2013. Vol. 180, pp. 142-151. DOI 10.1016/j.agrformet.2013.06.001.
- SCHMITT, Uwe, KOCH, Gerald, GRIČAR, Jožica, ČUFAR, Katarina et PRISLAN, Peter, 2013. Review of cellular and subcellular changes in the cambium. *IAWA Journal*. 1 janvier 2013. Vol. 34, n° 4, pp. 391-407. DOI 10.1163/22941932-00000032.

Figure 1. Phénologie de la formation du bois chez le hêtre illustrée par les coupes anatomiques à différentes dates. **a** : Coupe anatomique au 01 Avril 2014. **b** : Coupe anatomique au 13 Mai 2014. **c** : Coupe anatomique au 14 Août 2015. **d** : Coupe anatomique au 16 Octobre 2014



De l'extérieur vers l'intérieur

Ecorce

P : phloème

C : cambium initial

XE : cellules de xylèmes en phase d'élargissement

XP : cellules de xylèmes en phases de maturation par épaissement des parois

XM : cellules de xylèmes matures

C_{a-1} : cerne de l'année précédente

Comparaison de la phénologie de 5 graminées prairiales sélectionnées ou natives au cours du premier cycle de végétation

Donato Andueza¹, Fabienne Picard¹, Nicolas Rossignol¹, Jean Marie Ballet¹, Marie Claude Pizaine¹, Laurent Lanore¹, Pascal Carrère²

1 INRA Auvergne Rhône Alpes, site de Clermont-Ferrand, UMR 1213 Herbivores, Clermont-Ferrand, France

2 INRA Auvergne Rhône Alpes, site de Clermont-Ferrand, UMR874-UREP, Clermont-Ferrand, France

Résumé

La phénologie de 5 espèces de graminées prairiales natives ou issues de la sélection variétale a été comparée. La phénologie a été similaire entre les deux groupes (natif vs sélection) sur les deux années de l'étude. Il apparaît cependant que la date de coupe à l'automne peut avoir une influence importante sur l'évolution de la phénologie des espèces dans la saison suivante.

Mots clés

graminées natives, graminées sélectionnées, phénologie, 1^{er} cycle végétation, date de coupe.

Introduction

Les études phénologiques sont importantes pour comprendre l'influence du climat et d'autres facteurs sur la croissance des végétaux. Dans les fourrages, la phénologie est le principal facteur qui conditionne sa valeur nutritive. Elle varie avec la somme de température (ST). Andueza et al., (2015) ont caractérisé l'évolution de la phénologie des principales espèces prairiales, mais leur étude a été réalisée en utilisant des espèces du commerce dont le comportement pourrait sensiblement différer du comportement des espèces natives des prairies de moyenne montagne. Afin de continuer à approfondir les connaissances sur les prairies permanentes, l'objectif de cette communication est de comparer l'évolution du stade phénologique de 5 graminées sélectionnées par l'industrie semencière avec celle des espèces natives issues des prairies permanentes.

Matériel et Méthodes

Une collection fourragère a été implantée au printemps 2008 sur le site de Saint-Genès Champanelle (850 m). Elle était composée de cinq espèces de graminées issues de la sélection variétale ou dont les graines avaient été recueillies sur des espèces natives des prairies permanentes proches du site. Les espèces étudiées étaient : Fléole des prés cv Rasant, Ray-grass anglais cv Milca, Dactyle aggloméré cv Starly, Fétuque rouge cv Swing et Vulpin des prés cv Levoscaska. Les espèces de chaque groupe (du commerce ou natives) ont été semées en parcelles individuelles de 6 x 1,5 m² selon un schéma expérimental en bloc au hasard avec 3 répétitions. L'expérimentation a été conduite en fertilisation non limitante. En 2008, le groupe des espèces du commerce a été coupé 2 fois dans l'année (le 30 juillet et le 29 octobre), tandis que les espèces natives ont été coupées le 30 juillet. En 2009, le groupe d'espèces du commerce ont suivies 3 coupes dans l'année (le 15 juillet, le 2 septembre et le 29 octobre) tandis que les coupes réalisées sur les espèces natives ont été réalisés le 15 juillet et le 29 octobre. Le suivi des parcelles a été réalisé en 2009 et 2010. Des prélèvements de fourrage ont été réalisés au cours du premier cycle de végétation, aux ST entre 400 °jours (j) et 1400 °j tous les 200 °j. La ST a commencée chaque année le 1^{er} février. La détermination du stade phénologique a été effectuée selon la méthode décrite par Andueza et al., (2015).

Résultats et discussion

L'évolution phénologique des groupes d'espèces par année a été différente. En 2009 (Figure 1a) la phénologie des espèces natives a été retardée par rapport à celle des espèces sélectionnées, tandis

qu'en 2010 (Figure 1b), l'évolution des deux groupes d'espèces est similaire. La dernière date de coupe différente du groupe des graminées natives par rapport à celle des graminées sélectionnées en 2008 peut être une cause de cette évolution. Ces résultats suggèrent qu'une utilisation précoce à l'automne précédent serait susceptible d'entraîner un retard de la phénologie le printemps suivant.

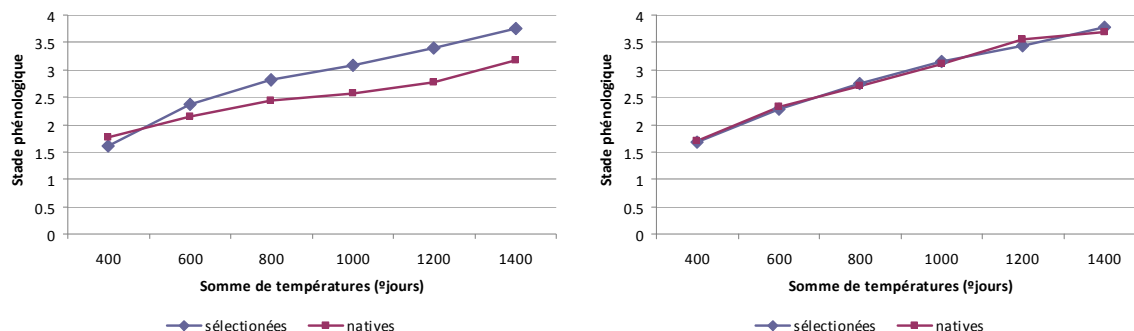


Figure 1. Evolution de la phénologie des groupes de graminées sélectionnées et graminées natives en 2009(a) et 2010 (b).

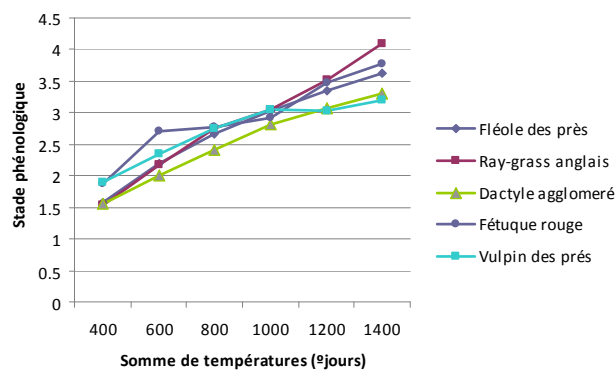


Figure 2. Evolution de la phénologie des espèces au cours du 1^{er} cycle de végétation.

L'évolution des espèces au cours du 1^{er} cycle de végétation (Figure 2), montre que le Dactyle aggloméré est l'espèce la plus tardive au début et à la fin du cycle de végétation. Le Vulpin des prés est caractérisé par un développement rapide au début du cycle mais à partir du 800°j ce développement est ralenti par rapport aux autres espèces. Au contraire, la Fléole et le Ray-grass anglais, sont caractérisées par un démarrage lent en début de cycle puis par une accélération à partir de 1000°j. La Fétuque rouge présente un comportement intermédiaire.

Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que dans des conditions de culture similaires il n'y a pas de différences entre l'évolution de la phénologie des graminées sélectionnées et les graminées natives. Par contre la date de coupe ou de pâturage d'une surface fourragère à l'automne peut avoir une influence importante sur l'évolution de la phénologie des espèces dans la saison suivante. Cette évolution phénologique différente pourrait avoir comme conséquence des différences dans la valeur nutritive des espèces ce qui mériterait d'être testé. A partir des résultats de cette étude des perspectives sont à envisager afin d'adapter la conduite des parcelles fourragères aux besoins du troupeau.

Références

Andueza, D., Picard, F., Rossignol, N., Ballet, J.-M., Pizaine, M.-C., Lanore, L., Note, P., Baumont, R., Carrère, P., 2015. Evolution de la phénologie de 6 graminées au cours du premier cycle de végétation dans 3 sites selon un gradient d'altitude. Comptes rendus du colloque Phéno 2015. Clermont-Ferrand 17-19 novembre 2015.

Harmonisation des protocoles d'observation de la phénologie des arbres forestiers

Christel Anger¹, Frédéric Jean²

1 INRA Val de Loire, site d'Orléans, UE 0995 Génétique et Biomasse Forestières, France

2 INRA Provence Alpes Côtes d'Azur, site d'Avignon, UR 0629, URFM Ecologie des Forêts Méditerranéennes, France

Résumé

La phénologie est un indicateur puissant du changement climatique et un élément majeur de l'adaptation des espèces. La réponse des plantes au changement climatique en termes de phénologie est à la fois déterminée par des facteurs génétiques et environnementaux. Il est donc primordial de diversifier les dispositifs expérimentaux et de multiplier les observations afin de mieux comprendre les interactions entre ces différents facteurs. Pour pouvoir exploiter les informations issues de ces dispositifs, la communauté scientifique a manifesté le besoin d'harmonisation des protocoles d'observation de la phénologie. Ceci s'est traduit par la constitution d'un groupe de travail au sein du Méta-programme ACCAF Perpheclim dont l'objectif principal a été de fédérer les équipes de recherches et les réseaux d'observateurs impliqués dans la compréhension de ces mécanismes phénologiques afin de réfléchir à la mise au point d'une méthode permettant de mettre en commun pour analyse un grand nombre de données variées.

Mots clés

Protocoles, méthodes, données, harmonisation, observateur, échelle de notation

Introduction

L'Inra dispose depuis de nombreuses années de dispositifs expérimentaux variés (plantations comparatives, gradients altitudinaux, observatoire de recherche en environnement, collections conservatoires, ...) qui représentent un outil de travail puissant. Pour le secteur forestier, il s'agit pour la plupart de dispositifs de suivi à long terme qui peuvent permettre d'étudier l'adaptation des arbres au changement climatique, qu'ils aient été ou non mis en place dans ce but. De nombreuses observations phénologiques sont réalisées sur ces dispositifs afin de comprendre ces processus et d'étudier leur évolution au cours du temps.

La communauté scientifique dispose donc de jeux de données relativement conséquents, mais dispersés et parfois hétérogènes. Face à ce constat, un groupe de travail s'est donc constitué au sein du projet Perpheclim afin de réfléchir à des méthodes d'harmonisation des pratiques. Ces réflexions ont été menées à la fois entre les trois filières concernées (forêt, arbres fruitiers et vignes), mais aussi en intra-filière de façon plus fine. Les travaux réalisés ont également vocation à s'articuler avec ceux menés dans les autres groupes de travail du projet qui s'intéressent notamment aux bases de données, aux travaux menés autour de la dormance, et aux techniques d'observation indirectes.

