Production d'indicateurs de l'effet du changement climatique

Guillaume Schweitzer

▶ **To cite this version:**

Guillaume Schweitzer. Production d'indicateurs de l'effet du changement climatique. Sciences du Vivant [q-bio]. 2015. dumas-01266614

HAL Id: dumas-01266614

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01266614

Submitted on 3 Feb 2016

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

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

AGROCAMPUS OUEST

☐ **CFR Angers**

☑ **CFR Rennes**

Mémoire de Fin d'Études

☑ d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

☐ de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

☐ d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Année universitaire : 2014 - 2015

Spécialité : Ingénieur Agronome

Spécialisation : Statistiques Appliquées

Production d'indicateurs de l'effet du changement climatique

Par : Guillaume SCHWEITZER

Soutenu à Rennes le 15 juin 2015

Devant le jury composé de :

CHUINE Isabelle, CEFE-CNRS, maître de stage

HUSSON François, Agrocampus-Ouest, président du jury

EMILY Mathieu, Agrocampus-Ouest

Co-encadrants :

CHADOEUF Joël, INRA Avignon

DAVI Hendrik, INRA Avignon

MONESTIEZ Pascal, INRA Avignon

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Remerciements

Je tiens tout d’abords à remercier Isabelle Chuine pour m’avoir permis de faire ce stage. Ce fut un réel plaisir de travailler sur ce sujet avec elle. J'ai beaucoup appris tout au long de ce stage, tant d'un point de vue théorique que d'un point de vue plus technique.

Je tiens également à remercier mes coencadrants, Joël Chadoeuf, Hendrik Davi et Pascal Monestiez pour leur aide toujours rapide et efficace, surtout lorsque j'en avais besoin !

J'aimerais également remercier l'ensemble des équipes DREAM/FORECAST et Bioflux pour leur accueil et leur gentillesse tout au long de mon séjour à Montpellier.

Merci à AgroCampus-Ouest pour m'avoir donné l'occasion de réaliser un stage aussi intéressant, et merci tout particulièrement à Madame Guilloneau pour son impressionante vitesse de réaction.

Merci à l'ensemble du laboratoire de Statistiques qui m'a permis d'arriver jusqu'ici, et tout particulièrement à M. Husson sans qui ce stage n'aurait sans doute pas eu lieu.

Sommaire

Remerciements
Sommaire
Glossaire
Abréviations
Introduction 1
I. Description et traitement des données 3
A. Description des données 3
1. Les données phénologiques 3
2. Les données de température 4
B. Difficultés rencontrées et traitement des données 4
1. Dans les bases de données phénologiques 4
2. Dans les bases de données de température 8
II. Traitement des séries temporelles 11
A. Obtention du modèle numérique de terrain 11
B. Simulation des données de température sur l'ensemble du territoire 11
1. Choix du modèle 11
2. Validation croisée 11
3. Calcul des normales de saison 12
C. Simulation des séries phénologiques 12
1. Modèle linéaire simple et limites 12
2. Modèle mécaniste et effet Chill 14
3. Aires de répartition potentielles 15
III. Mise en place d'indicateurs nationaux 17
Conclusion 19
Bibliographie 20
ANNEXE I : Variables de la base de données finale i
ANNEXE II : Table des couples espèce-évènement dont la couverture temporelle est supérieure à 60% sur la période 1950-2014 ii
ANNEXE III : Espèces retenues pour les analyses iv
ANNEXE IV : Corrélations par mois entre les 11 stations météo v
ANNEXE V : Comparaison entre les normales saisonnières calculées par Météo France et celles issues des simulations ix

Glossaire

- Phénologie : La phénologie des êtres vivants est l'étude de l'apparition d'événements périodiques de leur vie qui est déterminée par les variations saisonnières du climat. Pour les plantes, il s'agit de repérer des stades de développement spécifique, comme la date de floraison d'un individu par exemple.

- Code BBCH : l'abréviation BBCH vient de « Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und CHemische Industrie ». Le code BBCH est une échelle servant à décrire les stades de développement des plantes (à travers les évènements phénologiques) de façon précise.

Code BBCH	Stade correspondant
00-09	Germination, développement des bourgeons
10-19	Développement des feuilles
20-29	Formation de pousses latérales, tallage
30-39	Développement des tiges, croissance des rosettes
40-49	Développement des organes de propagation végétative
50-59	Apparition de l'inflorescence, épiaison
60-69	Floraison
70-79	Fructification
80-89	Maturité des fruits et des graines
90-99	Sénescence et dormance

Abréviations

1. Organismes

- CEFE : Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (www.cefe.cnrs.fr/).
- CGAF – ONF : Conservatoire Génétique des Arbres Forestiers – Office National des Forêts
- CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique (http://www.cnrs.fr/).
- CREA : Centre de Recherche sur les Ecosystèmes d'Altitude (http://creamontblanc.org/).
- ECA&D : European Climate Assessment & Dataset project (http://eca.knmi.nl/). Projet européen qui présente plusieurs résultats d'analyse sur le changement climatique et met à disposition des jeux de données de température. Participe au GHCN-M.
- GDR 2968 SIP-GECC : Groupe De Recherche 2968 Systèmes d'Information Phénologique pour la Gestion et l'Etude des Changements Climatiques.
- IGN : l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (anciennement « Institut Géographique National ») (www.ign.fr).
- MF : Météo-France (http://www.meteofrance.fr/).
- NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration (http://www.noaa.gov/).
- ONERC : Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Impacts-et-adaptation-ONERC-.html).
- ODS : Observatoire Des Saisons (http://www.obs-saisons.fr/).

2. Autres abréviations

- cee (*ou cse*) : Couple Espèce-Evènement phénologique(*ou Species-Event*).
- DOY : Day Of Year, jour Julien de l'année. Il s'agit de la conversion des dates en nombre de jours écoulés depuis le début de l'année. Le 1er janvier correspond au doy 1, le 1er février au doy 32, ainsi de suite, en tenant compte des années bissextiles.
- GHCN-M : Global Historical Climatology Network-Monthly temperature dataset (https://www.ncdc.noaa.gov/ghcnm/). Jeu de données de températures moyennes mensuelles en accès libre mis en place par le NOAA.
- MM : Month Mistake.
- MNT : Modèle Numérique de Terrain. Le modèle utilisé est un MNT fourni par l'IGN avec une résolution de 1km en latitude et longitude donnant l'altitude pour la France (http://professionnels.ign.fr/bdalti).
- PMP : Phenology Modeling Platform. PMP est un logiciel qui permet de paramétrer des modèles phénologiques basés sur les processus.
- RMSEP : Root Mean Squared Error of Prediction (racine carrée de l'erreur quadratique moyenne de prédiction). Utilisés pour évaluer la capacité de prédiction d'un modèle. Se calcule en prenant la racine carrée de la somme des carrés des écarts entre chaque observation et sa prédiction.

Introduction

Au cours des dernières décennies, la recherche en écologie n'a cessé de prendre de l'importance, notamment à travers l'étude du changement climatique qui s'opère en ce moment. De nombreuses branches se sont développées au sein de ce domaine. L'étude des conséquences directes, le développement d'éventuels scénarii des évènements à venir, la mise en place de contre-mesures… Suite aux conclusions de ces différentes études, le réchauffement climatique est devenu une préoccupation mondiale et fait régulièrement l'objet de nouvelles mesures.

C'est ainsi qu'a été mis en place en France le premier Plan National d'Adaptation au Changement Climatique en 2011, en vue de sensibiliser et de préparer la société au réchauffement climatique. Ce PNACC préconise la recherche et la définition d'indicateurs simples permettant de visualiser et de suivre ce changement climatique. De nombreux indicateurs ont été développés suite à ce plan. Devant le manque d'indicateurs en milieu forestier, l'ONERC a mis en place dans le cadre de ce plan le projet SICFOR (Du Suivi aux Indicateurs de Changement climatique en FORêt) (Asse D., Michelot-Antalik A., Landmann G., 2014. Projet SICFOR. Du suivi aux indicateurs de changement climatique en forêt. Paris : Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt - GIP Ecofor. Rapport final, 102 p. Page d'accueil du projet : http://www.gip-ecofor.org/?q=node/905) afin d'étudier la création d'indicateurs dans ce milieu. De nombreux indicateurs ainsi considérés sont basés sur la phénologie.

La phénologie des êtres vivants est l'étude de l'apparition d'événements périodiques de leur vie qui est déterminée par les variations saisonnières du climat. Par exemple, pour les plantes, il s'agit de repérer des stades de développement spécifique, comme la date de floraison d'un individu. En effet, de longues séries phénologiques permettent de mesurer la réponse biologique au niveau de l'espèce au changement climatique (Schwartz M.D. (1999). Advanced to full bloom: planning phenological research for the 21st century. International Journal of Biometeorology, 42, pp. 113–118).

Suite à ce projet, l'ONERC a émis une demande pour la mise en place de certains de ces indicateurs, ce qui a mené à la mise en place de ce stage au sein du Centre d'Ecologie Fonctionelle et Evolutive (CEFE), laboratoire d'écologie situé sur le campus du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) à Montpellier. Le stage se déroule sous la tutelle d'Isabelle Chuine, Directrice de Recherche, au sein de l'équipe Bioflux puis de l'équipe DREAM. M^{me} Chuine est également directrice du Groupe De Recherche 2968 Systèmes d'Information Phénologique pour la Gestion et l'Etude des Changements Climatiques (GDR 2968 SIP-GECC), et a participé au projet SICFOR.

Le but du stage est multiple : vérifier et corriger si possible les données disponibles dans plusieurs bases de données phénologiques mises à disposition, fusionner ces bases en une base unique à partir de laquelle seront générés les indicateurs, et enfin mettre en place les indicateurs les plus adaptés vis-à-vis des données disponibles, à savoir basés sur des séries temporelles longues, et dont la continuité est encore assurée aujourd'hui, le but final étant de mettre à disposition ces indicateurs sur le site de l'ONERC.

Ce rapport s’organisera donc en trois parties suite à cette introduction : une première sur la présentation des données ainsi que le processus de sélection de l’échantillon final de travail, une deuxième partie sur le traitement des séries temporelles retenues, et enfin une troisième partie sur la mise en place des indicateurs finaux, suivie d’une discussion et d’une conclusion.

I. Description et traitement des données

A. Description des données

1. Les données phénologiques

Les données phénologiques, de façon générale, se présentent sous la forme suivante : un individu statistique représente un couple espèce-évènement phénologique (cee) associé à une date, à un site (et/ou des coordonnées géographiques), ainsi qu'à d'autres variables descriptives facultatives. L'ensemble des variables présentes dans les 3 bases de données, qui sont donc les variables qui constitueront la base de données finale, sont présentées en Annexe I.

Voici un exemple :

Nom Scientifique	Code BBCH	Date d'observation	Site d'observation	Latitude	Longitude	Altitude
Syringa vulgaris l.	15	25/03/1931	Arreau	42.9	0.37	730

Les données phénologiques sont issues de trois bases de données distinctes :

- GDR 2968 SIP-GECC
  - 131 888 observations
  - 537 espèces
  - Période : 1349 – en cours
- Observatoire Des Saisons
  - 4 919 observations
  - 45 espèces
  - Période : 2006 – en cours
- Phenoclim (CREA)
  - 9 958 observations
  - 10 espèces
  - Période : 2004 – en cours

La base de données du GDR est principalement une compilation de données provenant d'autres sources, la principale source étant Météo France (MF) qui a mis en place depuis 1880 un programme de suivi des évènements phénologiques des plantes à proximité de certaines stations, mais qui s'est arrêté au début des années 2000. Ceci représente près de 90 000 données de la base. De plus, environ 16 000 données proviennent de relevés viticoles. Les données les plus anciennes proviennent de ces relevés, qui offrent une couverture temporelle impressionnante, avec 98% de la période 1349-2014 couverte par ces données viticoles.

