

Proposition de création de GDR

SIP-GECC

Systeme d'Information Phénologique pour l'Etude et la Gestion des Changements Climatiques

2006-2009

Responsables scientifiques :

Isabelle Chuine
Centre d'Ecologie Fonctionnelle
et Evolutive-UMR CNRS 5175
1919 route de Mende
34293 Montpellier cedex 05
Tel 04 67 61 22 51
Fax 04 67 41 21 38
isabelle.chuine@cefe.cnrs.fr

Bernard Seguin
Unité Agroclim ; Mission ' Changement
climatique et effet de serre'
INRA Site Agroparc, domaine Saint-Paul
84914 Avignon Cedex 9
Tel 04 32 72 23 07
Fax 04 32 72 23 62
seguin@avignon.inra.fr

Moyens financiers sollicités **16500 €/ an**

Version du 14 juin 2005

Partenaires du GDR

Laboratoires de recherche :

- UMR CNRS-UM2-UM1-UM3-AGROM-CIRAD 5175 Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CEFE), 1919 route de Mende, 34293 Montpellier cedex 05.
- UMR CNRS-UPS-ENGREF 8079 Ecologie, systématique et Evolution (ESE), Bat 360, Université Paris 6, 91405 Orsay cedex.
- UMR CNRS-CEA 1572 Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE), CEA-Saclay Orme des Merisiers, 91191 Gif-sur-Yvette.
- UMR CNRS-CNES-IRD-UPS 5126 Centre d'Etudes Spatiales de la BIOsphère (CESBIO), 1 avenue Edouard Belin, bpi 2801, 31401 Toulouse cedex 9.
- URA 1357 Centre National de la Recherche Météorologique (CNRM)- Groupe d'étude de l'Atmosphère Météorologique (GAME), Meteo France, 42 avenue Gaspard Coriolis, 31057 Toulouse cedex 1.
- UMR CNRS 8628 Laboratoire de Mathématiques, Université Paris-Sud, Bat 425, 91405 Orsay cedex France.
- UMR INAPG-ENGREF-INRA 518 Mathématiques et Informatiques Appliquées, 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris cedex.
- UMR INRA-UB1 1202 BIODiversité, Gènes et ECOSystèmes (BIOGECO), Université Bordeaux 1. Bat B8, Avenue des Facultés 33405 Talence.
- UMR INRA-ENGREF 1092 Laboratoire d'Etudes des Ressources FORêt-Bois (LERFOB), 14 rue Girardet 54042 Nancy cedex.
- UMR INRA-UN1 1137 Écologie et écophysologie forestière (EEF), INRA Centre De Nancy, 54280 Champenoux.
- UMR INRA-UBP 547 Physiologie intégrée de l'arbre fruitier et forestier (PIAF), Site de Crouël, 234, avenue du Brézet, 63100 Clermont-Ferrand cedex 2.
- UR INRA 1263 Ecologie fonctionnelle et PHYsique de l'Environnement (EPHYSE), INRA Domaine de la Grande-Ferrade, BP 81, 33883 Villenave-d'Ornon Cedex.
- UR INRA 588 Amélioration Génétique et Physiologie Forestière (AGPF), Avenue de la Pomme de Pin, BP 20619, Ardon, 45166 Olivet cedex.
- UR INRA 629 Recherches Forestières Méditerranéennes (URFM), Avenue A. Vivaldi 84000 Avignon.
- UR INRA 1114 Climat Sol et Environnement (CSE) Domaine St-Paul, site Agroparc 84914 Avignon cedex 9
- UE INRA 1116 AGROCLIM, Domaine Saint Paul Site Agroparc 84914, Avignon cedex 9
- UE INRA 570 Domaine de l'Hermitage, 69 route d'Arcachon 33612 Cestas Cedex.
- UE INRA 995 Amélioration des arbres forestiers 20619, Ardon, 45166 Olivet cedex
- UE INRA 348 Forestière Méditerranéenne Avenue A. Vivaldi 84000 Avignon et Domaine du Ruscas 4935 Route du Dom 83230 Bormes les Mimosas
- UE INRA 1261 Forêt Lorraine Centre De Nancy, 54280 Champenoux.
- Département Fhlor du CIRAD, Boulevard de la Lironde, TA 50/PS4, 34398 Montpellier Cedex 5.