Il est également important de signaler que le groupe a bénéficié et largement exploité le fruit du travail mené dans le cadre du GDRⁱ SIP-GECC, dirigé par Isabelle Chuine (CNRS) durant ces 10 dernières années, auquel ont participé plusieurs des collègues acteurs dans Perpheclim.

Résultats et discussion

La production du groupe de travail s'articule autour de 4 grandes étapes :

1. Recensement des observations phénologiques réalisées au sein des différentes équipes

D'abord effectué au niveau inter-filière (Vigne, Arbre fruitier, Forêt) pour identifier les stades d'intérêt commun, ce recensement a ensuite été fait de façon détaillée dans les équipes concernées à la fois en termes de dispositifs suivis, d'observations réalisées et de protocoles utilisés.

2. Choix d'une échelle de correspondance commune

La norme « BBCH » a été choisie comme échelle de notation de référence pour l'ensemble des filières. Particulièrement bien adapté pour les arbres fruitiers, ce choix a également été cohérent pour la filière forêt, cette échelle ayant déjà été adoptée et adaptée dans le cadre des travaux du GDR SIP GECC, donnant naissance à la première version de l'échelle BBCH ligneuse.

3. Modification de la version ligneuse de l'échelle BBCH

Dans la continuité des réflexions initiées par le GDR SIP-GECC, l'objectif a été de continuer à rassembler les compétences des différentes équipes pour ajuster l'échelle de notation de référence.

4. Création des tables de correspondance

Compte-tenu de l'historique existant en matière d'observation de la phénologie, l'objectif n'a pas été d'imposer une nouvelle méthode d'observation à tous, mais bien de définir une méthode de référence, à laquelle tout le monde puisse se raccrocher, et d'identifier les correspondances entre ces différentes échelles de notation pour rendre possible des analyses communes.

Le fruit de ce travail, qui n'a été possible que grâce à l'implication de l'ensemble des équipes concernées, a été rassemblé dans un dossier mis à disposition de la communauté via un outil de partage collectif. Il sera à terme mis à disposition de tous via le site Perpheclim.

A noter que si ces documents ne concernent que les équipes Inra, compte-tenu des contours du projet Perpheclim, les réflexions menées notamment dans le cadre des journées d'inter-calibration étaient élargies à d'autres organismes très impliqués dans ces travaux avant le lancement dans ce projet, parmi lesquels le CNRS, l'ONF, le CREA...

Conclusion

Le bilan de ce groupe de travail s'avère positif, avec l'implication d'un grand nombre d'unités Inra, permettant une bonne représentativité des travaux réalisés dans l'institut, mais aussi une collaboration étroite avec l'ODS, assurant le lien avec d'autres organismes.

Plusieurs travaux restent néanmoins à mener :

- Intégration des travaux d'autres réseaux d'observations (notamment Renecofor, Reinforce)
- Lien avec les autres groupes de travail du projet notamment sur le système d'information.
- Pérennisation des actions de formations et d'intercalibration
- Valorisation de ces travaux en les diffusant largement afin qu'ils puissent servir de référence

Références

Norme « BBCH Fruits à noyaux et Fruits à pépins (Meier et al., 1994)

GDR SIP-GECC¹: <http://www.gdr2968.cnrs.fr/>

¹ Groupement de Recherche Systèmes d'Information Phénologique pour la Gestion et l'Etude des Changements Climatiques

Mise en place d'un réseau national d'observations harmonisées de la phénologie chez les espèces fruitières

M. Bonhomme¹, P. Guillermin², JM. Legave³, J. Quero Garcia⁴, T. Barreneche⁴, G. Orain⁵, JM. Ebel⁶, ML. Greil⁷, D. Alletru⁷, V. Mercier⁸, S. Ruzand⁸, T. Pascal⁹, A. Blanc⁹, V. Mathieu¹⁰, JM. Audergon⁹

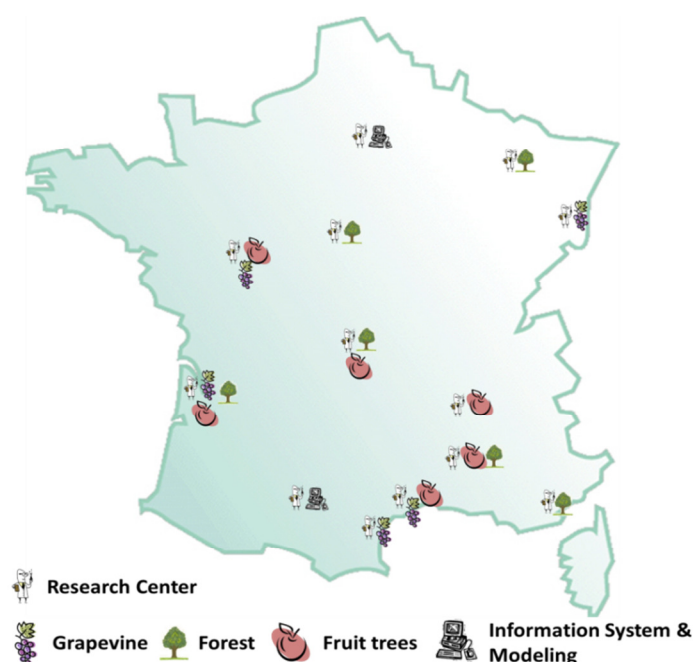
1-UMR PIAF Clermont-Ferrand, 2-UMR IRHS Angers, 3-UMR AGAP-AFEF Montpellier, 4-UMR BFP-A3C Bordeaux, 5-UE Horticole Angers, 6-UE Maugio, 7-UEA Toulence, 8-UERI Gotheron St Marcel les Valence, 9-UR GAFL Avignon, 10 -CTIFL Balandran.

Dans le cadre du projet ACCAF PerPheClim, la phénologie a été étudiée en tant qu'indicateur de l'impact des changements climatiques. Pour appréhender son évolution, la mise en place d'observatoires implantés en des sites contrastés et suivis sur le long terme est apparue particulièrement utile. De tels observatoires, existaient pour la vigne et les espèces forestières mais pas pour les espèces fruitières (Domergues et al.,2004). Il a donc été décidé de mettre en place un dispositif national en réseau adapté à révéler les interactions génotype x environnement chez les espèces fruitières (Legave, 2009) et d'accompagner le dispositif par la mise en œuvre de protocoles de suivis harmonisés.

Dispositif observatoire

L'observatoire « Fruits » repose sur 4 espèces fruitières parmi les plus cultivées en France (pommier, pêcher, cerisier et abricotier), 5 sites d'étude à climats contrastés (Angers, Avignon, Bordeaux, Clermont-Ferrand, St Marcel les Valence), avec un site complémentaire pommier à Montpellier (Figure 1).

Figure 1 – Localisation du dispositif Observatoire « Espèces Fruitières » au sein du dispositif complet ACCAF-PerPhéClim



Pour chaque espèce, 5 variétés ont été choisies pour couvrir l'amplitude des variations attendues de phénologie tout en incluant au moins une variété commerciale de « référence ».

Pour le pommier, il s'agit de : Anna, Gala, **Golden Delicious**, Granny Smith, Patte de loup

Pour le pêcher : Early Top, Ivoire, Diamond Princess, Montarsa, Scarlet O'Hara

Pour l'abricotier : Bakour, Orangered[®] Bhart, Rouge du Roussillon, **Bergeron**, Farbaly

Pour le cerisier : **Burlat**, Cristobalina, Folfer, Regina, Fertard

Un dispositif expérimental en blocs (3 blocs de 5 arbres par variété) et des pratiques culturales raisonnées protégeant le verger sur une longue durée ont été choisis. Ce dispositif a été mis en place durant l'hiver 2014-2015 et un suivi à long terme du dispositif sera assuré.

Variables observées et conditions d'observation

Une liste de traits phénologiques d'intérêt scientifique et agronomique couvrant l'ensemble du cycle végétatif (débourrement, floraison, durcissement du noyau, maturité, sénescence) a été définie et les caractères ont été distribués en deux groupes :

- des traits à caractérisation obligatoire : floraison, feuillaison, maturité et sénescence, en précisant les stades de notation prioritaires (code BBCH).
- des traits à caractérisation optionnelle : levée d'endodormance, débourrement, floribondité, anomalies de développement floral, et nouaison (durcissement du noyau).

L'échelle phénologique BBCH (Meier 2001) a été retenue car elle est largement utilisée au niveau international et permet une harmonisation entre filières. Ainsi le stade BBCH 07 a été retenu pour définir le stade débourrement pour toutes les filières étudiées dans le projet Perpheclim. Il a fallu clarifier la correspondance entre l'échelle BBCH et les échelles précédemment utilisées par les différents observateurs (Baggiolini et Fleckinger).

Au plan pratique, la qualité et l'efficacité d'un observatoire multisite reposent sur l'harmonisation des notations recueillies par les différents observateurs, elle concerne notamment les conditions d'observation et d'échantillonnage car elles doivent répondre aux questions suivantes : quels types de bourgeons observe-t-on ?, à quelle niveau dans l'arbre ?, comment prendre en compte les inflorescences lorsque le stade correspond à l'estimation d'un pourcentage ?, l'unité d'observation est l'inflorescence ou la fleur ? Des variables semi quantitatives ont ainsi été définies, notées sur une échelle à 5 niveaux (ex : floribondité) et d'autres variables (ex : date de maturité) ont nécessité de s'accorder sur les critères permettant de la définir qui peuvent changer d'une espèce à l'autre : résistance à la pénétration et couleur pour le pêcher, couleur pour l'abricotier ou le cerisier, teneur en amidon pour le pommier.

La pertinence des observations et leur utilisation future repose aussi sur une démarche de collaboration et d'harmonisation. La formation des observateurs et la mise en œuvre de procédures d'intercalibration entre sites et espèces, destinés à faire converger les observations des experts et des membres du réseau observatoire, ont déjà commencé et se poursuivront. La démarche d'harmonisation et d'intégration a été poursuivie avec l'utilisation de l'outil Adonis développé à l'INRA en créant une bibliothèque de variables communes, en uniformisant et mutualisant les nomenclatures des objets (nom de variétés...), en interconnectant la base de données obtenue avec les bases Siregal & Ephésis de l'INRA.

Références:

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.

Dumas V., Jacques-Gustave A., 2014 Adonis, un outil INRA d'acquisition de données, premier bilan de son déploiement. *Journées de la Mesure et de la Métrologie ; Stella Plage (62) (France)*.

Legave J.M., 2009. Comment faire face aux changements climatiques en arboriculture fruitière ? *Innovations Agronomiques (Edit. INRA)*, 7, 165-177.

Meier U (ed) (2001) *Growth stages of mono-and dicotyledonous plants*. , Berlin, Wissenschafts-Verlag.