L'Observatoire Des Saisons (ODS) et Phenoclim sont deux programmes de science participative de recueil des données phénologiques, mis en place beaucoup plus récemment, sur des espèces et des évènements phénologiques précis. Ces deux bases

sont donc assez similaires sur la forme des données et leur fonctionnement, mais très différentes de la base GDR.

Les données relatives à chaque individu statistique sont différentes, voire manquantes dans certains cas. Pour la base GDR, le protocole des données Météo France indique que chaque individu statistique est en fait une moyenne des plantes de chaque espèce, mais l'information sur le nombre d'individus constituant cette moyenne et l'écart-type ne sont pas fournis dans la majorité des cas. A contrario, les bases ODS et Phénoclim ne sont pas uniformes : certaines données sont fournies par des parcs et sont des moyennes, tandis que la plupart des données fournies par des bénévoles sont des données individuelles.

Afin de tout harmoniser, les données des bases Phénoclim et ODS ont été agrégées par site d'observation, de sorte que toutes les données soient comparables au sein des deux bases, mais également avec la base GDR. Les nombres d'observation présentés ci-dessus tiennent compte de cette agrégation.

2. Les données de température

Les données de températures utilisées dans un premier temps proviennent de la base du European Climate Assessment & Dataset project (ECA&D). Suite à des besoins pour les calculs, nous avons à partir du site d'ECA&D trouvé le site du National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), qui héberge le jeu de données Global Historical Climatology Network-Monthly temperature dataset (GHCN-M). Ce jeu de données compile des données de températures venant de stations du monde entier sur des périodes très variées.

Les données sont des moyennes mensuelles disponibles les 12 mois de l'année. Les données disponibles pour la France proviennent principalement des relevés de température réalisés par différents aéroports. Toutefois, la couverture temporelle varie fortement en fonction des 43 stations disponibles.

En plus de ces 43 séries de température, nous avons également obtenu indépendamment la série de température de la station Météo France du site du Puy-Chadrac, en Haute-Loire (région Auvergne). Contrairement aux séries mensuelles mentionnées précédemment, cette série est constituée des données quotidiennes. Pour des raisons que nous détaillerons plus loin, ces données ne sont pas compatibles avec les données du GHCN-M, et n'ont donc pas été utilisées dans les analyses globales.

B. Difficultés rencontrées et traitement des données

1. Dans les bases de données phénologiques

a. Month-Mistake

Nous avons rencontré plusieurs difficultés au sein de ces bases de données. Les principales difficultés concernent les données MF de la base GDR. En effet, ces données sont à l'origine stockées sous forme papier, sous le format :

[Jour en chiffre]/[Mois en lettres]/[année en chiffres]

Ces fiches ont ensuite été informatisées à la main, ce qui a entrainé l'introduction de plusieurs types d'erreur, connues dans la littérature scientifique sous le nom de Month-Mistake (MM). Ces erreurs sont très répandues dans les données sous forme de date, issues de recueils manuels d'observation. Ces erreurs peuvent prendre plusieurs formes, plus ou moins faciles à détecter (Schaber J., Badeck F.-W. (2002), Evaluation of methods for the combination of phenological time series and outlier detection, *Tree Physiology*, 22, pp. 973-982). 2 de ces formes sont particulièrement fréquentes, et sont présentes dans les données MF : Les inversions Jour/Mois (ex : 04/11 au lieu de 11/04), et les décalages de mois (décaler par erreur l'observation d'une colonne dans une fiche d'indexation annuelle, ou par faute de frappe. Ex : 24/03 au lieu de 24/04, ou 13/**1**1 au lieu de 13/**0**1).

Ces erreurs sont également présentes dans les bases de données ODS et Phénoclim, bien que moins courante. Une troisième forme de MM y est toutefois plus représentée d'après les commentaires des observateurs : Le décalage de la date d'observation suite à une impossibilité de respecter la périodicité d'observation, ce qui affect grandement les analyses (Miller-Rushing A., Inouye D., Primack R. (2008). How well do first flowering dates measure plant responses to climate change ? The effects of population size and sampling frequency, *Journal Of Ecology*, 96, pp. 1289-1296). En effet, plusieurs commentaires indiquent que l'observation à laquelle ils se réfèrent est faussée suite à une absence, notamment les vacances scolaires pour les observations faites par des classes. Cette erreur est beaucoup plus difficile à traiter que les deux autres car l'écart causé est beaucoup moins important, en général de l'ordre d'une à deux semaines.

Le repérage et la correction de ces trois types d'erreurs s'est fait en de nombreuses étapes, tout au long du stage. Un premier nettoyage massif a permis de corriger les erreurs flagrantes. Nous avons calculé le jour de l'année (DOY) moyen et son écart-type pour chaque cee, puis nous avons repéré les individus qui s'écartaient fortement de l'individu moyen (dans un premier temps à +/- 4 écart-types, puis 3). Ceci a déjà permis d'éliminer ou de corriger plus de 1500 données erronées. Il faut toutefois noter que chaque donnée a dû être étudiée manuellement afin de vérifier si elle était effectivement aberrante, et si c'était le cas, quelle correction appliquer.

Ce système nous a permis de repérer un problème dans ce protocole, à savoir les évènements d'hiver, qui chevauchent les années civiles et faussent donc le calcul des DOY (une observation fin décembre aurait un DOY supérieur à 350, tandis qu'une observation début janvier aurait un DOY inférieur à 10). Il a fallu donc mettre en place un système pour contrevenir à cela, d'où la notion de DOY et d'année corrigés. Alors qu'un DOY est théoriquement compris entre 1 et 365 (366 pour les années bissextiles), nous avons introduits des DOYs corrigés aux observations de fin d'années en leur retirant 365 (ou 366), et en les passant à l'année d'après, pour qu'ils soient enregistrés dans la bonne période, et rendant leur cohérence aux DOYs moyens.

D'autres erreurs ont encore pu être repérées à cause du grand écart-type associé à leur cee, qui indique un nombre important de MM. De cette façon, nous avons éliminé ou corrigé plus de 1800 données. Nous avons par la suite pu éliminer d'autres données grâce aux simulations que nous avons mises en place et qui seront détaillées dans la deuxième partie de ce rapport.

b. Changement de protocole

Sur la période 1880-2002, le protocole de recueil des données MF n'est pas resté le même. Il y a 3 périodes distinctes :

- La période 1880-1885, pour laquelle le protocole est inconnu.
- La période 1886-1930, pour laquelle le protocole est connu, mais détaille peu les critères d'observation, on ne sait donc pas quel stade (et donc code BBCH) de l'évènement phénologique est observé
- La période 1943-1972, pour laquelle le protocole est mieux détaillé.

Il a donc fallu vérifier la continuité des données afin de vérifier qu'il s'agissait bien du même stade phénologique qui était observé sur les 3 périodes. De plus, comme l'indique le laps de temps entre la période 2 et la période 3, le programme a été interrompu pendant la période précédant la Seconde Guerre Mondiale, de 1931 à 1943, ce qui complique la comparaison entre ces périodes pour l'analyse du protocole.

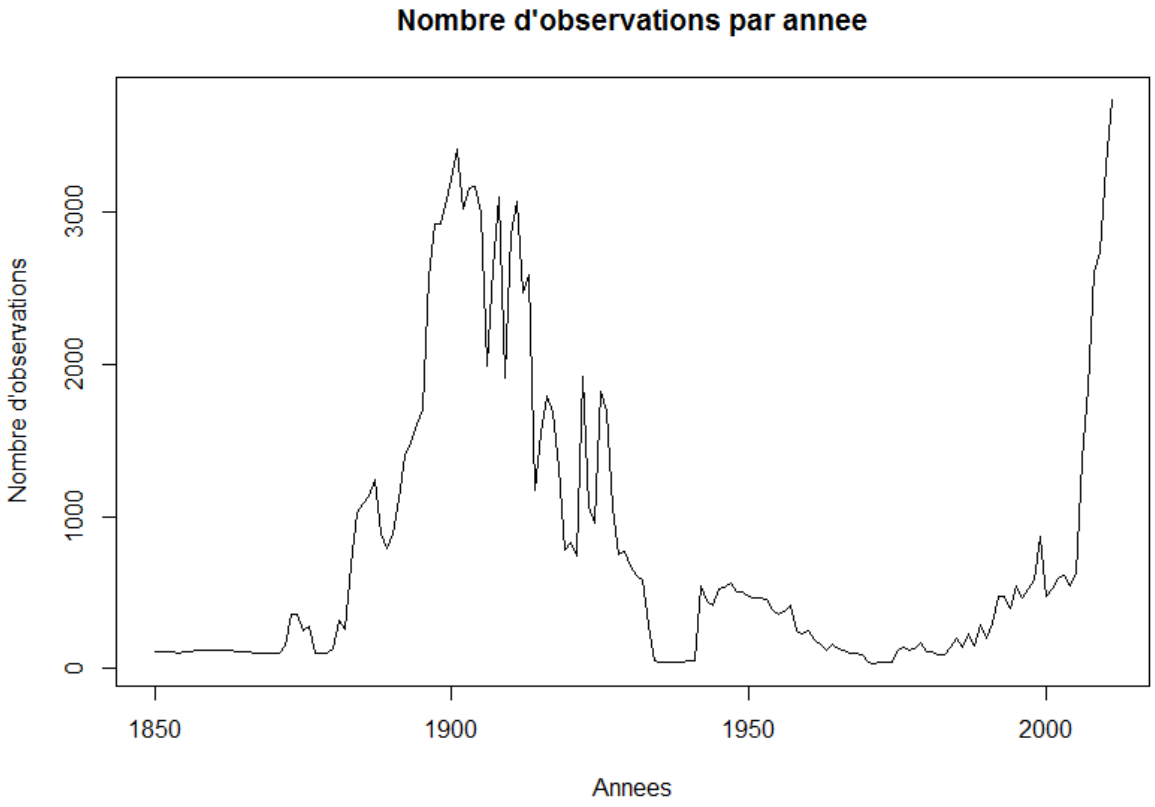
Afin d'essayer de vérifier la continuité du protocole, nous avons essayé d'adapter la méthode du changepoint (ou parfois breakpoint), régulièrement utilisé dans l'étude de séries phénologiques, notamment en vue de repérer un changement de tendance (Guédon Y., Legave J.M. (2008). Analyzing the time-course variation of apple and pear tree dates of flowering stages in the global warming context, *Ecological Modelling*, 219, pp. 189-199). Nous avons donc essayé d'étudier l'existence d'un breakpoint autour des dates de changement de protocole. Nous avons rapidement abandonné l'étude entre la première et la deuxième période, le protocole de la première période étant très mal connu. De plus, cette première période représente un faible volume de données, et il serait donc risqué d'introduire un biais pour apporter si peu de données, ce faible volume rendant également la comparaison entre les protocoles difficiles.

La comparaison entre les périodes 2 et 3 était beaucoup plus importante, vu le grand nombre de données concernées. Toutefois, comme dit précédemment, il y a un laps de temps prolongé entre les deux périodes, ce qui rendrait l'interprétation d'un éventuel breakpoint difficile, entre un changement de protocole, d'observateur suite à la guerre, ou à une première vague de changement climatique vu l'étendue de la période. Les séries n'étant pas régulières sur les différents sites, nous avons réduit le jeu de données au fur et à mesure afin d'améliorer la performance de l'analyse, en ne gardant que les espèces respectant comme critère un nombre conséquent d'observations, ainsi que les sites sur lesquelles les séries sont aussi longues que possibles autour de la Seconde Guerre Mondiale (Qian S., Cuffney T. (2012). To threshold or not to threshold? That's the question, *Ecological Indicators*, 15, pp. 1-9).