Réseaux :

- Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers, dir E. Ulrich, ONF, Boulevard de Constance, 77 300 Fontainebleau.
- Réseau d'arboreta publics, coord. S. Brachet, ENGREF - Arboretum national des Barres, Domaine des Barres - 45290 Nogent sur Vernisson.

Associations loi 1901 :

- Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA), Chemin des Gardes, BP 8, 69610 St Genis L'argentière.
- Centre de Recherches sur les Ecosystèmes d'Altitude (CREA), 400 route u Tour, Montroc, 74400 Chamonix.
- Association des Jardins botaniques de France et des pays francophones, 7 rue Victor Considérant, 25000 Besançon.

Groupement d'intérêt Public :

GIP Medias France, CNES - BPi 2102 18, Av. Edouard Belin 31401 Toulouse Cedex 9

Instituts et centres techniques :

CTIFL, CTPC, AREFE, SENURA, BIP, CEFEL, SERFEL
(L'intégration de ces partenaires dans le GDR est actuellement en négociation)

Introduction

La phénologie est l'étude des variations des phénomènes périodiques de la vie végétale et animale en relation avec le climat. La phénologie est un marqueur du climat ¹⁻⁶ mais aussi un élément clé de l'adaptation des êtres vivants aux variations climatiques ⁷. Dans le contexte actuel de changement climatique, ce caractère adaptatif revêt donc une importance croissante dans de nombreux domaines de recherche fondamentale et appliquée (Fig. 1).

Les observations phénologiques permettent de retracer finement l'évolution du climat des derniers millénaires ⁶ grâce à des modèles phénologiques basés sur les processus. La phénologie de la végétation affecte les flux d'eau et de carbone échangés avec l'atmosphère car elle détermine la période d'activité photosynthétique de la végétation à feuillage caduque ; elle est de ce fait une composante majeure des modèles globaux de fonctionnement de la végétation associés aux modèles de circulation générale atmosphérique ⁸⁻¹⁴. La phénologie affecte la croissance, la survie et la productivité des peuplements forestiers ¹³⁻¹⁶ et des cultures ¹⁷. Sa modélisation et sa sélection génétique peuvent permettre une gestion des cultures et des peuplements intégrant, par anticipation, le changement climatique. La phénologie est un élément clé dans la compréhension de la répartition géographique des espèces et écosystèmes ⁷ car elle affecte la survie, le succès reproducteur et les interactions biotiques en fonction des conditions climatiques.

L'observation des événements biologiques saisonniers tels que la floraison, l'arrivée des oiseaux migrateurs, etc, revêt en outre un intérêt pédagogique certain.

C'est pourquoi de nombreuses études scientifiques ^{4,5,18-36}, réseaux d'observations, bases de données, programmes éducatifs et programmes de recherches sur la phénologie ont vu le jour ces dernières années dans de nombreux pays. La France connaît dans ce domaine un certain retard qu'elle essaie de rattraper, en particulier au travers de ce projet.

Historique

La situation nationale

L'apparition périodique d'événements biologiques pilotés par le climat occupe une place importante dans les activités humaines. Si, dans le domaine agronomique les progrès techniques ont permis dans certaines situations de s'affranchir ou de minimiser les contraintes climatiques, le climat rythme toujours le cycle de vie de la plupart des espèces (hors zone tropicale), en particuliers des espèces végétales. Le contexte du changement climatique fait aujourd'hui prendre conscience de l'importance de ces phénomènes, alors que leur observation et leur compréhension étaient, en France, tombées en désuétude malgré un héritage historique important.