Le pin sylvestre : besoins de froid, besoins de chaleur et modélisation de la phénologie

Marc Bonhomme^{1,2}, André Lacointe^{1,2}, Philippe Balandier³

1 INRA Auvergne Rhône Alpes, UMR 0547 PIAF, site de Clermont-Ferrand, Clermont-Ferrand, France

2 UBP Université Blaise Pascal, UMR 0547, Aubière, France

3 IRSTEA UR Ecosystèmes Forestiers (EFNO), Nogent-sur-Vernisson, France

Résumé

En soumettant de jeunes plants de pin sylvestre à des doses progressives de froid au cours de la phase de repos, nous avons mis en évidence la réalité du besoin de froid, le quantifier et visualiser les conséquences d'une exposition insuffisante sur le développement des bourgeons. Une estimation des besoins de chaleur a aussi été réalisée. Une approche de modélisation du débourrement a ensuite été entreprise. Un effet éclaircissement existe qui n'est pas un effet photopériode.

Mots clés

Pinus sylvestris, température, besoins de froid, besoins de chaud, débourrement, modèle

Introduction

La modélisation « mécaniste » de la phénologie nécessite une estimation des dates de levée de dormance. Cette date peut être appréciée soit via un marqueur, soit via une estimation des besoins de froid nécessaires pour lever cette dormance. Or il s'avère que le test biologique classique des boutures de nœuds isolés ou de forçage de rameaux à différentes températures ne fonctionne pas chez le pin sylvestre (*P. sylvestris*). Nous avons donc réalisé une expérimentation de conditionnement thermique de jeunes plants entiers afin d'avoir une estimation de la réalité de ces besoins, de les quantifier et d'observer les conséquences d'une éventuelle insatisfaction de ces besoins. Ces valeurs doivent servir de base à une modélisation de la date de débourrement chez cette espèce.

Résultats et discussion

Les résultats montrent clairement la nécessité d'une période de froid que nous avons pu quantifier à 830 heures de froid selon Weinberger (Weinberger 1950), 1200 Chilling Units (CU) selon le modèle Utah (Richardson et al., 1974) et 1230 CU selon la version Utah optimisée (Bonhomme et al., 2010). La phénologie a été caractérisée avec l'échelle BBCH (Meier 2001) et le stade débourrement correspond au stade BBCH 7. Les figures 1 et 2 indiquent que pour le transfert du 15 décembre l'endodormance était levée puisque l'allongement des bourgeons obtenu en forçage (20°C, 16H de jour) n'est plus limité et que le délai moyen de débourrement n'est plus dépendant de la dose de froid reçue. Le besoin de chaleur pour obtenir le débourrement est alors de 2460 Growing Degree Hour (GDH) avec un seuil à 4°C. Une insuffisance de froid conduit à une absence ou un très mauvais allongement du bourgeon et à une apparition très erratique, à la base du bourgeon de quelques aiguilles seulement (photo). La modélisation de la phénologie avec le module NLS du logiciel R sur une série de données de débourrement de jeunes plants de pins en conditions naturelles d'éclaircissement variable (sous-couvert forestier, forêt d'Orléans) montre qu'un modèle séquentiel de froid (Weinberger) puis de chaud (sigmoïde) est assez efficient si l'action chilling débute au 1^{er} septembre.. La réponse dépend toutefois des conditions d'éclaircissement et compte tenu du fait que les parcelles analysées sont à la même latitude, un effet photopériode semble à exclure.

Conclusion

Nous avons pu quantifier les besoins de froid du pin sylvestre et montrer que la levée de dormance est réalisée avant la fin décembre dans nos conditions. Le débourrement tardif de cette espèce n'est donc pas fonction de ce besoin de froid. Les besoins de chaleurs sont estimés à environ 2500 GDH (base 4°C). Une interaction avec l'éclairement existe, soit directe, soit au travers de ses répercussions en termes de températures d'organes.

Références

Bonhomme M, Rageau R and Lacoïnte A, 2010. Optimization of Endodormancy Release Models, Using Series of Endodormancy Release Data Collected in France. *Acta Horti*, 872, 51-59.

Meier U., 2001. *Growth stages of mono-and dicotyledonous plants.*, Berlin, Wissenschafts-Verlag.

Richardson E.A., Seeley S.D., Walker D.R., 1974. A model for estimating the completion of rest for Redhaven and Elberta peach trees. *HortScience*, 9 (4), 331-332.

Weinberger J., 1950. Chilling requirements of peach varieties. *Proc. Amer. Soc. Hortic. Sci.*, 56, 122-128.

Figure 1. Evolution du délai moyen de débournement obtenu sur plant entier en fonction des doses de froid reçues

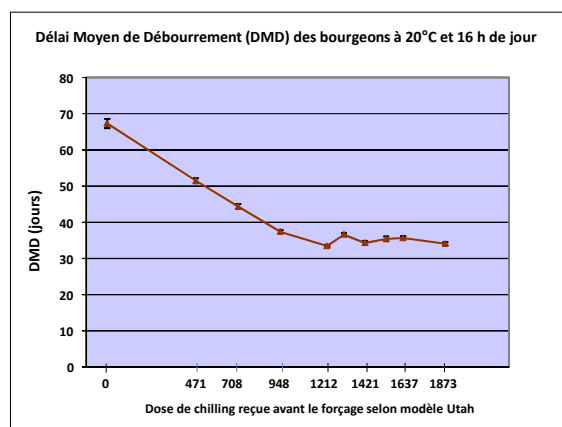


Figure 2 : Allongement du bourgeon terminal lors du forçage par le chaud en fonction des doses de froid reçues.

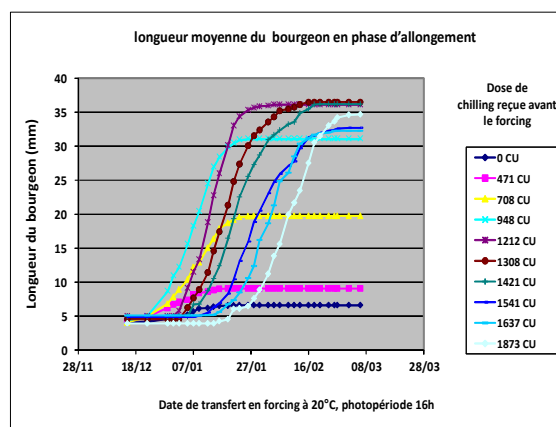


Photo : Anomalie de débournement d'un bourgeon n'ayant pas satisfait son besoin de froid



PHENOTOOLS : le dispositif expérimental

Catherine Ducatillon¹, Thierry Ameglio², Richard Bellanger¹, Yves Caraglio³, Tristan Charron¹, Joëlle Chevallier¹, Christine Heinz³, Cécilia Marchal¹, Yannick Mellerin¹

1 Unité expérimentale Villa Thuret - INRA Centre Provence Alpes Côte d'Azur (PACA) - 90, chemin Raymond – F 06160 Cap d'Antibes

2 Unité mixte de recherche PIAF, Clermont Ferrand – site de Crouël, 63100 Clermont-Ferrand

3 Unité mixte de recherche AMAP - CIRAD - boulevard de la Lironde TA 40/PS26 - F 34398 Montpellier Cedex 5

Résumé

Dans le cadre du projet « Perphéclim » (Perennial fruit crops and forest phenology evolution facing to climatic change - Database, Modelling and Observatory network) du métaprogramme ACCAF (Adaptation de l'agriculture et de la forêt au changement climatique) de l'INRA, un dispositif et un protocole d'observations phénologiques ont été mis en place sur un échantillon d'arbres (prototypes) représentant une gamme diversifiée de cas types. Un ensemble de capteurs permet de développer les capacités d'observations phénologiques et de mesures, dans un contexte de faible disponibilité de main d'œuvre. La chute brutale des écorces est un nouveau trait phénologique testé pour la croissance secondaire, en complément des mesures microdendrométriques classiques. Le poster présente les composantes biologiques et techniques du dispositif expérimental.

Mots clés

Phenotools ; phénologie ; capteurs ; mesures de croissance ; adaptation à la sécheresse ; arbres exotiques

Introduction

La Villa Thuret rassemble des collections dendrologiques exotiques adaptées au climat méditerranéen. Originaires de pays à climats variés, méditerranéens ou non, ces arbres tolèrent les aléas du climat d'accueil, en particulier chaleur et sécheresse estivales. Ils présentent des modalités de croissance et des phénologies diverses. Un échantillon d'arbres appartenant à différents taxons représente cette diversité ; ils sont équipés de capteurs et font l'objet d'observations phénologiques.

Résultats et discussion

L'échantillon comprend des arbres adultes à fortes potentialités forestières ; il s'agit d'espèces exotiques appartenant aux genres *Arbutus*, *Corymbia*, *Eucalyptus* et *Quercus* et des espèces autochtones appartenant aux genres *Arbutus*, *Ostrya* et *Quercus*. Ces arbres constituent 3 groupes : des espèces caducifoliées à croissance rythmique et des espèces sempervirentes à croissance rythmique ou apériodique.

L'échantillon comprend actuellement 68 arbres appartenant à 17 taxons :

- 26 arbres équipés de micro dendromètres
- 68 arbres pour des observations phénologiques classiques (échelle BBCH)
- 32 arbres pour des mesures d'allongement d'axes
- 17 arbres pour un suivi phénologique des écorces
- 14 arbres pour des micro carottages

- 13 arbres équipés de capteurs PépiPIAF pour suivre en continu les micro-variations de diamètre.

Conclusion

L'association du suivi de la croissance primaire et de la croissance secondaire permet d'obtenir une vision globale de l'action du climat sur le fonctionnement de la plante. Sur un même site, les trois groupes d'arbres présentent des modalités de croissance contrastées, en réponse aux contraintes du climat.

Références

Améglio T., Dusotoit-Coucaud A., Guillot V., Coste D. Et Adam B., 2009 – PépiPIAF : une nouvelle génération de biocapteurs pour le pilotage d'une arboriculture de précision. 2ème Conférence sur l'entretien des espaces verts, jardins, gazons, forêts, zones aquatiques et autres zones non agricoles Angers, 28-29 octobre 2009.

Ducatillion C., Améglio T., 2015 - Changement climatique : les écorces peuvent parler. Les cahiers de Jardins de France n°2 – A l'affût des connaissances – Edition 2015, 74-77.

Meier U., 2001 – Stades phénologiques des mono et dicotylédones cultivées. BBCH Monographie. 2^{ème} édition. Centre Fédéral de recherches Biologiques pour l'Agriculture et la Forêt.