Nous avons fini par réduire l'étude au site de Montaigu en Vendée, avec 3 séries phénologiques. Malgré un jeu de données aussi homogénéisé, nous n'avons pas réussi à identifier clairement un breakpoint entre les deux périodes, y compris en utilisant une méthode dérivée où l'on indique les changepoints potentiels. Nous avons donc étudié les séries séparément, et les résultats divergent d'une série à l'autre. 1 série place un changepoint pendant cette période, une autre ne trouve aucun changepoint, et la dernière trouve un changepoint qui ne correspond pas à cette période (résultats non présentés). Au vu de ces résultats, de l'absence de données sur près de 10 ans, et de la faible disponibilité de données de températures avant 1950, nous avons décidé de restreindre le reste du projet à la période 1950-2014.

c. Discontinuités spatiale et temporelles

Comme nous venons de l'évoquer, les séries phénologiques à notre disposition sont spatialisées et discontinues dans le temps, d'où notre restriction à la période 1950-2014. Toutefois, cela ne règle pas ces problèmes de discontinuité. Le graphe 1 montre le nombre d'observations totales par année.



Graphe 1. Répartition de l'ensemble des données sur la période 1850-2014

Comme on peut le constater, il y a très peu de données avant 1880, principalement des données viticoles et quelques autres données agricoles, difficiles à exploiter à cause de l'évolution rapide des cultivars, ainsi qu'à l'intervention directe de l'agriculteur sur les cultures, on parle alors de phases faussées par l'agriculture (Menzel A. et al (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern, Global Change Biology, 12, pp. 1-8).

Le programme de MF commence ensuite et fournit beaucoup de données jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, pendant laquelle on trouve une absence totale de données sur plus de 5 ans. A la fin de la Guerre, le programme MF se remet en place, mais sur moins de stations, et moins d'espèces. Le programme prend fin en 1973 officiellement, mais plusieurs stations continuent encore quelques années, à l'exception de la station de Chadrac, qui continue de fonctionner jusqu'en 2002. Suite à cela, on observe une nouvelle baisse du nombre d'observations par année. Jusqu'au démarrage graduel des programmes de science participative de Phénoclim et de l'ODS, les données disponibles sont des données agricoles.

Afin de respecter les critères de l'ONERC, nous avons donc choisi les quelques cee forestiers pour lesquels nous avions autant de données que possible sur la période 1970-2000, et qui sont présents dans les nouveaux programmes de science participative afin d'assurer la continuité future des séries. Une table de cette couverture temporelle est donnée en Annexe II. Il est important de noter que certaines espèces présentées dans l'Annexe ne sont pas présentes dans la liste ci-dessous car il ne s'agit pas d'espèces forestières, sur lesquelles nous nous concentrons. Cette réflexion a par ailleurs permis de suggérer quelques espèces à ajouter dans ces programmes afin de pouvoir compléter ces séries dans le futur.

Il nous reste donc 5 séries phénologiques :

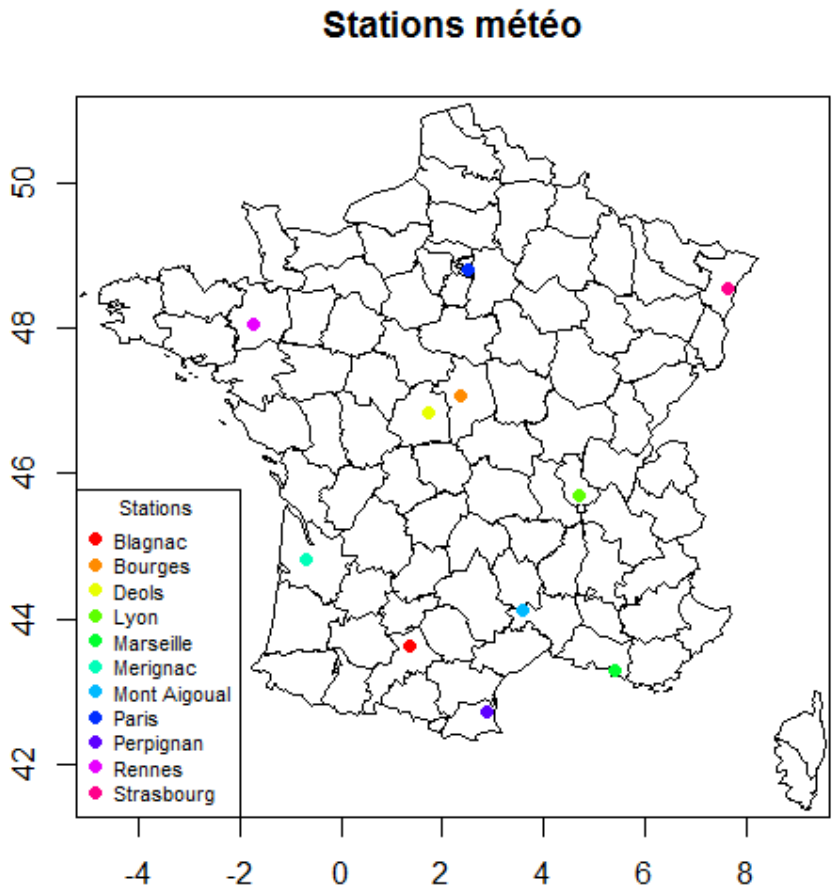
- Aesculus hippocastanum l. – code BBCH 65
- Betula pendula roth. – code BBCH 65
- Robinia pseudoacacia l. – code BBCH 65
- Robinia pseudocacia l. – code BBCH 15
- Syringa vulgaris l. – code BBCH 65

Le nom commun et une image de chacune des espèces se trouvent dans l'annexe III. Ces 4 espèces sont particulières puisqu'il s'agit principalement d'espèces ornementales, qu'on ne trouve pas forcément à l'état sauvage, et ne sont donc pas les plus représentatives du milieu forestier.

Le code BBCH 65 correspond à la date de mi floraison : Environ 50% des fleurs de l'arbre ont fleuri, tandis que le code BBCH 15 correspond à la date à laquelle 50% des bourgeons ont débourré. La répartition spatiale de ces données dans le temps est discontinue, ce qui limite la possibilité de créer un indicateur régional comme on pensait le faire, notamment sur la station de Chadrac, mais l'absence de données proches géographiquement et la discontinuité temporelle sur le site même rendent la tâche compliquée. Nous avons également cherché à compléter les séries à l'aide d'autres séries plus complètes, en particulier la vigne, mais la corrélation entre les séries est trop faible pour être exploitable.

2. Dans les bases de données de température

Tout comme pour les données phénologiques, nous avons fait face à des problèmes de continuité dans la base GHCN-M. Alors que la base contient 43 stations en France, seules 11 stations couvrent la période 1950-2014 (certaines s'arrêtent en fait en 2000, ce qui imposera une restriction supplémentaire plus tard).



Graphe 2. Répartition géographiques des stations de température.

On constate toutefois que les stations en question sont réparties sur l'ensemble du territoire, ce qui réduit le risque de propager un effet lié à un climat localisé. Ces 11 stations serviront de base afin de simuler la température sur l'ensemble de la France. Comme mentionné précédemment, nous disposons également de la série de température du site de Chadrac sur la période 1950-2000. Nous l'avons utilisée pour travailler spécifiquement sur le site de Chadrac où nous avons les séries phénologiques les plus longues, sujet que nous réaborderons dans la seconde partie de ce rapport. Nous nous sommes rendu compte au cours des simulations que la série de Chadrac surestimait systématiquement d'environ 4°C la température que nous simulions sur le site. Nous en avons déduit que l'ajustement des données de températures utilisé par le NOAA pour le GHCN-M était très différent de celui de MF, d'où la nécessité de retirer la série de Chadrac de notre jeu de données de températures, puisque nous n'avions aucun moyen de savoir en quoi les deux ajustements diffèrent vraiment.

Suite à ces conclusions, plusieurs choix se sont ouverts à nous. Le plus simple en théorie aurait été d'extrapoler les séries phénologiques sur l'ensemble du territoire, mais les fortes discontinuités fragilisent le modèle (Miller-Rushing A., Inouye D., Primack R. (2008). How well do first flowering dates measure plant responses to climate change ? The effects of population size and sampling frequency, *Journal Of Ecology*, 96, pp. 1289-1296) et donnent de mauvais résultats. Nous avons donc opté pour un traitement en deux temps : Tout d'abord la création d'une carte nationale des températures moyennes mensuelles, puis à partir de ces températures simulées, l'application d'un

modèle phénologique pour simuler la date d'observation en ce point. Ces deux étapes vont être décrites dans la partie qui suit.

II. Traitement des séries temporelles

A. Obtention du modèle numérique de terrain

Le premier point pour mettre en place ces simulations étaient de trouver un modèle numérique de terrain (MNT) adéquat. Un MNT est un jeu de données associant à chaque couple de longitude et latitude suivant un quadrillage de résolution variable l'altitude correspondante. Nous avons travaillé avec les différents MNT mis à disposition par l'IGN. Plusieurs résolutions sont disponibles, de 75m de résolution à 1km. Nous nous sommes particulièrement penchés sur les résolutions 250m, 500m, et 1000m.

Nous nous sommes vite aperçu que la résolution posait rapidement problème au niveau des temps de calcul, malgré l'utilisation d'un serveur. Nous avons dans un premier temps travaillé avec le MNT de résolution 1km dans le but de créer des scripts fonctionnels afin d'économiser du temps, puis il s'est avéré au cours des analyses que cette résolution convenait à nos attentes. Nous nous sommes donc concentré sur ce MNT, en gardant les scripts suffisamment flexibles pour pouvoir facilement les convertir pour un MNT de meilleure résolution si besoin est.

B. Simulation des données de température sur l'ensemble du territoire

1. Choix du modèle

Nous avons commencé par comparer les 11 stations météo. Nous avons notamment observé les corrélations entre les stations, par moi (Annexe IV). Bien que très variables d'un mois à l'autre, elles restent fortes. Comme nous cherchions un modèle aussi simple que possible, nous avons créé un modèle linéaire simple basé sur la latitude, la longitude et l'altitude en un point à simuler et les températures pour le mois et l'année à simuler des 11 stations (Guédon Y., Legave J.M. (2008). Analyzing the time-course variation of apple and pear tree dates of flowering stages in the global warming context, *Ecological Modelling*, 219, pp. 189-199)

$$\mathbf{T_{simul}(m,y,lat,lg,alt) \sim Constante + Latitude + Longitude + Altitude + \sum_{i=1}^{11} Ti(m,y)}$$

Où

- $T_{simul}(m,y,lat,lg,alt)$ est la température simulée pour le mois m de l'année y pour chaque point du MNT
- Ti(m,y) la température moyenne du mois m de l'année y à la station i

Ceci signifie que la Température simulée est une fonction des coordonnées géographiques ajustant une constante et une moyenne des températures des 11 stations.

2. Validation croisée

Nous avons donc créé ce modèle à partir de nos 11 stations, puis nous l'avons testé sur les stations du GHCN-M que nous avons exclues. Les résultats obtenus sont présentés dans la table 1.

Mois	Erreur absolue moyenne	RMSEP	Ecart-type
Octobre	0,73	0,94	3,82
Novembre	0,94	1,23	3,80
Décembre	1,07	1,37	3,86
Janvier	1,08	1,43	4,00
Février	0,86	1,15	4,50
Mars	0,65	0,88	4,01
Avril	0,60	0,83	3,96
Mai	0,67	0,95	4,00

Table 1. Résultats de la validation croisée sur le modèle de température

Comme on peut le constater, les RMSEP sont peu élevés, et assez faibles comparés à l'écart-type des données. Ceci traduit une bonne capacité de prédiction, avec des erreurs de prédiction qui dépassent rarement 1 en moyenne. Ce sont de très bons résultats compte tenu du fait que le modèle n'est basé que sur 11 stations.

Remarque : Seuls huit mois sur douze sont présents dans ce tableau. Comme on le verra plus tard, il s'agit des huit mois utilisés pour simuler les séries phénologiques.