En effet, en 1880 sous l'impulsion d'Angot, Météo France initia un grand programme d'observation de ces événements dans l'ensemble de ses stations météorologiques. Ainsi, étaient observées chaque année la feuillaison, la floraison, la maturation et la coloration des feuilles de dizaines de taxons, ainsi que l'apparition d'oiseaux migrateurs ou autres animaux. Ces observations ont perduré jusqu'en 1950 dans tous les départements et seuls quelques départements les ont poursuivies jusqu'à aujourd'hui. Ces observations avaient pour but d'utiliser la phénologie comme marqueur des conditions météorologiques en vue d'applications pour la recherche météorologique. Parallèlement à ces observations, le service des forêts a également réalisé les mêmes observations sur des placettes forestières entre 1880 et 1932. A la même époque

d'autres observations étaient réalisées dans des jardins botaniques, le jardin de St Maur (1875 à 1947), les jardins de Versailles, ou dans des arboreta, tel l'arboretum des Barres.

D'autres organismes ont également réalisé ce genre d'observations dans les dernières décennies (1970 à nos jours) mais de façon indépendante et pour différentes applications. C'est le cas de l'INRA, qui a collecté des observations sur les arbres fruitiers et la vigne (maintenant intégrées dans une base de données PhenoClim, qui rassemble également les observations provenant d'instituts techniques CTIFL, ITV et de différentes structures professionnelles), ainsi que sur des espèces forestières cultivées dans des unités expérimentales ou des tests de provenances ou de descendance à des fins de sélection. C'est également le cas de l'ONF, qui au travers du réseau RENECOFOR réalise des observations phénologiques depuis 1997 dans 86 stations forestières. Enfin, des observations ont été reprises également dans certains jardins botaniques comme le Jardin des Plantes de Paris depuis 2000 (PhenoFlore).

La situation internationale

Il existe dans le monde quelques séries d'observations phénologiques remarquables soit par leur longueur, soit par leur qualité. Ces séries sont soit l'œuvre de l'histoire et de la culture d'un pays comme par exemple la série des dates de vendange de Bourgogne (1370 à l'actuel) ou la série des dates de floraison du prunus à Kyoto au Japon (9^e siècle à l'actuel) ; soit l'œuvre de naturalistes du 18^e et 19^e siècle telle la série de Thomas Mikesell en Ohio (1883-1912) ou la série de la famille Marsham en Angleterre (1736-1925). Mais il existe beaucoup d'autres séries d'observation qui ont été l'initiative d'organismes nationaux, en général les instituts météorologiques ou les instituts agronomiques. Si l'on se limite à l'Europe, l'Allemagne, l'Autriche, la Suisse, l'Espagne, l'Angleterre, l'Irlande, le Danemark, la Slovénie, la Roumanie, la Grèce, la Norvège, la Suède, la Pologne, la Finlande, les Pays Bas, l'Estonie, la Lituanie, la Lettonie réalisent des observations phénologiques depuis plusieurs décennies. L'Allemagne à elle seule possède 6423 stations d'observations phénologiques gérées depuis 1951 par l'institut météorologique allemand.

Etant donné l'importance de ces observations pour les recherches dans le domaine des Sciences de la Vie et de l'Univers, la commission européenne a mis en place en 2004 l'Action COST 725 pour laquelle B. Seguin et I. Chuine sont les correspondants français et dont le but est la création d'une base de données et d'un réseau d'observation à l'échelle européenne par homogénéisation des bases de données nationales et des réseaux nationaux d'observations.

Ce projet de GDR SIP-GECC est né de la conjonction de deux éléments. Premièrement, de la prise de conscience de la part de ses partenaires de l'importance des observations phénologiques pour la recherche fondamentale et appliquée visant à étudier et à gérer les impacts des changements climatiques, et du manque de données à l'échelle de la France pour atteindre les objectifs. Deuxièmement, de l'Action COST 725, pour laquelle la France jouait un rôle jusqu'ici limité (à l'exception de PhenoClim) du fait de l'absence de bases de données et de réseau d'observation dédié à la phénologie sur son territoire. Les membres de ce GDR ont donc décidé, pour remédier à cette situation, de mobiliser toutes les observations qui avaient été réalisées en France jusqu'à nos jours et de structurer un réseau d'observation.