Harmonisations des notations de débourrement et de floraison selon les recommandations du projet PERPHECLIM ACCAF

Agnès Destrac Irvine¹, Gérard Barbeau², Laure de Resseguier¹, Thierry Dufourcq³, Vincent Dumas⁴, Inãki Garcia De Cortazar-Atauri⁵, Blaise Genna⁶, Hernan Ojeda⁷, Nicolas Saurin⁷, Cornelis van Leeuwen¹ et Eric Duchêne^{4,*}

1 UMR EGFV, INRA, Bordeaux Sciences Agro, 210 Chemin de Leysotte, 33883 Villenave d'Ornon, France

2 Unité Vigne et Vin, INRA, 42 rue Georges Morel, BP 60057, 49 071 Beaucouzé Cedex, France

3 Institut Français de la Vigne et du Vin-Pôle Sud-ouest, Domaine de Mons, 32100 Caussens, France

4 UMR SVQV, INRA – Université de Strasbourg, 28 rue de Herrlisheim, BP20507, 68021 Colmar Cedex, France

5 Unité de Service Agroclim, INRA, Domaine Saint Paul, Site Agroparc, CS 40 509, 84914 Avignon Cedex 9, France

6 Domaine de Vassal, INRA, Route de Sète, 34340 Marseillan plage, France

7 INRA - Unité Expérimentale de Pech Rouge, 11 430 Gruissan, France

*Correspondance : E. Duchêne, 33(0)3 89 22 49 84, Email: eric.duchene@colmar.inra.fr

Résumé

Dans le cadre d'un réseau de chercheurs travaillant sur la phénologie des arbres forestiers, des arbres fruitiers et de la vigne (Projet PERPHECLIM ACCAF), des méthodes d'observations et d'échantillonnage ont été comparées. L'objectif était une harmonisation de l'acquisition de données pour la phénologie de la vigne. L'échelle BBCH a été retenue car c'est l'échelle disponible la plus précise. Quand cela est possible les correspondances avec les échelles largement utilisées de Baggiolini et de Eichhorn et Lorenz modifiée sont proposées. Le débourrement correspond à la date où 50% des bourgeons ont atteint le stade BBCH 07 et la floraison quand 50% des fleurs sont ouvertes (BBCH 65). Deux méthodes pour estimer le taux de fleurs ouvertes ont été comparées: une estimation inflorescence par inflorescence, ou une estimation sur plante entière. Par ailleurs des estimations visuelles par inflorescence ont été confrontées à des comptages exacts de fleurs ouvertes. Pour faciliter la comparaison de données de phénologie, nous proposons pour le débourrement et la floraison des protocoles standardisés, aussi bien pour les méthodes d'observation que pour les procédures d'échantillonnage.

Mots clés

Vigne, phénologie, débourrement, floraison, échantillonnage

Introduction

Utiliser un langage et des méthodes communes pour évaluer les stades de développement est crucial pour comparer de manière fiable les données entre vignobles ou entre expérimentations. De longues séries de données homogènes permettent de plus de caractériser objectivement les impacts du changement climatique et de bâtir des modèles de prévisions des stades qui peuvent ensuite être utilisés pour faire des simulations des stades de développement dans le futur.

Trois stades sont incontournables chez la vigne : le débourrement, qui marque le début de la période végétative, la floraison, qui marque le début de la formation des fruits, et la véraison, qui caractérise le début de la maturation des raisins.

Résultats et discussion

Nous avons retenu l'échelle BBCH (Meier, 2001) adaptée à la vigne (Lorenz *et al.* (1995) pour décrire le débourrement (BBCH 07) et la floraison (BBCH 65). Nous proposons des protocoles d'observation et d'échantillonnage pour ces deux stades, que nous avons validés.

Pour le débourrement, un panel de 15 observateurs a réalisé le 8 avril 2014 des observations sur un dispositif comprenant plusieurs cépages. Il s'est avéré que les comptages de nombre de bourgeons débourrés (au stade BBCH 07) sont très reproductibles entre observateurs. Il existe une variabilité plus grande pour le comptage du nombre de bourgeons totaux mais qui a finalement peu d'incidence sur le calcul des dates auxquelles 50% des bourgeons étaient débourrés.

Pour la floraison, la comparaison du pourcentage, estimé visuellement, de fleurs ouvertes sur des inflorescences avec des comptages réels du nombre de fleurs ouvertes a montré que les expérimentateurs surestimaient le taux de fleurs ouvertes. Les dates observées de 50% de fleurs ouvertes anticipent donc le stade réel. Ce biais est cependant général et les comparaisons des dates de floraison (BBCH65) entre observateurs restent donc valables.

Par ailleurs, nous avons comparé des observations de floraison réalisées inflorescence par inflorescence à des observations sur des souches entières. Sur souches entières, l'estimation du stade BBCH 65 est en général en avance par rapport à l'estimation inflorescence par inflorescence. L'écart ne dépasse cependant pas un jour, ce qui amène à recommander la méthode « souche entière », beaucoup plus facile à mettre en œuvre.

Conclusion

Ce travail dans le cadre du projet PERPHECLIM ACCAF a permis des échanges fructueux entre expérimentateurs sur les méthodes d'évaluation des stades de développement chez la vigne. Il a permis de valider, et de cerner les limites, des protocoles proposés. Les résultats présentés ici ne concernent le débourrement et la floraison. Un travail similaire est également conduit sur la véraison et est présenté par ailleurs.

Références

Lorenz D.H., Eichhorn K.W., Bleiholder H, Klose R, Meier U, Weber E., 1995. Growth Stages of the Grapevine: Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*)—Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. Australian Journal of Grape and Wine Research 1:100-103

Meier, U., 2001. Growth stages of mono-and dicotyledonous plants. BBCH Monograph. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry

Adonis, outil d'acquisition de données à l'INRA

Vincent Dumas^{1*}, Audrey Jascques-Gustave²,

1 UMR 1131, INRA - Université de Strasbourg, 28 rue d'Herrlisheim, BP20507, F-68021 Colmar Cedex, France

2 UAR 1140, INRA - CNUe, 69 route d'Arcachon, F-33612 Cestas cedex, France

* Correspondance : V. Dumas, 33(0)3 89 22 49 41, Email : vincent.dumas@colmar.inra.fr

Résumé

Adonis (Acquisition de DONnées à l'Inra) est un outil informatique INRA d'acquisition de données sur des plantes ou des ensembles de plantes repérées spatialement dans des dispositifs agronomiques (laboratoire, serre, champ, verger, forêt, ...). Mis à disposition des expérimentateurs de terrain de l'INRA, cet outil informatique permet i) de fiabiliser l'acquisition de données, ii) de les organiser depuis la conception des dispositifs jusqu'à l'archivage des données saisies, iii) puis de les transférer vers d'autres outils pour leur exploitation. Adonis intègre de manière implicite une démarche d'assurance qualité en recherche (AQR) au profit de l'expérimentateur et des gestionnaires d'expérimentation. L'application est opérationnelle et disponible pour les Unités depuis le deuxième semestre 2012.

Mots clés

Adonis, phénotypage, base de données, expérimentation végétale, saisie

Introduction

La Commission Nationale des Unités Expérimentales (CNUe) avec l'appui des Départements EA (Environnement et Agronomie), EFPA (Écologie des Forêts, Prairies et milieux Aquatiques), BAP (Biologie et Amélioration des Plantes) et SPE (Santé des Plantes et Environnement) ainsi que la DSI (Direction du Système d'Information) a décidé en 2009 de développer un outil informatique collectif d'acquisition de données à l'INRA : Adonis. Ce projet avait pour objectif de répondre à une attente des expérimentateurs de l'INRA à savoir : disposer d'un outil informatique qui permette de réaliser et de standardiser la saisie de données sur le terrain à l'aide d'ordinateurs durcis, de tablettes ou d'ordinateurs portables dans des dispositifs expérimentaux dans le domaine du végétal (Verger, 2006).

Le cahier des charges détaillé des spécifications attendues, rédigé par un groupe d'expérimentateurs associés à un informaticien (Clastre et al., 2009), a constitué le document de référence pour le développement du logiciel par le prestataire Softeam. L'application Adonis a été déposée en janvier 2011 à l'Agence pour la Protection des Programmes (Adonis, 2012).

Après 2 ans et demi de développement, Adonis a été déployé à l'INRA en février 2013 via un site de téléchargement. Ainsi le projet est donc entré dans une nouvelle phase intégrant la formation et l'accompagnement des utilisateurs (Dumas et al., 2014).

Résultats et discussion

L'outil développé se compose en 2 applications « Adonis bureau » et « Adonis terrain » (Clastre et al., 2010) :

- 1) « Adonis bureau » regroupe les fonctionnalités nécessaires à la conception des dispositifs, à leur gestion, à l'élaboration de projets de saisie sur le terrain et *in fine* à l'archivage des données de retour du terrain pour les visualiser et les exporter,
- 2) « Adonis terrain » permet la mise en œuvre du projet de saisie à l'aide d'un ordinateur portable et permet ainsi la saisie de données sur les dispositifs expérimentaux.

L'application « Adonis-bureau » fonctionne sur les postes de travail standards sous système Windows (Xp/7/8) ou Linux, et avec une base de données interne à l'application ou installée sur un serveur (Clastre et al., 2010). « Adonis terrain » est construite pour deux environnements : les portables et tablettes fonctionnant sous Windows Xp/7/8 et les ultraportables durcis (Psion Motorola WorkAboutPro) fonctionnant sous Windows mobile 6.1 et 6.5.

L'utilisation d'Adonis à l'INRA a nettement progressé depuis la mise à disposition du logiciel au début de l'année 2013 via un site de téléchargement. Ainsi, le nombre de connexions mensuelles est passé de 287 connexions en 2013 à 545 durant le premier semestre 2015. A ce jour 75 utilisateurs sont référencés, répartis dans 34 Unités et 15 Centres INRA. Les Unités expérimentales que ce soit en forêt, grandes cultures ou arboriculture sont les premières utilisatrices de l'outil. Cela illustre bien la polyvalence du logiciel qui répond actuellement aux principales attentes des expérimentateurs dans le domaine du végétal.

Depuis 2015, une licence propriétaire gratuite d'Adonis est proposée par INRA Transfert aux différents partenaires de l'INRA.

Conclusion

Adonis est l'illustration d'un projet ambitieux et qui a su mobiliser, durant près de 10 ans, un collectif provenant de tous les secteurs du végétal à l'INRA, en vue de l'élaboration d'un outil partagé. Ce projet a été initié et conduit de manière collective par un groupe d'expérimentateurs directement concernés et en attente de cet outil. Aujourd'hui, Adonis est disponible et fonctionnel. Son déploiement à l'INRA est encourageant et démontre que l'application développée répond aux principales attentes des expérimentateurs. Le logiciel permet de fiabiliser et sécuriser la saisie de données à l'aide d'ordinateurs de terrain (ultraportables, portables, tablettes, ...), tout en intégrant l'ensemble de la chaîne d'acquisition, depuis la conception du dispositif jusqu'à l'exportation de données brutes, pour une large gamme d'expérimentations. L'INRA souhaite pouvoir faire bénéficier ses partenaires de cet outil et ainsi élargir le cercle des utilisateurs.

Références

ADONIS, Acquisition de données à l'INRA, logiciel INRA déployé depuis septembre 2012, dépôt à l'APP N° IDDN.FR.001.040034.000.R.P.2011.000.31235.

Clastre P., Lecomte A., Papelier S., Verger M. (2009) Cahier des charges Adonis, Acquisition de Données à l'INRA. 212 p.

Clastre P., Dumas V., Lecomte A., Verger M. (2010) Adonis : un outil d'acquisition et de structuration de données issues d'expérimentations végétales à l'INRA. Journées de la Mesure et de la Métrologie. Nouan-le-Fuzelier, 11-14 octobre 2010.