3. Calcul des normales de saison

Afin de vérifier que nos données simulées sont proches de la réalité, nous avons voulu les comparer à d'autres cartes nationales. Des cartes de normales saisonnières sont disponibles sur le site de Météo France (http://www.meteofrance.fr/documents/10192/ 35608/27754-43.jpg/). Nous avons donc décidé de les reproduire à partir de nos données simulées afin de comparer les tendances des cartes. Nous sommes toutefois limités à la période 1981-2000. Les cartes de MF et les cartes que nous avons obtenues sont disponibles en Annexe V. Malgré une difficulté à ajuster de la même façon les échelles de couleurs et le fait que nos cartes ne couvrent pas la même période que MF, on constate une forte ressemblance entre les cartes, jusqu'à repérer des zone climatiques identiques. Ceci nous conforte dans la qualité de cette simulation de températures.

C. Simulation des séries phénologiques

1. Modèle linéaire simple et limites

Contrairement à l'étude de la température où le modèle s'imposait facilement, le modèle simuler les séries phénologiques est plus complexe. En effet, si l'on sait que la relation entre le déroulement des évènements phénologiques et la température est très forte (Rutishauser T., Luterbacher J., Defila C., Frank D., Wanner H. (2008), Swiss spring plant phenology 2007: Extremes, a multi-century perspective, and changes in temperature sensitivity, *Geophysical Research Letters*, 35), on sait également que d'autres facteurs entrent également en compte et sont beaucoup plus difficiles à mesurer, en l'occurrence l'historique des évènements phénologiques précédents (Miller-Rushing A., Inouye D., Primack R. (2008). How well do first flowering dates measure plant responses to climate change ? The effects of population size and sampling frequency, *Journal Of Ecology*, 96, pp. 1289-1296), la précocité de l'évènement (Menzel A., Sparks T.H., Estrella N., Roy D.B. (2006). Altered geographic and

temporal variability in phenology response to climate change, *Global Ecology and Biogeography*, 15(5), pp. 498-504), ou encore les Oscillations Nord-Atlantiques (Cook B., Smith T., Mann M. (2005). The North Atlantic Oscillation and regional phenology prediction over Europe, *Global Change Biology*, 11, 919–926), pour lesquelles les observations n'ont commencé que récemment et sont donc difficiles à incorporer dans un modèle.

Afin de pouvoir évaluer les différents modèles que nous souhaitions tester, nous nous sommes concentrés sur le site de Chadrac, puisque c'est la seule station pour laquelle nous avons des données de 1975 à 2002. Nous avons commencé avec un modèle linéaire simple expliquant le DOY de l'évènement en fonction de la température du mois usuel durant lequel se produit l'évènement ainsi que les deux mois précédents (Menzel A. *et al* (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern, *Global Change Biology*, 12, pp. 1-8).

$$\mathbf{DOY_y \sim T_m(y) + T_{m-1}(y) + T_{m-2}(y)}$$

Où m est le mois usuel d'observation de l'évènement phénologique pour l'année y

Remarque : Le modèle a été testé avec un effet année en plus, au cas où une adaptation des arbres au changement climatique serait déjà visible dans le temps, mais ce n'est pas le cas. L'effet année a donc été complètement retiré du modèle, les variations annuelles étant confondues avec les données de température.

Bien que ce modèle nous ait permis de repérer d'autres MM probables, le modèle lui-même est de mauvaise qualité, avec le R^2 le plus élevé inférieur à 0,3 pour Syringa vulgaris l. en éliminant des données trop éloignées.

Ce modèle étant couramment utilisé dans la littérature, nous n'avons pas compris pourquoi il obtenait de si mauvais résultats. Nous avons donc essayé plusieurs techniques afin d'expliquer cette mauvaise performance, notamment l'application de modèle ARIMA aux données afin d'essayer d'isoler une périodicité des données ou un effet du temps qui pourrait expliquer pourquoi le modèle linéaire ne fonctionne pas. Ces recherches ont abouti à des résultats inhabituels, le modèle ARIMA optimisant la vraisemblance et le critère d'akaike étant un modèle à une différenciation, aucun terme d'auto-régression, et 8 termes de moyenne mobile, qui indiquerait une structure extrêmement complexe et inhabituelle des données. Nous n'avons donc pas poussé plus loin la recherche de ces modèles, mais cela nous a avertis d'une possible structuration des données qu'il faudrait surveiller.

Afin de mieux comprendre cela, nous avons récupéré les données de température de la station de Chadrac directement par Météo France, pour être sûr qu'il n'y a aucune erreur dans les données de température simulées. Les températures exactes n'apportent qu'un gain minime en termes de R^2, et nous avons donc eu recours à un modèle mécaniste mis en place sur le logiciel PMP, comme le recommande la littérature (Rutishauser T., Luterbacher J., Defila C., Frank D., Wanner H. (2008), Swiss spring plant phenology 2007: Extremes, a multi-century perspective, and changes in temperature sensitivity, *Geophysical Research Letters*, 35). Nous avons donc dû nous procurer les données de températures quotidiennes pour le site de Chadrac nécessaires au fonctionnement du modèle mécaniste.

2. Modèle mécaniste et effet Chill

Bien qu'idéal du point de vue de la simulation, ce modèle mécaniste prend énormément de temps pour faire tourner une simulation d'une série phénologique à une seule location, et nécessite beaucoup plus de données que nous n'en possédons. Il était donc impossible de l'utiliser pour l'ensemble de la simulation et n'avait pour but que de nous aider à comprendre les mauvaises performances de notre modèle. Il s'est avéré que le modèle linéaire que nous avions construit ne suffisait pas. En effet, en plus d'un modèle simple basé sur les températures des jours précédant l'évènement phénologique, nous avons également fait tourner un modèle prenant en compte l'effet Chill, qui apparait également dans la littérature scientifique (Aono Y., Saito S. (2010). Clarifying springtime temperature reconstructions of the medieval period by gap-filling the cherry blossom phenological data series at Kyoto, Japan, *International Journal of Biometeorology*, 54(2), pp. 211-219).

Cet effet Chill correspond à une accumulation de froid pendant la période hivernale qui a un effet sur la levée de dormance du bourgeon. Cet effet avait été complètement écarté au début de nos analyses car nous pensions qu'il serait négligeable, comme cela apparaissait dans plusieurs publications. Il est apparu qu'il est au contraire très important pour nos quatre espèces, le modèle mécaniste expliquant beaucoup mieux la variabilité des données. Les résultats de cette analyse sont présentés dans les tables 2 et 3, sans et avec nettoyage des données suspectes.

	Aesculus		Betula		Syringa		Robinia_15		Robinia_65	
	Basique	Chill	Basique	Chill	Basique	Chill	Basique	Chill	Basique	Chill
SStot	2992	2992	8322	8322	2402	2402	2467	2467	2535	2535
SSres	2533	1479	8265	3766	1868	1007	2125	1394	2518	1125
RMSE	7,5	5,7	16,6	11,2	6,7	4,9	7,8	6,3	8,7	5,8
EFF	0,15	0,51	0,01	0,55	0,22	0,58	0,14	0,44	0,01	0,56
NbObs	45	45	30	30	42	42	35	35	33	33

Table 2. Comparaison des résultats des modèles mécanistes avec ou sans prendre en compte l'effet Chill, en utilisant les données brutes (SStot : Somme des carrés totaux ; SSres : Somme des carrés de la résiduelle, RMSE : Identique aux RMSEP, EFF : « efficacité » du modèle, c'est-à-dire la part de variabilité expliquée (équivalent à un R^2), NbObs : Nombre d'observations utilisées pour l'ajustement du modèle).

	Aesculus		Betula		Syringa		Robinia_15		Robinia_65	
	Basique	Chill	Basique	Chill	Basique	Chill	Basique	Chill	Basique	Chill
SStot	1679	1596	3977	3977	2233	2233	1021	1021	2068	2068
SSres	1411	707	1155	321	1004	535	957	543	2068	491
RMSE	5,8	4,2	7,2	3,8	5,1	3,7	5,6	4,3	8,4	4,1
EFF	0,16	0,56	0,71	0,92	0,55	0,76	0,06	0,47	0,00	0,76
NbObs	42	41	22	22	39	39	30	30	29	29

Table 3. Comparaison des résultats des modèles mécanistes avec ou sans prendre en compte l'effet Chill, en utilisant les données nettoyées (même légende).

Ces résultats sont encourageant, même s'ils invalident notre modèle, ils nous rassurent quand à nos données, dont nous commencions à douter. En effet, le simple fait

d'ajouter l'effet Chill permet de faire passer le R^2 à environ 0,5, et l'effet est encore plus flagrant sur les données nettoyées ou l'ajustement se devient excellent pour Betula pendula roth., et plutôt bon pour Syringa et Robinia, dans le cas de la floraison, mais beaucoup moins bon dans le cas de la feuillaison. Suite à cela et à d'autres doutes sur la qualité des données, nous avons décidé de laisser le couple Robinia – code BBCH 15 de côté. Mais bien que cela soit rassurant vis-à-vis de la qualité des données, cela nous complique fortement la tâche, l'effet Chill étant difficile à utiliser avec nos données. L'effet Chill correspond à une accumulation de froid en dessous d'un certain seuil, ce qui le rend très difficile à estimer sans les données de température quotidiennes.

Nous avons donc essayé un nouveau modèle linéaire prenant en compte les températures des mois d'automne et d'hiver précédant l'évènement phénologique afin de tester les simulations. Comme dit plus haut, ce modèle est loin d'être aussi efficace que le modèle mécaniste, mais il offre toujours une meilleure performance que le premier modèle. La table 4 présente les résultats obtenus à partir d'une validation croisée en Leave-One-Out (LVO) en utilisant ce modèle à partir des données de température simulées pour chaque observation.

Espece	RMSEP	Ecart-type
Aesculus hippocastanum l.	8,2	11,6
Betula pendula roth.	7,3	9,6
Robinia pseudoacacia l.	11,3	15,4
Syringa vulgaris l.	7,0	10,9

Table 4. Résultats de la validation croisée en LVO avec le modèle prenant en compte l'effet Chill

Comme le montre la table 4, la précision de la simulation est beaucoup moins bonne qu'avec le modèle mécaniste, mais les RMSEP restent tout de même inférieurs aux écart-types des séries, ce qui signifie que la prédiction n'est pas de si mauvaise qualité, et convient aux objectifs que nous nous sommes fixés vis-à-vis de l'ONERC. Ce modèle a par ailleurs permis de trancher à propos de plusieurs données où le doute subsistait sur une possible MM.