Objectifs du GDR SIP-GECC pour 2006-2009

Le champ d'actions de ce GDR est très vaste puisqu'il va de questions de recherche les plus fondamentales telles que l'impact de la phénologie sur (i) la productivité primaire des écosystèmes et donc le cycle du carbone, (ii) la répartition géographique des espèces, (iii) l'utilisation de la phénologie de certaines plantes pour reconstituer l'histoire récente du climat ; à des aspects de recherche appliquée aussi variés que l'impact des changements de phénologie sur (i) les risques de gel des productions fruitières, (ii) les rendements agricoles (iii) la productivité et la survie des essences forestières, (iv) la qualité du bois, (v) le mode de sélection des génotypes dans le contexte de changement climatique, (v) l'occurrence des pollens allergènes dans l'atmosphère, etc.

Les partenaires de ce GDR appartiennent à une communauté qui est donc très variée, laboratoires de recherche (CNRS, INRA, CNES) travaillant dans les domaines des Sciences de la Vie et des Sciences de l'Univers ; associations loi 1901 (Réseau national de Surveillance Aérobiologique, Centre de Recherche sur les Ecosystèmes d'Altitude) ainsi que des instituts et centres techniques.

Les objectifs de ce GDR sont de

- constituer une base de données des observations phénologiques réalisées en France par divers organismes depuis 1880 jusqu'à nos jours ;
- poursuivre les observations sur des espèces et en des sites choisis sur la base des données existantes et de l'importance sociétale et économique de ces espèces ;
- utiliser les observations dans sept activités de recherche :
 - étude de l'évolution du climat
 - développement des modèles de fonctionnement de la végétation
 - développement des modèles de fonctionnement des cultures
 - développement des modèles de biogéographie basés sur les processus
 - gestion des peuplements forestiers dans un contexte de changement climatique
 - étude des relations phénologie, croissance, qualité du bois
 - prévision de la floraison des plantes allergisantes
- initier un projet pédagogique d'éveil à l'environnement pour les classes du primaire avec observation de la phénologie de certaines espèces et intégration de ces observations dans la base de données.

Organisation du GDR SIP-GECC

Le GDR SIP-GECC fonctionne autour de quatre pôles.

La répartition des équipes membre du GDR dans ces 4 pôles est présentée dans l'annexe 1.

1- Pôle base de données

Ce pôle est chargé de rassembler l'ensemble des observations phénologiques réalisées sur le territoire français métropolitain et DOM-TOM pour réaliser une base de données qui sera mise à disposition de la communauté scientifique via le site internet du GDR et qui sera implémentée chaque année par les informations collectées au travers du réseau national.

2- Pôle réseau d'observations

Ce pôle est chargé de structurer et gérer le réseau national d'information phénologique qui alimentera la base de données. Il se compose d'un groupe de travail et des équipes chargées de réaliser les observations.

3- Pôle recherche

Ce pôle est chargé de structurer et dynamiser les recherches fondamentales et appliquées requérant des informations phénologiques. Sept grands axes de recherche ont été définis.

3.1- La phénologie, marqueur de l'évolution du climat

Certains événements, tels que les vendanges, les moissons, ou les glandées ; de part l'importance qu'ils ont revêtue dans l'histoire de nos sociétés, ont été consignés ou ont fait l'objet de publications dans les bans depuis de nombreux siècles. Les dates de ces événements que l'on peut retrouver dans les archives paroissiales puis municipales puis départementales depuis le 14^e siècle, voire antérieurement, peuvent être utilisées pour reconstituer les conditions climatiques qui prévalaient à ces époques. Ces observations phénologiques très particulières permettent de retracer l'histoire du climat à une échelle locale et régionale et de replacer le réchauffement climatique du dernier siècle dans une perspective millénaire ⁶. Ces recherches sont soutenues depuis plusieurs années par le PNEDC (INCHA, AMPOULE) avec une collaboration entre le CEFÉ, le LSCE, AGROCLIM et le collège de France. Pour les périodes plus récentes, les données phénologiques pourraient permettre d'améliorer la cartographie, encore très préliminaire, des changements climatiques réellement en cours à l'échelle du territoire national.