Dumas, V., Jacques-Gustave, A. (2014). Adonis, un outil INRA d'acquisition de données, premier bilan de son déploiement. Journées de la Mesure et de la Métrologie ; Stella Plage (62) (France).

Verger M. (2006) Vers un système d'acquisition de données et métadonnées pour les plantes ou des ensembles de plantes repérés spatialement, Journées de la Mesure et de la Métrologie. Balaruc-les-Bains, 2006, 98-104.

PERPHECLIM - Evolution de la phénologie des espèces pérennes face au changement climatique : observatoires, bases de données, modélisation.

I. Garcia de Cortazar-Atauri¹, J.M. Audergon², P. Bertuzzi¹ and PERPHECLIM Team

1 INRA, US1116 AGROCLIM, F-84914 Avignon, France

2 INRA, UR 052 GAFL, F-84143 Avignon, France

Résumé

Les espèces pérennes risquent d'être particulièrement affectées par les conditions climatiques futures, car leur adaptation et leur gestion doivent être anticipées longtemps à l'avance, ce qui constitue une difficulté majeure. Seules des modélisations adaptées peuvent nous permettre de telles anticipations. Dans ce contexte, le projet PERPHECLIM vise à mettre en place l'infrastructure nécessaire à l'observation, l'archivage des données et la modélisation de la phénologie des différentes espèces pérennes d'intérêt pour l'INRA. Cette infrastructure commune aux différentes filières (forêt, fruits et vignes), permettra de partager les connaissances, la gestion des données et les outils génériques de modélisation.

Mots clés

Phénologie, Infrastructure, Changement climatique, Modélisation, Système d'information, Observatoires

Introduction

L'augmentation des températures observées ces dernières décennies a généré un impact déjà observable sur la physiologie des plantes. Les espèces pérennes apparaissent ainsi particulièrement vulnérables du fait de leur longévité, car leur gestion et leur adaptation doivent être anticipées longtemps à l'avance. La phénologie est le premier indicateur biologique du changement climatique et un des principaux caractères-clé de la capacité d'adaptation des espèces à ces changements. Dans le passé, l'observation de l'évolution des stades phénologiques (débourrement, floraison, maturation ...) sur différentes espèces a permis de mesurer l'ampleur du changement climatique. Les modifications observées génèrent des interrogations concernant leurs conséquences à moyen terme, aussi bien sur la croissance des plantes et l'élaboration du rendement que sur la qualité des fruits. Dans ce contexte, le projet PERPHECLIM a comme objectif de mettre en place les infrastructures nécessaires (observatoires, bases de données, outils de modélisation) à l'étude des questions d'adaptation concernant la phénologie des espèces pérennes et d'en permettre l'accès aux différents partenaires.

Description du projet

Le projet de PERPHECLIM a permis de mettre en place un Système d'Information permettant de partager des bases de données communes qui seront alimentés par des réseaux d'observatoires suivant des protocoles normalisés pour le long terme (figure 1). Ces données seront utilisées pour développer et calibrer des modèles phénologiques qui seront utilisés pour étudier l'adaptabilité des espèces aux nouvelles conditions climatiques.

Trois actions majeures ont été développées dans le cadre du projet (Figure 1):

1.- Mise en place des observatoires et harmonisation des protocoles d'observation.

Cette première action avait comme objectif de structurer les réseaux d'observatoires de chaque filière et de mettre en place des protocoles d'observation de la phénologie. Alors que les observatoires de vigne et forêt étaient déjà assez bien structurés, il manquait un dispositif pour les

espèces fruitières. Celui-ci a vu le jour au cours de l'hiver 2014-2015. Ce dispositif (unique en Europe) est composé de 5 variétés avec des phénologies très diverses pour les 4 espèces d'intérêt (Cerisier, Pommier, Abricotier, Pêcher) dans 6 sites climatiquement contrastés en France (Bordeaux, Montpellier, Avignon, Gotheron, Clermont Ferrand et Angers). D'autre part, le travail autour des protocoles d'observation a permis de mettre en place les fiches de description de stades et les protocoles d'observation. Enfin, le projet a permis de mettre en place des formations à l'observation de la phénologie et une intercalibration des observateurs) en collaboration avec l'Observatoire des Saisons.

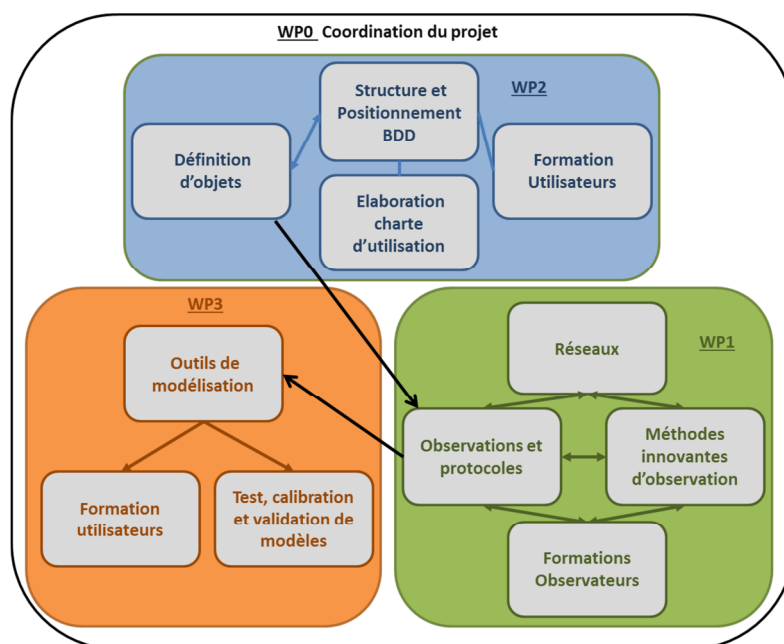


Figure 1.- Description des différentes actions du projet.

2.- Développement d'un Système d'Information

Une application Web permettant d'interconnecter les différentes bases de données de phénologie existantes (BDD URGI, BDD Observatoire des Saisons, BDD Koala...) [<http://w3.avignon.inra.fr/perpheclim/>] a été développée. Par ailleurs, plusieurs sites web ont été élaborés afin de rendre accessible à l'extérieur les activités du projet, ainsi que la documentation produite [<http://www6.inra.fr/projet-accaf-perpheclim/>].

3.- Développement des outils de modélisation de la phénologie

Le travail concernant la modélisation de la phénologie a été axé sur deux axes : (a) appuyer le développement de la Plateforme de Modélisation de la Phénologie (PMP 5.5) comme outil principal pour calibrer et tester les modèles de phénologie ; (b) développer le premier module de calcul de la phénologie compatible avec plusieurs plateformes (premier version est actuellement compatible avec la plateforme RECORD). Par ailleurs, la formation à l'utilisation de PMP a aussi été une des actions qui ont été mise en place dans le cadre du projet.

Conclusions

Quelques points restent à finaliser mais l'essentiel des objectifs initiaux du projet est atteint. Le projet PERPHECLIM a permis de mettre en place un réseau de 90 agents travaillant sur la phénologie. Il a associé 28 unités INRA issues de 7 départements (BAP, EFPA, EA, SPE, SAD, MIA, CEPIA) et réparties sur 9 Centres de Recherche INRA (Angers-Nantes, Bordeaux-Aquitaine, Clermont-Ferrand - Theix, Colmar, Montpellier, Nancy, Orléans, PACA, Midi-Pyrénées), l'unité CEFE-CNRS de Montpellier, ainsi que diverses collaborations avec les instituts techniques (IFV, CTIFL, ONF...) et inter-professions.

Comparaison de différentes approches de suivi de la phénologie des hêtres en vue d'expliquer la variabilité interannuelle des flux de CO₂

Quentin Hurdebise¹, Caroline Vincke², Marc Aubinet¹

1 Department of Biosystems engineering, University of Liege, Gembloux (Belgium)

2 Earth and Life Institute, Université catholique de Louvain, Louvain-la-neuve (Belgium)

Résumé

Bien caractériser la phénologie des essences forestières dans un contexte climatique changeant est indispensable. Dans cette optique, confronter les différentes sources d'informations phénologiques (relevé de terrain, modélisation, capteurs de rayonnement, caméra phénologique, satellite, eddy covariance...) est une démarche essentielle. Les différences et la complémentarité de ces sources d'informations ont été mises en évidence en utilisant les données provenant d'une forêt mixte de l'Est de la Belgique, principalement composée de hêtres. Par ailleurs, ces informations ont été utilisées pour étudier l'influence de la phénologie des hêtres sur les échanges annuels de CO₂ de ces derniers.

Mots clés

Fagus sylvatica, phénologie, modélisation, caméra phénologique, Eddy Covariance

Introduction

L'Observatoire Terrestre de Vielsalm est situé à l'Est de la Belgique au cœur d'une forêt mixte équipée depuis 1996 d'une tour pour mesurer les flux de CO₂ par Eddy Covariance (Aubinet et al., 2001). En outre, différents capteurs ont été installés pour suivre les conditions du milieu forestier (température, humidité du sol,...). De nombreuses données sont disponibles, notamment des mesures de rayonnement sous couvert enregistrées sur le site de 1997 à 2014, mais aussi des photos de la forêt prises quatre fois par jour par une caméra phénologique depuis 2010. Ces différentes sources d'informations ont été utilisées pour caractériser la phénologie des hêtres, mais aussi pour évaluer l'influence de cette phénologie sur les flux de CO₂ provenant des hêtres. Une influence qui peut varier d'un site de mesure à un autre (Richardson et al., 2010), voire d'une année à l'autre, mais qu'il est indispensable de comprendre dans l'optique de l'étude de la variabilité interannuelle des flux.

Résultats et discussion

Si les différentes sources d'informations s'accordent en début de période de végétation pour un indicateur tel que la date de débourrement, il n'en est pas de même pour la fin de la période de végétation. En effet, alors que les capteurs de rayonnement sous couvert détectent plutôt la chute des feuilles, la caméra phénologique, quant à elle, détecte plutôt leur rougissement. Par ailleurs, il est difficile de trouver une relation entre ces événements et les modèles phénologiques de sénescence, basés sur des variables climatiques (Vitasse et al., 2011). Quant aux dates de fin de période de végétation déterminées à partir des flux d'Eddy Covariance, elles semblent se rapprocher de celles déterminées avec la caméra phénologique, en accord avec la diminution de la capacité photosynthétique associée à la dégradation de la chlorophylle dans les feuilles.

Aucune tendance significative n'a été mise en évidence sur les 18 dernières années que ce soit pour les dates de débourrement, de fin de mise en place des feuilles, de rougissement ou de chute des feuilles. Pareillement, aucune dynamique temporelle de la durée de mise en place des feuilles, de la

durée de la sénescence ou de la longueur totale de la période de végétation n'a été trouvée. De même, aucune relation n'a été trouvée entre les indicateurs phénologiques utilisés et les flux de CO₂ à l'échelle annuelle pour l'ensemble des années. Cependant, si les années extrêmes sont retirées de l'analyse, des tendances peuvent être observées, suggérant un comportement différent d'une année à l'autre.