3. Aires de répartition potentielles

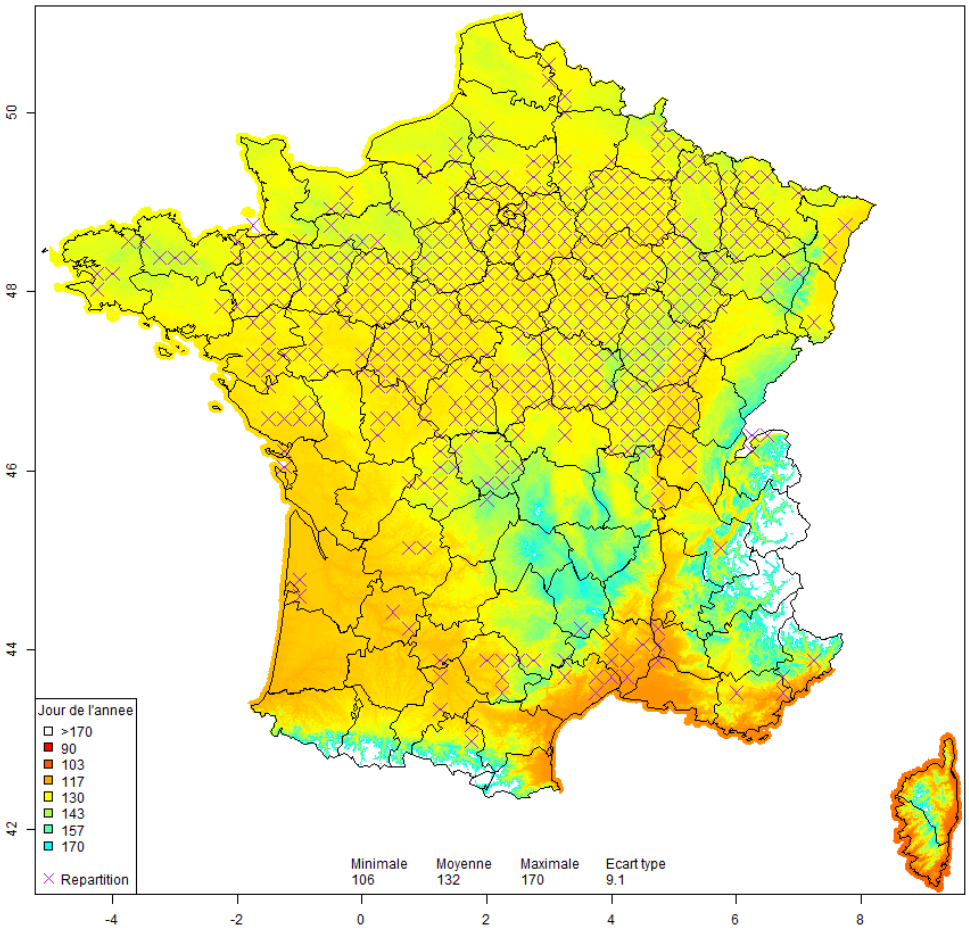
Grâce à ce modèle, nous avons pu créer des cartes indiquant les dates auxquelles ont eu lieu les différents évènements par espèce et par année. Toutefois, ces cartes sont légèrement faussées dans la mesure où elles simulent les DOYs en tout point de la carte, y compris à des endroits aberrants, comme en haute altitude dans les alpes. Si ce point est facile à corriger en plaçant un DOY limite à partir duquel les simulations sont bloquées afin de ne pas déséquilibrer les moyennes calculées, il n'en reste pas moins que les espèces étudiées ne sont pas répandues dans toute la France et sont limitées à des aires de répartition propres à chaque espèce.

Nous avons obtenu grâce à M. Hervé Le Bouler, du département R&D du CGAF – ONF, plusieurs fichiers permettant d'établir une zone de répartition potentielle des 4 espèces concernées. Il a fallu fusionner ces fichiers par espèce et superposer une grille afin de les rendre exploitables d'un point de vue graphique. Ces aires de répartition permettent d'indiquer où l'on est à peu près sûr que l'espèce en question est présente

(ou a été présente) en France. Toutefois, il s'agit d'un travail de compilation, et il est donc tout à fait possible que la liste ne soit pas encore exhaustive.

Grâce à ces fichiers et à quelques formatages, nous avons donc pu créer des grilles indiquant la répartition des espèces sur nos cartes. Le graphe 4 montre un exemple de carte.

Dates de mi-floraison d'Aesculus Hippocastanum L. en France, année 1951

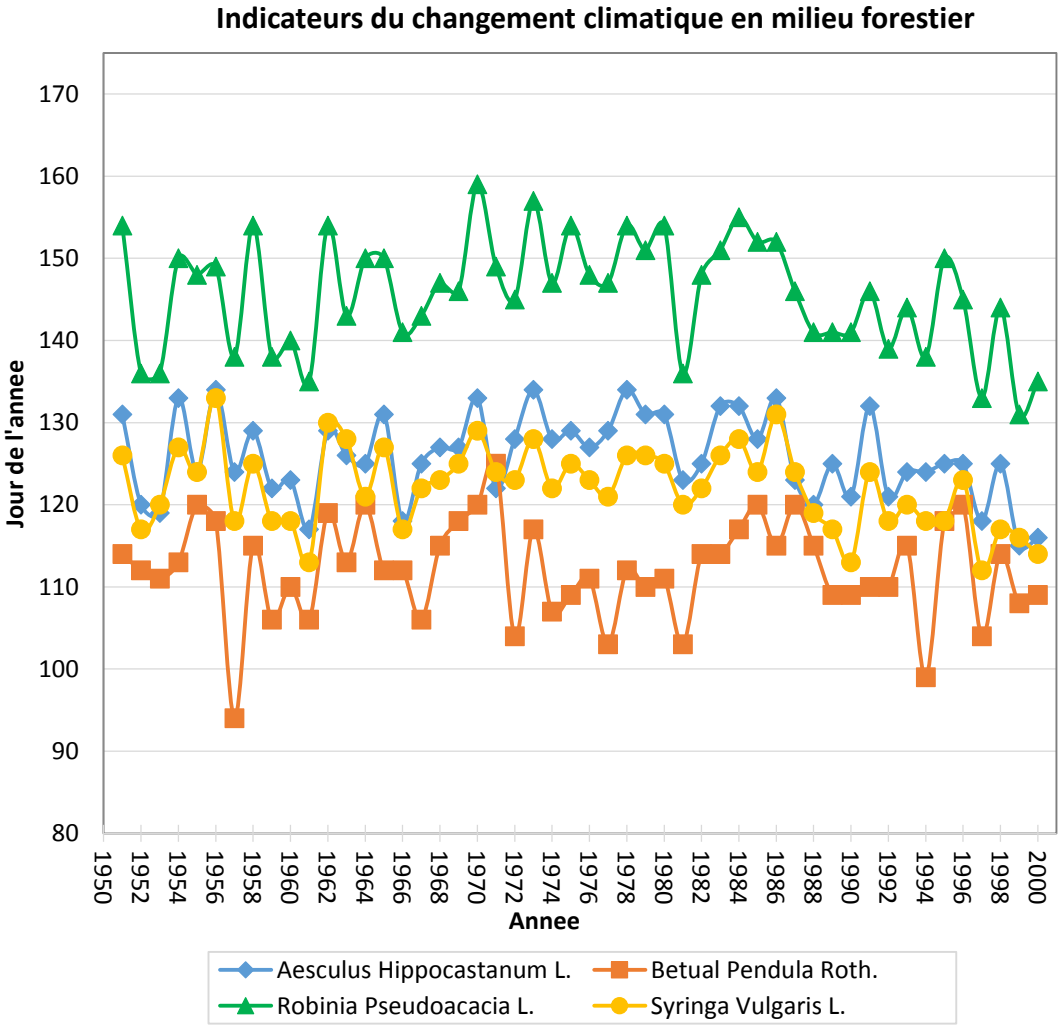


Graphe 4. Carte de répartition des dates de mi-floraison (code BBCH 65) d'Aesculus Hippocastanum L. pour l'année 1951.

III. Mise en place d'indicateurs nationaux

Nous avons initialement pensé calculer l'indicateur national simplement en faisant la moyenne de l'ensemble des valeurs simulées, ce qui donnerait une méthode d'estimation relativement stable dans le temps. Toutefois, l'acquisition des aires de répartition nous a permis de créer un indicateur beaucoup plus ciblé. Plutôt que de faire une moyenne sur l'ensemble des DOYs simulés, nous avons choisi de ne garder que le DOY simulé en chaque point de la grille d'aire de répartition et d'en faire la moyenne. La valeur obtenue sera donc beaucoup plus réaliste vis-à-vis de l'ensemble des données.

Le désavantage de cette méthode est qu'il faut recalculer l'ensemble de la série si l'on modifie le fichier d'aire de répartition. Toutefois, cela ne devrait pas arriver trop souvent, et le temps de calcul resterait court. Les résultats actuels sont affichés dans le graphe 5.



Graphe 5. Indicateurs forestiers nationaux.

Les indicateurs variant fortement d'une année sur l'autre, il est difficile d'extraire une tendance de ces indicateurs. La courbe de tendance n'est pas significative, mais on semble tout de même noter des valeurs particulièrement tardives pendant les années 1970, ce qui correspondrait à une baisse des températures et donc un retard des

évènements phénologiques. En revanche, les courbes semblent avoir une tendance à la baisse à l'approche des années 2000, ce qui correspondrait à un réchauffement. Ces indicateurs ne permettent donc pas d'évaluer clairement le changement climatique, mais ils mettent tout de même des tendances en avant.

Conclusion

Le but de ce stage était principalement de produire plusieurs indicateurs du changement climatique en milieu forestier à partir de bases de données phénologiques. Ceci nous a permis de nettoyer une bonne partie des bases de données phénologiques, avec près de 2000 corrections apportées, principalement sur les séries d'intérêt.

Malgré les problèmes de discontinuités spatiale et temporelle qui nous ont forcés à réduire le volume de données sur lesquelles travailler, nous avons réussi à mettre en place deux modèles de simulation de données capables de compenser ces discontinuités. Le modèle de simulation de température est particulièrement performant et pourra aisément être réutilisé dans d'autres études. Le modèle de simulation d'évènements phénologiques est moins précis, mais permet de donner un ordre de grandeur correct des dates d'évènements phénologiques, et permet de mettre en place des indicateurs assez robustes.

Bien que n'étant pas les indicateurs idéaux, les 4 espèces que nous avons étudiées permettent à priori de réaliser un suivi des effets du changement climatiques sur le milieu forestier, et surtout ont permis de créer toute une méthode qui pourra être réutilisée dans le futur pour ajouter d'autres indicateurs, que ce soit pour renforcer le nombre d'indicateur en milieu forestier, mais aussi possiblement pour mettre en place des indicateurs relatifs à d'autres milieux.

En plus de ces quatre séries d'indicateurs, le stage a également abouti à la production des différentes cartes de évènements phénologiques, qui donnent un aspect plus visuel et donc peut-être un peu moins abstrait que les séries chiffrées des indicateurs nationaux, et seront à priori également utilisées par l'ONERC.

Il est par contre dommage que nous n'ayons pas eu plus de temps ainsi que les données de température pour la période 2000-2014 qui aurait permis d'inclure les données des bases ODS et Phénoclim dans les modèles. Cela aurait apporté un nombre important d'observations supplémentaires, ce qui aurait permis d'améliorer la robustesse des modèles.

De même, le modèle de simulation des évènements phénologiques mériterait d'être encore amélioré. Il est suffisamment performant pour nous permettre d'établir les indicateurs demandés par l'ONERC, le but étant de garder un modèle simple et flexible qui s'adapte facilement aux données, mais il serait appréciable de développer un modèle plus adapté à l'effet Chill, qui joue un rôle bien plus important que prévu dans les évènements phénologiques, notamment dans la floraison. Et si l'on en améliore suffisamment la performance, il sera peut-être possible de travailler avec d'autres séries dont la couverture temporelle est moins bonne.

Bibliographie

Aono Y., Saito S. (2010). Clarifying springtime temperature reconstructions of the medieval period by gap-filling the cherry blossom phenological data series at Kyoto, Japan, *International Journal of Biometeorology*, 54(2), pp. 211-219

Cook B., Smith T., Mann M. (2005). The North Atlantic Oscillation and regional phenology prediction over Europe, *Global Change Biology*, 11, 919–926

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

Menzel A., Sparks T.H., Estrella N., Koch E., Aasa A., Ahas R., Alm-Kübler K., Bissolli P., Braslavská O., Briede A., Chmielewski F.M., Crepinsek Z., Curnel Y., Dahl Å., Defila C., Donnelly A.,Filella Y., Jatczak K., Måge F., Mestre A., Nordli Ø., Peñuelas J., Pirinen P., Remišová V.,Scheifinger H., Striz M., Susnik A., Van Vliet A.J.H., Wielgolaski F.E., Zach S., Zust A. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern, *Global Change Biology*, 12, pp. 1-8

Menzel A., Sparks T.H., Estrella N., Roy D.B. (2006). Altered geographic and temporal variability in phenology response to climate change, *Global Ecology and Biogeography*, 15(5), pp. 498-504

Miller-Rushing A., Inouye D., Primack R. (2008). How well do first flowering dates measure plant responses to climate change ? The effects of population size and sampling frequency, *Journal Of Ecology*, 96, pp. 1289-1296

Qian S., Cuffney T. (2012). To threshold or not to threshold? That's the question, *Ecological Indicators*, 15, pp. 1-9

Rutishauser T., Luterbacher J., Defila C., Frank D., Wanner H. (2008), Swiss spring plant phenology 2007: Extremes, a multi-century perspective, and changes in temperature sensitivity, *Geophysical Research Letters*, 35

Schaber J., Badeck F.-W. (2002), Evaluation of methods for the combination of phenological time series and outlier detection, *Tree Physiology*, 22, pp. 973-982

Schwartz M.D. (1999). Advanced to full bloom: planning phenological research for the 21st century. *International Journal of Biometeorology*, 42, pp. 113-118.