3.2- La phénologie dans les modèles de fonctionnement de la végétation

Des études en cours sur les zones boréales montrent que la productivité primaire nette peut varier de +/-10gC/m²/an par jour de reprise de l'activité photosynthétique (G. Picard pers. com.). La reprise de cette activité pouvant varier de plus d'un mois d'une année à l'autre, la productivité primaire peut ainsi varier selon la phénologie des espèces composant l'écosystème considéré de plus de 300gC/m²/an soit 40% de la productivité nette. Ces estimations concernent la zone boréale qui sera la zone géographique où le réchauffement sera le plus important. Ainsi différents laboratoires de recherche (CESBIO, LSCE) utilisent, dans les modèles de fonctionnement des écosystèmes, la phénologie des écosystèmes modélisés car elle joue un rôle important dans leurs bilans hydrique et carboné.

Ces recherches se font en collaboration avec des équipes qui étudient expérimentalement la réponse de la phénologie et du fonctionnement des espèces (photosynthèse, croissance, productivité) aux variables du milieu (CEFE, AGROCLIM, ESE, EPHYSE). Ces collaborations ont pour but d'améliorer la modélisation et la paramétrisation de la phénologie dans les modèles globaux et régionaux de fonctionnement des écosystèmes, afin d'améliorer la représentation des interactions atmosphère-biosphère dans les modèles globaux de climat.

3.3- La phénologie en agriculture

L'impact du changement climatique sur l'agriculture a fait l'objet de nombreuses études, comme l'atteste le rapport du GIEC/IPCC (2001). L'INRA a participé à cet effort par des études ponctuelles s'appuyant sur des considérations écophysiologiques et des outils expérimentaux ou de modélisation^{17,37,38}. L'INRA d'Avignon (CSE) a développé le modèle STICS qui simule le fonctionnement d'une culture annuelle (blé, maïs, soja ou autre) en termes de croissance, phénologie, productivité, rendement, et celui de son sol (bilan hydrique et azoté). L'ensemble du système est fortement dépendent de la phénologie de la culture, elle-même fonction des conditions météorologiques. Le développement de tels modèles passe donc également par le développement de modèles phénologiques basés sur les processus³⁹⁻⁴⁷. Par ailleurs, l'exploitation de la base Phenoclim permet de mettre en évidence et de quantifier l'effet du réchauffement récent sur la phénologie des arbres fruitiers (dates de floraison avancées de une à deux semaines en trente ans) et de la vigne (effets identiques, avec une avancée de la date de vendange atteignant trois à quatre semaines en cinquante ans). Les conséquences en termes de risque de gel et d'effets sur la pollinisation ont pu en être tirées, ainsi que celles portant sur l'avancée du calendrier sur la production de la vigne. Les modélisations de la phénologie calées sur ces observations pourront permettre d'évaluer les impacts du réchauffement sur ces cultures.

3.4- La phénologie dans les modèles de biogéographie

Le CEFE développe depuis 2001 des modèles de biogéographie basés sur les processus⁷. Ces modèles reposent essentiellement sur l'adéquation de la chronologie du cycle de développement, la phénologie, aux conditions climatiques et simule une répartition potentielle d'une espèce (sans prise en compte des interactions biotiques). L'ensemble du cycle annuel de développement est pris en considération et sert de base à l'estimation des probabilités de survie et de succès reproducteur d'un individu moyen d'une population de l'espèce considérée. La différenciation génétique entre les populations peut être prise en compte⁴⁸. Il suffit de disposer de données phénologiques de différentes provenances permettant un paramétrage par provenance. Une première étude a montré que la phénologie était au centre de la niche climatique des espèces ligneuses de la zone tempérée. Le développement de ces modèles demande de nombreuses observations sur la phénologie des espèces (feuillaison, floraison, fructification, coloration des feuilles).