Conclusion

Les différentes sources d'informations phénologiques fournissent des informations similaires en début de période de végétation. Par contre, en fin de période de végétation, chaque source apporte des informations différentes. Si ces dernières ne permettent pas d'expliquer la variabilité des flux à l'échelle interannuelle, elles n'en restent pas moins utiles à une échelle temporelle plus réduite, notamment en ce qui concerne la relation rougissement – diminution des flux en fin de période de végétation (Hurdebise et al., 2014).

Références

Aubinet, M., Chermanne, B., Vandenhaute, M., Longdoz, B., Yernaux, M., & Laitat, E. (2001). Long term carbon dioxide exchange above a mixed forest in the Belgian Ardennes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 108, 293–315.

Hurdebise, Q., Vincke, C., Soubie, R., Ligne, A. De, Heinesch, B., & Aubinet, M. (2014). Seasonal and inter-annual variability of photosynthetic capacity in a temperate forest. Poster Presented at the 1st ICOS Conference, 23-Sept-2014, Bruxelles (Belgium)

Richardson, A. D., Black, T. A., Ciais, P., Delbart, N., Friedl, M. a, Gobron, N., ... Varlagin, A. (2010). Influence of spring and autumn phenological transitions on forest ecosystem productivity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 365(1555), 3227–3246.

Vitasse, Y., François, C., Delpierre, N., Dufrêne, E., Kremer, A., Chuine, I., & Delzon, S. (2011). Assessing the effects of climate change on the phenology of European temperate trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(7), 969–980.

Les données phénologiques de la collection de vigne de Vassal-Montpellier : des ressources scientifiques pour explorer la diversité des cépages

Thierry Lacombe¹, Sandrine Dedet², Claire Castany², Cécile Marchal² et Jean-Michel Boursiquot³.

1. INRA, Equipe Diversité Adaptation et Amélioration de la Vigne, UMR AGAP, Montpellier, France

2. INRA, Unité Expérimentale du Domaine de Vassal, Marseillan, France

3. Montpellier SupAgro, Equipe Diversité Adaptation et Amélioration de la Vigne, UMR AGAP, Montpellier, France

Résumé

Le Centre de Ressources Biologiques (CRB) de la Vigne prend son origine en 1876 à Montpellier. Depuis 1949, il est hébergé par l'Unité Expérimentale INRA du Domaine de Vassal à Marseillan. Il représente la collection ampélographique centrale française et regroupe actuellement plus de 7700 accessions de vigne provenant du monde entier. Ces accessions y sont décrites pour des caractéristiques morphologiques, agronomiques, technologiques, sanitaires et génétiques afin de les identifier et de connaître leur potentiel viticole. Les variétés cultivées de l'espèce *Vitis vinifera* (ou cépages) ont plus particulièrement été étudiés depuis les années 1950. Ainsi, les CRB de Vassal-Montpellier dispose aujourd'hui de séries d'observations des principaux stades phénologiques (débourrement, floraison, véraison et maturité) pour plusieurs centaines de cépages français et étrangers destinés aussi bien à l'élaboration de vin qu'à la production de raisins de table. Ces données peuvent être mises en relation d'une part avec les données météorologiques locales et d'autre part avec les résultats de structuration génétique récemment obtenus. De ce fait, ces notations patiemment accumulées représentent des ressources scientifiques originales particulièrement intéressantes pour étudier la diversité inter- et intra-variétale de la vigne dans un contexte de changement climatique. Afin d'améliorer l'acquisition de nouvelles données phénologiques et de favoriser l'utilisation des séries temporelles existantes, plusieurs actions sont en cours : optimisation de la saisie d'information en collection ; harmonisation des protocoles et des ontologies ; poursuite de l'informatisation des données ; création de flux de données entre différentes bases de données spécialisées.

Mots clés

Vigne ; ressources génétiques ; phénologie ; diversité variétale

Phénologie de la formation du bois chez le mélèze

Seyedehmasoumeh Sadari¹, Cyrille Rathgeber¹, Mériem Fournier²

1 INRA, UMR 1092 LERFOB, F-54280 Champenoux, France

2 AgroParisTech, UMR 1092 LERFOB, F-54000 Nancy, France

Résumé

La phénologie des arbres est le résultat du changement des facteurs environnementaux. L'ouverture des bourgeons et la croissance des feuilles sont directement visibles pour l'œil avertit tandis que la phénologie et l'activité du cambium sont cachées derrière l'écorce. L'étude de la phénologie et de la dynamique de l'activité cambiale permet d'identifier les facteurs environnementaux les plus importants qui affectent la croissance des arbres. Par exemple, étant donné que, sur les hautes altitudes, la température est un facteur limitant pour la croissance des arbres, nous serons en mesure de voir comment les espèces d'arbres s'adaptent aux récents changements climatiques comme l'augmentation de la température.

Le but de cette étude est de comparer la phénologie de l'activité cambiale entre des mélèzes poussant le long d'un gradient altitudinal allant de 1350 à 2300 m dans les Alpes françaises (Briançon). Durant la saison de végétation 2013, des micro-carottes de bois ont été récoltées très régulièrement, préparées au laboratoire pour fournir des coupes anatomiques qui ont été observées au microscope.

Les nouvelles cellules produites par le cambium passent par différentes phases: respectivement l'élargissement, la lignification et la maturation. Les cellules en phase d'élargissement ont été distinguées par la taille radiale plus grande comparées à celle des cellules du cambium. Les cellules en maturation brillent sous la lumière polarisée, leur couleur vire du violet au bleu lorsqu'elles atteignent la maturité (Rossi, 2006). Le nombre de cellules correspondant à chaque phase de développement a été compté et les données ont été analysées à l'aide du package caviar dans R.

En comparant la formation du bois entre les mélèzes poussant au niveau de quatre parcelles le long d'un gradient altitudinal des Alpes françaises, un retard de 3 jours par 100 m d'altitude a été démontré au niveau de la phénologie de l'activité cambiale avec l'augmentation de l'altitude. (Figure1)

Mots clés

Formation du bois, activité cambiale, gradient altitudinal, Larix decidua, Alpes française

Introduction

Les arbres ont une capacité unique pour enregistrer les facteurs environnementaux affectant leur croissance sur leurs cernes annuels. Un des moyens pour extraire ces informations se fait à travers des études de la formation du bois. La formation du bois commence par la production de nouvelles cellules de cambium. Les nouvelles cellules produites vont ensuite, à travers différentes phases de différenciation ayant une longueur, une durée et un taux de développement spécifique. L'étude de la phénologie et de la dynamique de l'activité cambiale nous permet d'identifier les facteurs environnementaux les plus importants qui les concernent. C'est également un moyen de voir

comment ces mélèzes poussant sur un gradient altitudinal s'adaptent aux récents changements climatiques.

Résultats et discussion

Etudier différentes phases de formation du xylème, nous donnera des informations précieuses sur la phénologie de cambium dans les arbres. L'activité cambiale et la production de nouvelles trachéides ont été observées en trois étapes : division du cambium, élargissement des nouvelles cellules, lignification et épaissement des parois. Les résultats des observations anatomiques dans les arbres étudiés ont révélé trois phases différentes dans la phénologie de cambium. 1. l'élargissement de cellules, 2. Lignification et la paroi cellulaire épaissement et 3. Cellules maturation.

L'étude de la durée, du début et de la fin de chaque période donnera des données sur les réponses des arbres aux facteurs externes affectant leur croissance.

Les résultats de cette étude montrent que le début de l'activité cambiale se produit un mois avant sur la plus basse altitude comparé à la plus haute. Un décalage de 3 jours par 100 m d'altitude pour l'activité cambiale a été observé sur les arbres étudiés. Cette étude a montré que l'activité du cambium a commencé plus tôt sur la placette la plus basse. Puis il y avait un retard sur le début de l'activité du cambium avec l'altitude d'environ un mois entre la placette la plus basse et la plus haute. Cette variation linéaire dans le retard de l'activité du cambium peut être représentée comme étant en moyenne de 3 jours par 100 m d'altitude. Un délai identique selon l'altitude a été observé pour les phases d'épaississement de la paroi et de maturation. Au contraire, il n'y avait pas une telle tendance linéaire pour la fin de l'activité du cambium et différentes phases de formation du xylème. Les résultats ont également montré que la longueur de la phase de formation du bois est différente selon la placette étudiée et la plus longue a été observée à 1700 m.