ANNEXE I : Variables de la base de données finale

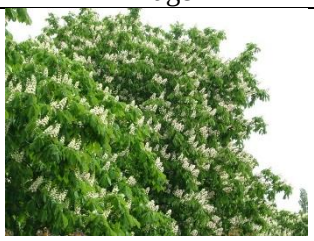
Variable	Description
Nom Scientifique	Nom scientifique de l'espèce de l'individu
Famille	Famille à laquelle appartient l'espèce
Genre	Genre de l'espèce
Type d'espèce	Type de l'espèce (Arbre fruitier, arbre sauvage, culture, herbacée sauvage)
Evènement	Evènement phénologique correspondant à l'observation
Code BBCH	Code BBCH indiquant le stade de l'évènement phénologique de l'observation
Date d'observation	Date à laquelle l'évènement a été observé
Mois d'observation	Mois correspondant
Année corrigée	Année correspondante corrigée pour les évènements hivernaux
DOY corrigé	Conversion en jour julien de l'année avec correction pour les évènements hivernaux
Ecart-type	Ecart-type associé à la date moyenne d'observation
Nombre d'individus	Nombre d'individus constituant la moyenne
Source de la donnée	Identifiant de la base de données dont provient l'observation (GDR, ODS, Phenoclim)
Identifiant de l'observateur	Identifiant de l'observateur
Site d'observation	Site où l'observation a été réalisée
Environnement de l'individu	Environnement dans lequel l'individu a été observé (ex : Arboretum, bosquet, jardin…)
Classe environnementale	Classe plus générique pour décrire l'environnement (ex : urbain, forêt…)
Latitude	Latitude en degrés décimaux du site d'observation
Longitude	Longitude en degrés décimaux du site d'observation
Altitude	Altitude en mètres du site d'observation
Département	Département où se situe le site d'observation
Périodicité des observations	Périodicité d'observation de l'individu (ex : quotidienne, hebdomadaire…)
Niveau d'observation	Niveau d'observation (ex : individu seul, groupement d'individus…)
Commentaire facultatif	Commentaire facultatif fourni par l'observateur

ANNEXE II : Table des couples espèce-évènement dont la couverture temporelle est supérieure à 60% sur la période 1950-2014

Espece	BBCH	an.min	an.max	type	Couverture temporelle totale
aesculus hippocastanum l.	65	1880	2014	nombre obs.	968
				couverture (%)	*86,7*
syringa vulgaris l.	65	1880	2014	nombre obs.	1128
				couverture (%)	*85,2*
vitis vinifera l.	89	1349	2007	nombre obs.	16931
				couverture (%)	*98,0*
robinia pseudoacacia l.	15	1883	2014	nombre obs.	807
				couverture (%)	*81,8*
aesculus hippocastanum l.	11	1880	2014	nombre obs.	100
				couverture (%)	*43,7*
robinia pseudoacacia l.	65	1883	2014	nombre obs.	812
				couverture (%)	*81,1*
betula pendula roth.	11	1880	2014	nombre obs.	502
				couverture (%)	*47,4*
betula pendula roth.	65	1881	2014	nombre obs.	877
				couverture (%)	*77,6*
sambucus nigra l.	65	1880	2002	nombre obs.	1240
				couverture (%)	*89,4*
colchicum multiflorum brot.	65	1883	2000	nombre obs.	451
				couverture (%)	*86,4*
tussilago farfara l.	65	1881	2002	nombre obs.	550
				couverture (%)	*85,2*
betula pendula roth.	95	1873	2014	nombre obs.	963
				couverture (%)	*69,7*
quercus robur l.	65	1881	2012	nombre obs.	887
				couverture (%)	*73,5*

Espece	BBCH	type	[1950-2014]	[1950-1960[	[1960-1970[	[1970-1980[	[1980-1990[	[1990-2000[	[2000-2010[	[2010-2014]
aesculus hippocastanum l.	65	nombre obs.	179	86	24	5	10	10	8	36
		couverture (%)	*93,8*	*100,0*	*100,0*	*50,0*	*100,0*	*100,0*	*50,0*	*100,0*
syringa vulgaris l.	65	nombre obs.	282	91	27	5	8	10	42	99
		couverture (%)	*90,6*	*100,0*	*100,0*	*50,0*	*80,0*	*100,0*	*50,0*	*100,0*
vitis vinifera l.	89	nombre obs.	1600	235	257	338	286	299	185	0
		couverture (%)	*90,6*	*100,0*	*100,0*	*100,0*	*100,0*	*100,0*	*80,0*	*0,0*
robinia pseudoacacia l.	15	nombre obs.	136	58	19	4	9	6	7	33
		couverture (%)	*84,4*	*100,0*	*100,0*	*40,0*	*90,0*	*60,0*	*50,0*	*100,0*
aesculus hippocastanum l.	11	nombre obs.	87	7	6	5	9	10	12	38
		couverture (%)	*82,8*	*70,0*	*60,0*	*50,0*	*90,0*	*100,0*	*60,0*	*100,0*
robinia pseudoacacia l.	65	nombre obs.	136	63	22	5	9	5	6	26
		couverture (%)	*82,8*	*100,0*	*100,0*	*50,0*	*90,0*	*50,0*	*40,0*	*100,0*
betula pendula roth.	11	nombre obs.	484	6	10	6	4	10	153	295
		couverture (%)	*79,7*	*60,0*	*100,0*	*50,0*	*30,0*	*100,0*	*70,0*	*100,0*
betula pendula roth.	65	nombre obs.	127	46	20	7	5	5	9	35
		couverture (%)	*75,0*	*100,0*	*100,0*	*50,0*	*40,0*	*50,0*	*40,0*	*100,0*
sambucus nigra l.	65	nombre obs.	121	76	17	5	10	10	3	0
		couverture (%)	*75,0*	*100,0*	*100,0*	*50,0*	*100,0*	*100,0*	*30,0*	*0,0*
colchicum multiflorum brot.	65	nombre obs.	107	59	24	5	10	8	1	0
		couverture (%)	*68,8*	*100,0*	*100,0*	*50,0*	*100,0*	*80,0*	*10,0*	*0,0*
tussilago farfara l.	65	nombre obs.	93	55	10	5	10	10	3	0
		couverture (%)	*67,2*	*100,0*	*50,0*	*50,0*	*100,0*	*100,0*	*30,0*	*0,0*
betula pendula roth.	95	nombre obs.	495	48	17	7	1	0	192	230
		couverture (%)	*64,1*	*100,0*	*90,0*	*50,0*	*10,0*	*0,0*	*60,0*	*100,0*
quercus robur l.	65	nombre obs.	88	42	15	6	5	0	11	9
		couverture (%)	*60,9*	*100,0*	*100,0*	*50,0*	*50,0*	*0,0*	*30,0*	*60,0*

ANNEXE III : Espèces retenues pour les analyses

Nom scientifique	Nom commun	Image
Aesculus hippocastanum l.	Marronnier blanc	 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bf/Kasztan_oo007.JPG
Betula pendula roth.	Bouleau pleureur	http://www.iucnredlist.org/details/62535/0
Robinia pseudoacacia l.	Robinier faux-acacia	http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8e/Rispe_wei%C3%9Fer_Bl%C3%BCten.JPG
Syringa vulgaris l.	Lilas commun (ou lilas français)	http://luirig.altervista.org/cpm/albums/bot-003/syringa-vulgaris2236.jpg

ANNEXE IV : Corrélations par mois entre les 11 stations météo.

JANVIER	blagn	bourg	deols	lyon	marse	merig	mtaig	paris	perpi	renne	stras
blagn		85,4%	81,8%	84,9%	86,9%	94,8%	64,7%	69,1%	92,4%	74,2%	50,5%
bourg	85,4%		98,7%	93,4%	77,7%	92,9%	66,1%	93,2%	86,1%	95,3%	81,3%
deols	81,8%	98,7%		92,1%	72,9%	91,3%	63,5%	94,0%	83,3%	96,1%	82,8%
lyon	84,9%	93,4%	92,1%		81,3%	88,1%	62,5%	84,5%	83,5%	84,5%	77,9%
marse	86,9%	77,7%	72,9%	81,3%		79,9%	81,5%	66,8%	84,9%	68,1%	51,2%
merig	94,8%	92,9%	91,3%	88,1%	79,9%		59,5%	80,8%	91,0%	86,8%	64,1%
mtaig	64,7%	66,1%	63,5%	62,5%	81,5%	59,5%		65,2%	69,5%	64,7%	52,1%
paris	69,1%	93,2%	94,0%	84,5%	66,8%	80,8%	65,2%		75,9%	96,4%	89,8%
perpi	92,4%	86,1%	83,3%	83,5%	84,9%	91,0%	69,5%	75,9%		80,2%	58,7%
renne	74,2%	95,3%	96,1%	84,5%	68,1%	86,8%	64,7%	96,4%	80,2%		82,0%
stras	50,5%	81,3%	82,8%	77,9%	51,2%	64,1%	52,1%	89,8%	58,7%	82,0%	

FEVRIER	blagn	bourg	deols	lyon	marse	merig	mtaig	paris	perpi	renne	stras
blagn		94,5%	94,4%	94,9%	96,3%	98,8%	91,7%	89,1%	95,8%	89,3%	85,1%
bourg	94,5%		99,2%	97,7%	95,1%	95,9%	88,2%	96,5%	94,9%	96,5%	94,0%
deols	94,4%	99,2%		97,6%	94,7%	96,2%	88,4%	95,8%	94,8%	97,0%	93,5%
lyon	94,9%	97,7%	97,6%		95,2%	96,0%	87,1%	93,1%	93,4%	93,3%	92,9%
marse	96,3%	95,1%	94,7%	95,2%		95,9%	93,5%	91,1%	95,1%	90,6%	87,6%
merig	98,8%	95,9%	96,2%	96,0%	95,9%		91,2%	90,7%	96,0%	92,4%	87,4%
mtaig	91,7%	88,2%	88,4%	87,1%	93,5%	91,2%		86,8%	90,7%	84,4%	80,2%
paris	89,1%	96,5%	95,8%	93,1%	91,1%	90,7%	86,8%		92,0%	97,2%	96,1%
perpi	95,8%	94,9%	94,8%	93,4%	95,1%	96,0%	90,7%	92,0%		91,8%	86,7%
renne	89,3%	96,5%	97,0%	93,3%	90,6%	92,4%	84,4%	97,2%	91,8%		93,4%
stras	85,1%	94,0%	93,5%	92,9%	87,6%	87,4%	80,2%	96,1%	86,7%	93,4%	

MARS	blagn	bourg	deols	lyon	marse	merig	mtaig	paris	perpi	renne	stras
blagn		93,1%	93,3%	94,0%	89,3%	97,0%	86,9%	86,7%	88,1%	89,8%	82,3%
bourg	93,1%		98,2%	95,8%	90,2%	93,6%	89,0%	96,4%	85,7%	95,7%	90,9%
deols	93,3%	98,2%		95,2%	88,1%	94,7%	88,6%	94,7%	85,7%	95,9%	90,0%
lyon	94,0%	95,8%	95,2%		92,7%	93,1%	87,7%	91,1%	87,4%	90,4%	91,9%
marse	89,3%	90,2%	88,1%	92,7%		86,4%	87,9%	87,6%	87,3%	83,9%	87,2%
merig	97,0%	93,6%	94,7%	93,1%	86,4%		87,2%	89,0%	87,3%	93,9%	82,3%
mtaig	86,9%	89,0%	88,6%	87,7%	87,9%	87,2%		87,9%	90,3%	85,1%	83,7%
paris	86,7%	96,4%	94,7%	91,1%	87,6%	89,0%	87,9%		83,0%	95,2%	93,0%
perpi	88,1%	85,7%	85,7%	87,4%	87,3%	87,3%	90,3%	83,0%		83,4%	79,7%
renne	89,8%	95,7%	95,9%	90,4%	83,9%	93,9%	85,1%	95,2%	83,4%		87,5%
stras	82,3%	90,9%	90,0%	91,9%	87,2%	82,3%	83,7%	93,0%	79,7%	87,5%	

AVRIL	blagn	bourg	deols	lyon	marse	merig	mtaig	paris	perpi	renne	stras
blagn		86,3%	83,3%	88,8%	89,4%	93,0%	88,8%	85,0%	81,2%	84,2%	69,6%
bourg	86,3%		96,4%	92,3%	83,5%	86,2%	84,1%	92,8%	80,4%	90,1%	81,9%
deols	83,3%	96,4%		90,8%	80,3%	86,9%	82,9%	92,1%	78,5%	90,2%	79,4%
lyon	88,8%	92,3%	90,8%		88,3%	87,0%	85,0%	87,2%	75,9%	82,2%	86,6%
marse	89,4%	83,5%	80,3%	88,3%		81,5%	83,9%	80,4%	75,0%	75,0%	77,9%
merig	93,0%	86,2%	86,9%	87,0%	81,5%		87,6%	87,0%	77,7%	91,0%	65,3%
mtaig	88,8%	84,1%	82,9%	85,0%	83,9%	87,6%		78,4%	84,9%	81,6%	63,9%
paris	85,0%	92,8%	92,1%	87,2%	80,4%	87,0%	78,4%		71,5%	93,8%	82,0%
perpi	81,2%	80,4%	78,5%	75,9%	75,0%	77,7%	84,9%	71,5%		77,6%	54,1%
renne	84,2%	90,1%	90,2%	82,2%	75,0%	91,0%	81,6%	93,8%	77,6%		68,6%
stras	69,6%	81,9%	79,4%	86,6%	77,9%	65,3%	63,9%	82,0%	54,1%	68,6%	

MAI	blagn	bourg	deols	lyon	marse	merig	mtaig	paris	perpi	renne	stras
blagn		90,0%	88,1%	90,2%	91,0%	94,3%	92,2%	84,3%	82,0%	84,7%	84,7%
bourg	90,0%		96,9%	92,7%	85,7%	92,2%	91,1%	95,6%	80,1%	90,9%	91,3%
deols	88,1%	96,9%		92,2%	82,1%	91,6%	87,8%	93,9%	74,7%	89,8%	88,4%
lyon	90,2%	92,7%	92,2%		89,0%	91,0%	91,0%	89,5%	74,5%	84,6%	92,5%
marse	91,0%	85,7%	82,1%	89,0%		87,5%	88,6%	78,5%	76,3%	73,7%	86,5%
merig	94,3%	92,2%	91,6%	91,0%	87,5%		88,6%	88,6%	73,5%	93,1%	83,6%
mtaig	92,2%	91,1%	87,8%	91,0%	88,6%	88,6%		84,8%	88,8%	80,7%	84,0%
paris	84,3%	95,6%	93,9%	89,5%	78,5%	88,6%	84,8%		72,3%	92,8%	90,0%
perpi	82,0%	80,1%	74,7%	74,5%	76,3%	73,5%	88,8%	72,3%		68,9%	68,7%
renne	84,7%	90,9%	89,8%	84,6%	73,7%	93,1%	80,7%	92,8%	68,9%		78,8%
stras	84,7%	91,3%	88,4%	92,5%	86,5%	83,6%	84,0%	90,0%	68,7%	78,8%	

JUIN	blagn	bourg	deols	lyon	marse	merig	mtaig	paris	perpi	renne	stras
blagn		86,8%	85,6%	90,2%	87,3%	93,8%	91,0%	82,6%	87,2%	82,3%	77,2%
bourg	86,8%		94,4%	90,6%	76,4%	86,2%	86,2%	95,6%	77,0%	88,4%	90,3%
deols	85,6%	94,4%		90,5%	73,9%	87,9%	82,1%	90,7%	69,8%	90,4%	87,0%
lyon	90,2%	90,6%	90,5%		87,0%	84,9%	90,5%	83,4%	81,0%	79,2%	89,3%
marse	87,3%	76,4%	73,9%	87,0%		79,7%	83,9%	70,2%	81,5%	65,2%	80,0%
merig	93,8%	86,2%	87,9%	84,9%	79,7%		84,9%	84,7%	76,0%	90,1%	75,8%
mtaig	91,0%	86,2%	82,1%	90,5%	83,9%	84,9%		79,8%	92,0%	72,3%	78,7%
paris	82,6%	95,6%	90,7%	83,4%	70,2%	84,7%	79,8%		71,0%	91,3%	86,4%
perpi	87,2%	77,0%	69,8%	81,0%	81,5%	76,0%	92,0%	71,0%		62,3%	66,6%
renne	82,3%	88,4%	90,4%	79,2%	65,2%	90,1%	72,3%	91,3%	62,3%		78,0%
stras	77,2%	90,3%	87,0%	89,3%	80,0%	75,8%	78,7%	86,4%	66,6%	78,0%	

JUILLET	blagn	bourg	deols	lyon	marse	merig	mtaig	paris	perpi	renne	stras
blagn		93,0%	90,9%	90,1%	90,4%	93,8%	91,8%	88,6%	87,3%	85,4%	80,5%
bourg	93,0%		98,3%	94,5%	86,0%	90,1%	91,3%	96,2%	85,4%	89,0%	92,2%
deols	90,9%	98,3%		93,8%	83,2%	90,0%	87,5%	96,2%	81,1%	90,5%	91,7%
lyon	90,1%	94,5%	93,8%		90,7%	85,4%	91,3%	89,1%	84,1%	82,2%	90,7%
marse	90,4%	86,0%	83,2%	90,7%		86,5%	89,0%	78,9%	82,9%	74,0%	76,5%
merig	93,8%	90,1%	90,0%	85,4%	86,5%		83,5%	90,0%	74,0%	90,6%	78,2%
mtaig	91,8%	91,3%	87,5%	91,3%	89,0%	83,5%		83,4%	89,6%	72,7%	83,4%
paris	88,6%	96,2%	96,2%	89,1%	78,9%	90,0%	83,4%		76,2%	92,8%	92,4%
perpi	87,3%	85,4%	81,1%	84,1%	82,9%	74,0%	89,6%	76,2%		66,4%	74,8%
renne	85,4%	89,0%	90,5%	82,2%	74,0%	90,6%	72,7%	92,8%	66,4%		79,2%
stras	80,5%	92,2%	91,7%	90,7%	76,5%	78,2%	83,4%	92,4%	74,8%	79,2%	

AOUT	blagn	bourg	deols	lyon	marse	merig	mtaig	paris	perpi	renne	stras
blagn		90,1%	90,3%	90,8%	86,0%	93,2%	89,6%	84,4%	88,5%	80,9%	80,1%
bourg	90,1%		97,2%	87,3%	74,3%	94,2%	78,8%	95,2%	79,5%	92,1%	84,7%
deols	90,3%	97,2%		87,5%	74,8%	94,0%	77,8%	94,1%	78,9%	92,5%	82,9%
lyon	90,8%	87,3%	87,5%		86,0%	85,9%	85,3%	82,0%	84,7%	75,5%	91,0%
marse	86,0%	74,3%	74,8%	86,0%		80,2%	86,5%	68,3%	84,5%	63,0%	75,9%
merig	93,2%	94,2%	94,0%	85,9%	80,2%		84,2%	92,0%	80,2%	90,3%	79,0%
mtaig	89,6%	78,8%	77,8%	85,3%	86,5%	84,2%		67,4%	86,5%	63,5%	71,9%
paris	84,4%	95,2%	94,1%	82,0%	68,3%	92,0%	67,4%		71,0%	96,2%	83,1%
perpi	88,5%	79,5%	78,9%	84,7%	84,5%	80,2%	86,5%	71,0%		69,2%	72,4%
renne	80,9%	92,1%	92,5%	75,5%	63,0%	90,3%	63,5%	96,2%	69,2%		75,9%
stras	80,1%	84,7%	82,9%	91,0%	75,9%	79,0%	71,9%	83,1%	72,4%	75,9%	

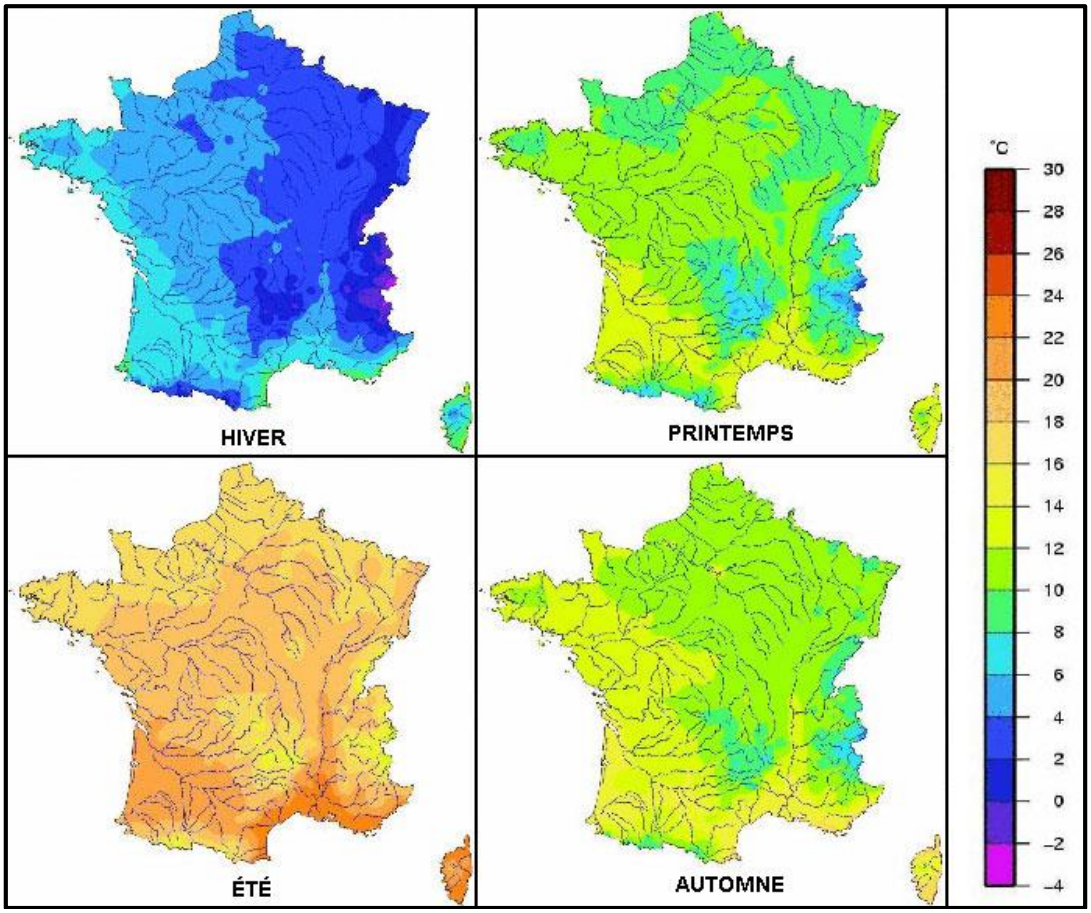
SEPTEMBRE	blagn	bourg	deols	lyon	marse	merig	mtaig	paris	perpi	renne	stras
blagn		88,2%	88,1%	88,2%	91,5%	94,9%	89,4%	81,4%	89,0%	80,9%	77,0%
bourg	88,2%		98,2%	93,9%	87,4%	91,5%	81,3%	95,7%	77,5%	91,5%	91,0%
deols	88,1%	98,2%		93,7%	88,1%	92,3%	81,9%	94,3%	79,9%	93,3%	89,6%
lyon	88,2%	93,9%	93,7%		91,2%	89,8%	81,3%	87,6%	78,4%	84,6%	93,1%
marse	91,5%	87,4%	88,1%	91,2%		90,1%	84,4%	81,9%	82,1%	78,1%	82,3%
merig	94,9%	91,5%	92,3%	89,8%	90,1%		86,9%	87,8%	80,2%	88,9%	80,7%
mtaig	89,4%	81,3%	81,9%	81,3%	84,4%	86,9%		73,5%	86,8%	69,5%	69,3%
paris	81,4%	95,7%	94,3%	87,6%	81,9%	87,8%	73,5%		66,7%	94,4%	87,9%
perpi	89,0%	77,5%	79,9%	78,4%	82,1%	80,2%	86,8%	66,7%		66,4%	65,6%
renne	80,9%	91,5%	93,3%	84,6%	78,1%	88,9%	69,5%	94,4%	66,4%		82,5%
stras	77,0%	91,0%	89,6%	93,1%	82,3%	80,7%	69,3%	87,9%	65,6%	82,5%	