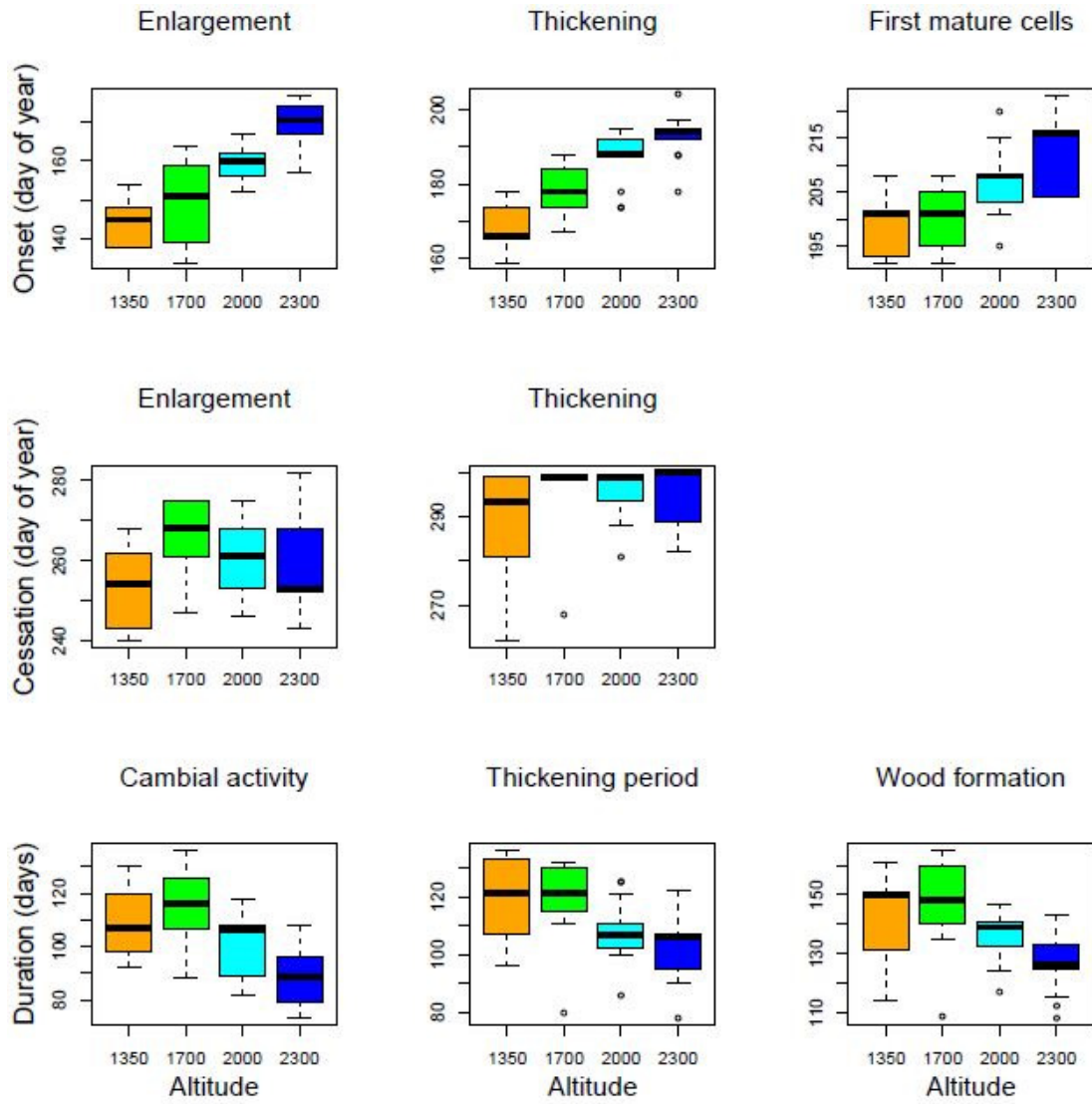
Conclusion

Les résultats de cette étude ont montré que la phénologie du cambium chez le *Larix decidua* varie selon l'altitude. Cette variation de la phénologie à différentes altitudes montre la réponse de cette espèce aux facteurs environnementaux qui limitent la croissance des arbres étudiés le long du gradient d'altitude des Alpes françaises. Les résultats de cette étude ont montré que l'activité du cambium est différente chez les arbres qui poussent le long de ce gradient d'altitude. Ces variations peuvent entraîner des différences significatives tant sur la durée de la formation du bois que sur le bois produit en terme de quantité et de qualité. La plus longue durée de formation du bois de mélèze a été trouvée à l'altitude de plus de 1700 m, cette altitude peut correspondre à la condition optimale pour la croissance de cette espèce.

Références

Rossi S, Deslauriers A, Anfodillo T. 2006a. Assessment of cambial activity and xylogenesis by microsampling tree species: an example at the alpine timberline. IAWA Journal 27, 383–39

Figure 1. Evolution des dates pour début, fin et durée des différentes périodes de la formation du bois



Variabilité spatiale de la phénologie de la vigne à l'échelle intra-parcellaire : vers un modèle d'extrapolation spatial

N. Verdugo-Vásquez¹, C. Acevedo-Opazo¹, H. Valdés-Gómez¹, M. Araya-Alman¹, B. Ingram², I. García de Cortázar³, B. Tisseyre⁴

1 Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias, CITRA, 2 Norte, 685 Talca, Chile.

2 Universidad de Talca, Facultad de Ingeniería, 2 Norte, 685 Talca, Chile.

3 INRA, AGROCLIM Unit, Domaine St Paul, Site Agroparc 84914 Avignon cedex 9

4 Montpellier SupAgro/Irstea, UMR ITAP, Bât. 21, 2 Pl. Pierre Viala, Montpellier 34060, France

Résumé

Cet article présente un modèle spatial empirique permettant de produire une estimation de la phénologie de la vigne sur la base d'une observation de référence et d'une base de données historiques. Le modèle a été étalonné avec les données d'une parcelle cv Cabernet Sauvignon (1,56 ha) situé à Talca, Chili. Les résultats montrent que le modèle permet d'estimer la variabilité de la phénologie de la vigne avec moins de 3 jours d'erreurs. Cette approche peut être appliquée à d'autres échelles spatiales (par exemple méso-échelle).

Mots clés

Modélisation spatiale, variabilité spatiale, *Vitis vinifera*

Introduction

Les modèles phénologiques sont basés sur l'acquisition d'observations sur des sites dits de référence (placette, parcelle, etc.). Ces observations sont extrapolées aux zones géographiques proches, indépendamment de la variabilité spatiale que peut présenter la phénologie ou la température, même sur de courtes distances (Caffarra & Eccel, 2010; García de Cortázar-Atauri, Brisson & Gaudillere, 2009). Ce travail propose et teste un modèle empirique simple permettant de produire une estimation de la phénologie de la vigne sur la base d'une observation de référence et d'une base de données historiques. Il se limite pour le moment à l'échelle intra-parcellaire. A titre d'hypothèse, on suppose qu'entre les sites d'une zone définie, il y a stabilité de la variabilité spatiale de la phénologie de la vigne.

Modèle proposé

L'objectif est de produire une estimation de la phénologie $\hat{P}_i(\mathbf{s}_j, t_j)$ du site \mathbf{S}_j en fonction d'une observation de phénologie $P_{ref}(\mathbf{s}_{ref}, t_j)$ du site \mathbf{S}_{ref} à la même date t_j . " $f_{\mathbf{s}_j}$ " est la fonction locale d'extrapolation spatiale qui permet de modéliser la différence de phénologie entre chaque site \mathbf{S}_j et le site de référence \mathbf{S}_{ref} (Equ. 1).

$$\text{Soit: } \hat{P}_i(\mathbf{s}_j, t_j) = f_{\mathbf{s}_j}(P_{ref}(\mathbf{s}_{ref}, t_j)) \quad (1)$$

Afin de rester dans un cadre simple, une forme linéaire du modèle est privilégié dans une première approche. Sur la base du modèle proposé par Ortega-Farías et al., (2002). Une transformation de l'échelle phénologique de Eichhorn et Lorenz modifié par Coombe (1995) est proposée (Equ. 2)

$$P_i(\mathbf{s}_j, t_j) = 38 - 34 \square e^{-ki(sGDD)} \text{ avec } ki \text{ le } k \text{ du site } \mathbf{s}_i \text{ et } P_i^T(\mathbf{s}_j, t_j) = \frac{38 - P_i(\mathbf{s}_j, t_j)}{34} \quad (2)$$

Où: $P_i(\mathbf{s}_j, t_j)$ = stade phénologique actuel du site \mathbf{S}_j (exprimé dans l'échelle phénologique), k = taux de développement phénologique et sGDD = somme de Growing Degree-Days (°C) depuis la date de débournement à la date du t_j .

En utilisant les expressions ci-dessus pour le site \mathbf{S}_{ref} on obtient le modèle proposé:

$$\ln(P_i^T(s_j, t_j)) = \frac{ki}{kref} * \ln(P_{ref}^T(s_{ref}, t_j)) + \beta \quad (3) \quad \frac{ki}{kref} \text{ est le « Vecteur a » que permet la}$$

modélisation de la différence de phénologie entre chaque site S_j et le site de référence S_{ref} . β est le facteur de correction pour les différences des dates de débourrements entre les sites S_j et le site de référence S_{ref} .

Le cas d'étude et la méthode de référence

Le modèle a été étalonné avec les données d'une parcelle cv Cabernet Sauvignon (1,56 ha) située à Talca, Chili. Une grille régulière de 18 sites a été établie (figure 1a). Les mesures de la phénologie (du débourrement jusqu'à la véraison) ont été réalisées sur chaque site, en utilisant l'échelle phénologique de Eichhorn et Lorenz modifié par Coombe (1995) pendant 3 saisons. Le site 10 de la grille a été choisi comme site de référence. Le modèle a été comparé à une méthode de référence, en utilisant pour chaque date, la moyenne de tous les sites (17 sites, sans considérer le site de référence). Cette approche est appelée « moyenne » dans le reste du document.

Résultats et discussion

Les valeurs du « vecteur a » et des coefficients β obtenus à l'issue de l'étalonnage sont présentés respectivement figures 1b et 1c. Le « vecteur a » présente une structure spatiale claire mettant en évidence les zones systématiquement plus en avance ou plus en retard par rapport au site de référence. Le coefficient β (figure 1c) présente des valeurs positives et négatives en fonction de la précocité du débourrement par rapport au site de référence. Le Tableau 1 montre les résultats du modèle où les valeurs de RMSE (Root Mean Square Error) exprimées respectivement dans l'échelle phénologique et en jours. La valeur de RMSE obtenue avec le modèle spatiale est inférieure à celle obtenue avec la méthode de référence (moyenne).

Conclusion

L'approche proposée est intéressante pour mieux prendre en compte la variabilité spatiale et l'extrapolation d'observations effectuées sur un site de référence. L'approche doit être validée sur un plus grand jeu de données avant d'être testée à une plus grande échelle (vignoble, région, etc.).

Références

- Caffarra, A., & Eccel, E. (2010). Increasing the robustness of phenological models for *Vitis vinifera* cv. Chardonnay. *International Journal of Biometeorology*, 54(3), 255–67.
- Coombe, B. G. (1995). Adoption of a system for identifying grapevine growth stages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1(2), 104–110.
- García de Cortázar-Atauri, I., Brisson, N., & Gaudillere, J. P. (2009). Performance of several models for predicting budburst date of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *International Journal of Biometeorology*, 53(4), 317–26.
- Ortega-Farías, S., Lozano, P., Moreno, Y., & León, L. (2002). Development of models for predicting phenology and evolution of maturity in cv. Cabernet Sauvignon and Chardonnay grapevines. *Agricultura Técnica*, 62(1), 27–37.

Figure 1: Sites d'échantillonnage (a), vecteur a estimée (b) et coefficient β estimée (c).

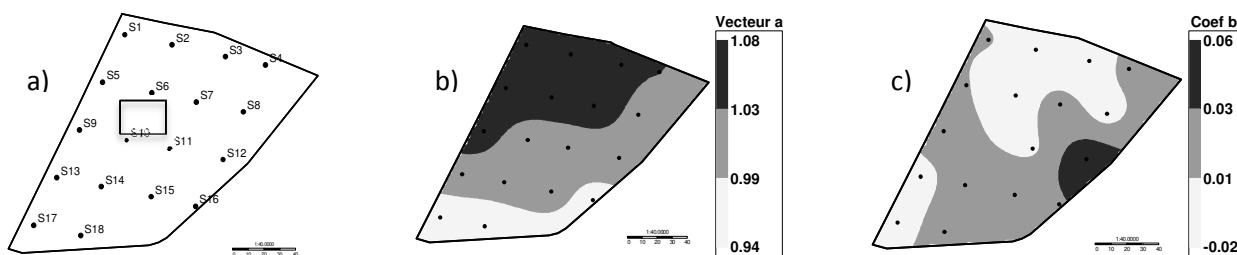


Tableau 1: RMSE pour toutes les dates exprimées dans l'échelle phénologique et jours

	Nombre observations	Modèle spatial		Moyenne	
		Échelle phénologique	Jours	Échelle phénologique	Jours
Tous les dates	357	0,57	2,6	0,70	3,2

LISTE DES PARTICIPANTS

Nom	Prénom	Unité	Centre	Adresse Mail
ABED	Aïcha Lila	Agronomie	Algerie	abedlila24@yahoo.fr
FAURE	Aline	UMR PIAF	Clermont-Ferrand	Aline.Faure@clermont.inra.fr
ALLARD	Vincent	GDEC	Clermont-Ferrand	vincent.allard@clermont.inra.fr
ALLETRU	David	UEA TOULENNE	Bordeaux	david.alletru@bordeaux.inra.fr
AMEGLIO	Thierry	UMR PIAF	Clermont	Thierry.Ameglio@clermont.inra.fr
ANDREINI	Lucia	GAFL	MONTEUX	frutticola@yahoo.fr
ANDRIANANTENAINA	Anjy	LERFOB	Nancy	anandrianant@nancy.inra.fr
ANDEUZA	Donato	UMR Herbivores	Clermont-Ferrand	donato.andueza@clermont.inra.fr
ANGER	Christel	GBFOR	Orléans	christel.anger@orleans.inra.fr
ARNOLD	Luc	CNRS	Haute Provence	luc.arnold@osupytheas.fr
ASSE	Daphné	CREA	Chamonix	dasse@creamontblanc.org
AUDERGON	Jean-Marc	GAFL	PACA	Jean-Marc.Audergonavignon.inra.fr
BALANDIER	Philippe	U.R. Ecosystèmes Forestiers	Nogent-sur-Vernisson	philippe.balandier@irstea.fr
BARRENECHE	Teresa	UMR BFP	Villeneuve d'orlon	Teresa.Barreneche@bordeaux.inra.fr
BEAUJARD	François	INRA - UMR Piaf	Clermont-Ferrand	beaujard@clermont.inra.fr
BEAUVIEUX	Remis	UMR BFP	Villeneuve d'orlon	rbeauvie@bordeaux.inra.fr
BELLANGER	Richard	Villa Thuret	Antibes	richard.bellanger@sophia.inra.fr
BERNIER	Frédéric	UE Forêt Pierroton	Cestas	bernier@pierroton.inra.fr
BERTUZZI	Patrick	US AGROCLIM	Avignon cedex 9	patrick.bertuzzi@avignon.inra.fr
BLOUIN	Marine	UE Arbo	Bourran	mblouin@bordeaux.inra.fr
BONHOMME	Marc	UMR PIAF	Clermont	marc.bonhomme@clermont.inra.fr
BONNE	Fabrice	Ecologie et Ecophysiologie Forestière	Nancy	fabrice.bonne@nancy.inra.fr
BOURGEOIS	Gaetan	Agriculture	Canada	Gaetan.Bourgeois@agr.gc.ca

Nom	Prénom	Unité	Centre	Adresse Mail
BREDA	Nathalie	Ecologie et Ecophysiologie Forestière	Nancy	nathalie.breda@nancy.inra.fr
CAIGNARD	Thomas	UMR BIOGECO	Pessac	tcaignard@gmail.com
CARRE	Jennifer	Tela Botanica	Montpellier	jennifer@tela-botanica.org
CAUBEL	Julie	CNRS	Avignon	julie.caubel@avignon.inra.fr
CHARRIER	Guillaume	UMR EGFV	Villenave d'Ornon	guillaume.charrier@bordeaux.inra.fr
CHEVALLIER	Joëlle	UE Villa Thuret	PACA	joelle.chevallier@paca.inra.fr
CHRISTEL	Danilo	AGROSCOPE	CONTHEY	danilo.christen@agroscope.admin.ch
CHUINE	Isabelle	CEFE CNRS	Montpellier	isabelle.chuine@cefe.cnrs.fr
COMBE	FREDDY	UERI Gotheron	Saint Marcel Les Valence	freddy.combe@paca.inra.fr
CORRADI	Michel	UEA TOULENNE	TOULENNE	mcorradi@bordeaux.inra.fr
DAVI	Hendrik	URFM	PACA	hendrik.davi@avignon.inra.fr
de RESSEGUIER	Laure	EGF	Villenave d'Ornon	laure.deresseguier@agro-bordeaux.fr
DELPierre	Nicolas	Département Ecophysiologie végétale, laboratoire ESE (UMR 8079)	Orsay	nicolas.delpierre@u-psud.fr
DELZON	Sylvain	BIOGECO	Bordeaux	soul972003@yahoo.fr
DEMBELE	Souleymane		Bamako	
DESPREZ-LOUSTAU	Marie-Laure	BIOGECO	Bordeaux	loustau@bordeaux.inra.fr
DESTRAC IRVINE	Agnès	UMR 1287 EGFV	Villenave d'Ornon Cedex	destrac@bordeaux.inra.fr
DUcatillion	Catherine	UE Villa Thuret	PACA	catherine.ducatillion@sophia.inra.fr

Nom	Prénom	Unité	Centre	Adresse Mail
DUCHÊNE	Eric	Santé de la vigne et qualité du vin	Colmar	eric.duchene@colmar.inra.fr
DUCOUSO	Alexis	BIOGECO	Bordeaux	alexis.ducousso@pierroton.inra.fr
DUMAS	Vincent	UMR 1131	COLMAR	vincent.dumas@colmar.inra.fr
EL YAACOUBI	Adnane	Faculté de Sciences Maroc		adnan_el_yaacoubi@hotmail.com
FABRE	Gregory	UEA TOULENNE	Bourran	gfabre@bordeaux.inra.fr
FARRERA	Isabelle	AFEF	Montpellier	isabelle.farrera@supagro.fr
FIRMAT	Cyril	BIOGECO	Pierroton	cyril.firmat@pierroton.inra.fr
GARCIA	Cécile	Arvalis	Paris	c.garcia@arvalisinstitutduvegetal.fr
GARCIA DE CORTAZAR ATAURI	Iñaki	US AGROCLIM	PACA	igarcia@avignon.inra.fr
GILG	Olivier	0348 UEFM	Avignon	olivier.gilg@avignon.inra.fr
GOUTOULY	Jean-Pascal	EGFV	Villenave d'Ornon	goutouly@bordeaux.inra.fr
GUYON	Dominique	UMR ISPA	Villenave d'ornon	guyon@bordeaux.inra.fr
HURDEBISE	Quentin	Gembloux	Belgique	quentin.hurdebise@ulg.ac.be
JEAN	Frédéric	URFM	PACA	frederic.jean@avignon.inra.fr
JULIEN	Séverine	1117 Unité Vigne et Vin	Beaucouzé	severine.julien@angers.inra.fr
JULIEN	Jean-Louis	UMR PIAF	Clermont-Ferrand	Jean-Louis.JULIEN@univ-bpclermont.fr
KERDELHUE	Carole	CBGP	Montferrier-sur-Lez	Carole.Kerdelhue@supagro.inra.fr
KESSE	Edouard	Ministère d'Abidjan	Abidjan	edkesse@yahoo.fr
LACOINTE	André	UMR PIAF	Clermont	lacoainte@clermont.inra.fr
LACOMBE	Thierry	AGAP	Montpellier	lacombe@supagro.inra.fr
LANOUE	David	UE Horti	CHAMPIGNE	david.lanoue@angers.inra.fr
LAPARIE	Mathieu	UR ZF	Val de Loire	mathieu.laparie@orleans.inra.fr
LAUNAY	Marie	US AGROCLIM	PACA	mlaunay@avignon.inra.fr

Nom	Prénom	Unité	Centre	Adresse Mail
LE BRIS	Xavier	Service Systèmes d'Informations et Méthodologies	La Chapelle Saint-Sauveur	x.lebris@arvalisinstitutduvegetal.fr
LE MOUËLLIC	Isabelle	Agroclim	PACA	Isabelle.lemouellic@avignon.inra.fr
LEBOURGEOIS	François	UMR LERFOB	Nancy	francois.lebourgeois@agroparistech.fr
LECHERBONNIER	Loïc	UEA TOULENNE	Bordeaux	loic.lecherbonnier@bordeaux.inra.fr
LEGAVE	Jean-Michel	AGAP	Montpellier	legave@supagro.inra.fr
LEVRAULT	Frédéric	Chambre Agriculture	Poitou Charentes	frederic.levrault@poitou-charentes.chambagri.fr
MARGUERIT	Elisa	UMR EGFV	Villeneuve d'Ornon	elisa.marguerit@agro-bordeaux.fr
MAUGET	Jean-Claude	ESA	Angers	Jean-Claude.Mauget@agrocampus-ouest.fr
MAURY	Olivier	AgroClim	Avignon Cedex 9	Olivier.Maury@paca.inra.fr
MELLERIN	Yannick	UE Villa Thuret	PACA	yannick.mellerin@paca.inra.fr
NGAO	Jérôme	UMR 547 PIAF	Clermont-Ferrand	jerome.ngao@clermont.inra.fr
OLLAT	Nathalie	EGFV	Bordeaux	ollat@bordeaux.inra.fr
PAQUES	Luc	AGPF	Ardon	luc.paques@orleans.inra.fr
PARMENTIER	Julien	UE-0393 Arbo Bx-Aquitaine	Toulenne	jparment@bordeaux.inra.fr
PERRY	Julie	CIVC	Epernay	julie.perry@civc.fr
PINET	Christian	Chambre Agriculture du Gard	NIMES Cedex 1	christian.pinet@gard.chambagri.fr
RAGEAU	Rémy	UMR PIAF (retraité)	Clermont-Ferrand	
RIPOCHE-WACHTER	Dominique	US AGROCLIM	Avignon cedex 9	dominique.ripoche@paca.inra.fr
ROBINET	Christelle	UR ZF	Val de Loire	christelle.robinet@orleans.inra.fr
ROUSSELET	Jérôme	UR ZF	Val de Loire	jerome.rousselet@orleans.inra.fr
RUZAND	SIMON	UERI Gotheron	Saint Marcel les Valence	simon.ruzand@paca.inra.fr
SABATIER	Sylvie	UMR AMAP	MONTPELLIER	sylvie-annabel.sabatier@cirad.fr
SADERI	Seyedeh Masoumeh	LERFOB	Nancy	ssaderi@nancy.inra.fr

Nom	Prénom	Unité	Centre	Adresse Mail
SAUDREAU	Marc	UMR PIAF	Clermont-Ferrand	marc.saudreau@clermont.inra.fr
SCHAFLEITNER	Sadia	UEA TOULENNE	Bordeaux	sschafle@bordeaux.inra.fr
THIBAUDON	Michel	RNSA	BRUSSIEU	rnsa@rnsa.fr
TISON	Marina	UEA TOULENNE	Bourran	tmarina@bordeaux.inra.fr
VANDAME	marc	UMR PIAF	CLERMONT FERRAND	vandame@clermont.inra.fr
VERDUGO-VASQUEZ	Nicolas	Talca Chili	Chili	nverdugo@utalca.cl
VILLAR	Marc	UR 0588 AGPF	Orleans Cedex 2	marc.villar@orleans.inra.fr
VIMONT	Noémie	UMR BFP	Villenave d'ornon	noemie.vimont@bordeaux.inra.fr
VITASSE	Yann	UNINE	Neuchâtel	yann.vitasse@unine.ch
VIVANT	Anne-Charlotte	LSCE	Paris	anne-charlotte.vivant@lsce.ipsl.fr
WENDEN	Bénédicte	UMR BFP	Villenave d'ornon	benedicte.wenden@bordeaux.inra.fr
ZUMSTEIN	Emmanuelle	Pech Rouge	Montpellier	emmanuelle.zumstein@supagro.inra.fr

i cccc