OCTOBRE	blagn	bourg	deols	lyon	marse	merig	mtaig	paris	perpi	renne	stras
blagn		89,7%	86,9%	86,8%	88,5%	95,3%	82,1%	78,2%	90,8%	78,0%	62,3%
bourg	89,7%		97,6%	93,4%	87,0%	92,3%	80,4%	91,0%	84,7%	89,2%	78,0%
deols	86,9%	97,6%		94,6%	83,2%	91,6%	77,6%	90,8%	82,6%	90,8%	81,1%
lyon	86,8%	93,4%	94,6%		85,2%	90,3%	73,3%	84,8%	79,5%	82,8%	83,9%
marse	88,5%	87,0%	83,2%	85,2%		86,7%	85,4%	75,8%	87,0%	73,0%	65,6%
merig	95,3%	92,3%	91,6%	90,3%	86,7%		81,2%	82,9%	86,6%	86,3%	68,7%
mtaig	82,1%	80,4%	77,6%	73,3%	85,4%	81,2%		75,8%	87,8%	72,7%	55,7%
paris	78,2%	91,0%	90,8%	84,8%	75,8%	82,9%	75,8%		73,8%	94,1%	76,3%
perpi	90,8%	84,7%	82,6%	79,5%	87,0%	86,6%	87,8%	73,8%		72,8%	60,9%
renne	78,0%	89,2%	90,8%	82,8%	73,0%	86,3%	72,7%	94,1%	72,8%		73,3%
stras	62,3%	78,0%	81,1%	83,9%	65,6%	68,7%	55,7%	76,3%	60,9%	73,3%	

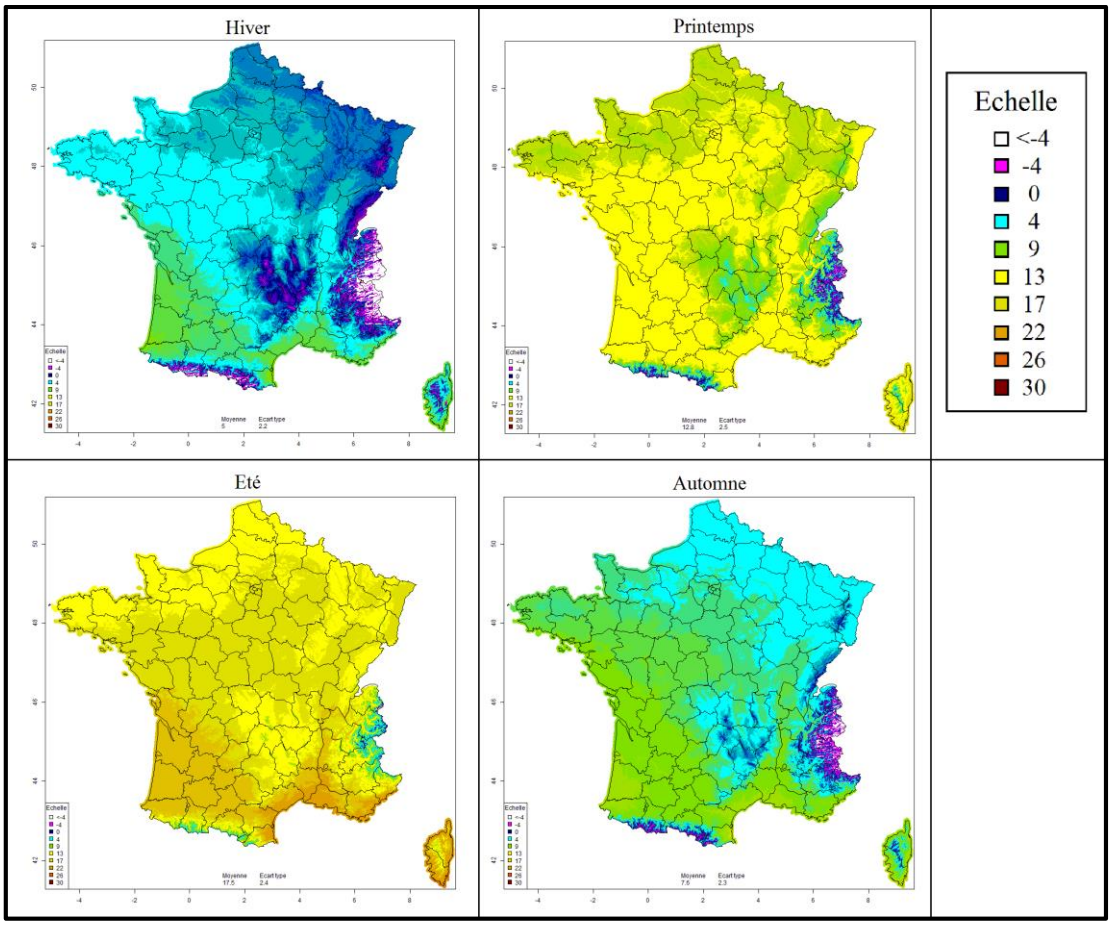
NOVEMBRE	blagn	bourg	deols	lyon	marse	merig	mtaig	paris	perpi	renne	stras
blagn		81,6%	80,9%	82,0%	81,7%	94,4%	70,4%	74,1%	88,6%	72,5%	55,1%
bourg	81,6%		98,5%	94,9%	79,3%	86,2%	61,6%	95,3%	83,6%	92,0%	82,3%
deols	80,9%	98,5%		95,7%	76,9%	86,2%	60,1%	93,7%	83,7%	91,2%	82,6%
lyon	82,0%	94,9%	95,7%		79,2%	85,1%	57,0%	88,9%	82,1%	83,1%	83,3%
marse	81,7%	79,3%	76,9%	79,2%		76,3%	82,2%	74,9%	86,9%	71,6%	64,5%
merig	94,4%	86,2%	86,2%	85,1%	76,3%		62,9%	79,4%	84,2%	82,5%	61,9%
mtaig	70,4%	61,6%	60,1%	57,0%	82,2%	62,9%		63,5%	77,4%	60,5%	55,9%
paris	74,1%	95,3%	93,7%	88,9%	74,9%	79,4%	63,5%		77,9%	93,8%	85,5%
perpi	88,6%	83,6%	83,7%	82,1%	86,9%	84,2%	77,4%	77,9%		74,3%	66,3%
renne	72,5%	92,0%	91,2%	83,1%	71,6%	82,5%	60,5%	93,8%	74,3%		77,6%
stras	55,1%	82,3%	82,6%	83,3%	64,5%	61,9%	55,9%	85,5%	66,3%	77,6%	

DECEMBRE	blagn	bourg	deols	lyon	marse	merig	mtaig	paris	perpi	renne	stras
blagn		84,4%	83,1%	83,5%	86,0%	94,3%	67,2%	66,4%	89,6%	72,3%	62,2%
bourg	84,4%		98,3%	94,1%	73,5%	91,3%	66,2%	91,4%	87,0%	93,6%	88,4%
deols	83,1%	98,3%		94,1%	71,1%	90,0%	66,2%	89,9%	85,4%	92,7%	87,4%
lyon	83,5%	94,1%	94,1%		75,1%	89,1%	66,1%	85,5%	86,1%	84,3%	85,4%
marse	86,0%	73,5%	71,1%	75,1%		76,0%	82,5%	59,8%	84,0%	60,0%	55,4%
merig	94,3%	91,3%	90,0%	89,1%	76,0%		62,8%	76,3%	87,2%	82,3%	73,8%
mtaig	67,2%	66,2%	66,2%	66,1%	82,5%	62,8%		64,5%	75,0%	60,3%	57,2%
paris	66,4%	91,4%	89,9%	85,5%	59,8%	76,3%	64,5%		74,1%	95,2%	92,7%
perpi	89,6%	87,0%	85,4%	86,1%	84,0%	87,2%	75,0%	74,1%		76,7%	69,7%
renne	72,3%	93,6%	92,7%	84,3%	60,0%	82,3%	60,3%	95,2%	76,7%		89,4%
stras	62,2%	88,4%	87,4%	85,4%	55,4%	73,8%	57,2%	92,7%	69,7%	89,4%	

ANNEXE V : Comparaison entre les normales saisonnières calculées par Météo France et celles issues des simulations



Graphe : Normales saisonnières sur la période 1981-2010 par Météo France (http://www.meteofrance.fr/documents/10192/35608/27754-43.jpg/)



Graphe : Normales saisonnières simulées sur la période 1981-2000

	Diplôme : Diplôme d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage Spécialité : Ingénieur agronome Spécialisation : Statistiques appliquées Enseignant référent : HUSSON François

Auteur(s) : SCHWEITZER Guillaume Date de naissance* : 17/03/1991	Organisme d'accueil : CEFE-CNRS Adresse : 1919 Route de Mende Sur le Campus du CNRS 34293 Montpellier 5 Maître de stage : CHUINE Isabelle
Nb pages : 20 Annexe(s) : 11	
Année de soutenance : 2015	

Titre français : Production d'indicateurs de l'effet du changement climatique

Titre anglais : Production of indicators of the effect of global climate change.

Résumé (1600 caractères maximum) : La phénologie des êtres vivants est l'étude de l'apparition d'événements périodiques de leur vie qui est déterminée par les variations saisonnières du climat. Pour les plantes, il s'agit de repérer des stades de développement spécifique, comme la date de floraison d'un individu par exemple. Des banques de données phénologiques se développent et permettent de suivre l'évolution d'évènements phénologiques de certaines espèces en fonction du changement climatique, ce qui fait de ces couples espèce-évènement de bons indicateurs du changement climatique. Le but de ce stage est de produire des séries phénologiques longues qui permettent d'observer le comportement des espèces végétales en milieu forestier face au changement climatique. Nous avons pour cela simulé des données pour l'ensemble de la France à partir de bases des données existantes afin de mettre en place des indicateurs du changement climatique en milieu forestier sur la période de 1950 à 2000, et mis en place la méthodologie pour l'étendre jusqu'à aujourd'hui. L'ONERC est à l'origine de ce stage qui a pour but de produire des indicateurs afin d'informer le public.

Abstract (1600 caractères maximum) : Phenology is the study of periodic plant and animal life cycle events and how these are influenced by seasonal and interannual variations in climate, as well as habitat factors. An example for plants is the date at which the flowers of a tree blossom out. Phenological databases have been developed and let us follow the evolution of phenological events of particular species depending on climate change. That makes these species-event matches good indicators of climate change. The goal of this internship is to produce long phenological series which let us observe the behavior of vegetal species in forests in answer to climate change. For that purpose, we have simulated some data for the whole French territory from existing databases in order to produce indicators of climate change in forests for the 1950-2000 period, and prepared the methodology to extend it to nowadays. ONERC is at the origin of this internship whose goal is to produce indicators to inform public opinion.

Mots-clés : changement climatique, phénologie, simulation, statistiques, écologie

Key Words: climate change, phenology, simulation, statistics, ecology