Ces modèles ont, jusqu'à présent, été ajustés pour des espèces ligneuses nord américaines. Les données nécessaires n'ont pu être obtenues à ce jour pour la France et plus largement l'Europe. La création de ce réseau et de la base de données phénologiques permettra donc l'ajustement de tels modèles pour des espèces présentes en France, et ainsi de prédire en fonction de différents scénarios climatiques le déplacement attendu des aires de répartition de ces espèces. Une application de ces modèles aux principales essences forestières françaises est en projet. De nombreuses observations phénologiques existent déjà pour le Douglas, le chêne sessile et le chêne rouge ; et un travail de suivi de la phénologie de 6 espèces ligneuses de stratégies fonctionnelles différentes (Frêne, Erable,

Chêne sessile, Hêtre, Sapin et Houx) a été mis en place le long de deux gradients altitudinaux dans les Pyrénées par l'UMR BIOGECO. L'objectif de ces nouvelles observations est de caractériser la plasticité de la phénologie des espèces en fonction de leur stratégie fonctionnelle. Ce paramètre peut profondément affecter la réponse des espèces aux changements climatiques en modifiant les interactions biotiques (compétition - facilitation). Il sera alors possible de prédire des changements dans la répartition des espèces.

3.5- Phénologie et gestion des peuplements forestiers dans un contexte de changement climatique

Les premiers résultats des modèles de biogéographie prévoient un bouleversement des paysages forestiers à cause du réchauffement climatique ⁴⁹⁻⁵¹. Les effets des stress qui seraient engendrés sur les forêts sont difficiles à prévoir, mais ils ont le potentiel de modifier la composition des écosystèmes forestiers, particulièrement à leur limite sud. Etant donné le rôle de la phénologie dans la niche écologique des espèces et leur aire de répartition, les équipes de l'INRA (BIOGECO, AGPF, EEF, URFM) et de l'ONF, qui ont toujours étudié et évalué la phénologie des essences et leurs différentes provenances à des fins de sélection, renforcent depuis quelques années les études dans ce domaine. Des programmes d'identification des gènes de la phénologie ont été lancés chez le chêne sessile (BIOGECO) afin de pouvoir sélectionner des provenances en fonction de leur phénologie. La connaissance de ces gènes permettra ainsi d'utiliser pour des plantations futures les géotypes les mieux adaptés dans un contexte de changements climatiques. Prévoir quelles provenances seront les mieux adaptées climatiquement à leur milieu dans 50 ou 100 ans nécessite également de modéliser la phénologie de ces provenances en fonction des conditions climatiques attendues dans 50 ou 100 ans.

Un autre impact des changements de phénologie des arbres forestiers lié au réchauffement climatique est l'évolution des risques de dégât de gel en particulier sur les jeunes pousses. La résistance au gel est encore très mal connue, et fait le sujet de peu d'études à l'heure actuelle. La résistance au gel est intimement liée à la phénologie, en particulier à la phase de dormance des bourgeons dont le déterminisme physiologique et environnemental n'est toujours pas connu à l'heure actuelle. L'unité PIAF (INRA) étudie ces déterminismes chez quelques espèces d'intérêt économique et collabore avec l'unité CEFÉ (CNRS) dans l'étude de ces résistances chez des essences forestières afin d'inclure les processus de résistance dans un modèle de biogéographie basé sur les processus ⁷

3.6- Etude des relations phénologie, croissance, qualité du bois

Phénologie, croissance et qualité du bois sont les trois principaux caractères de sélection des essences forestières. Les relations entre ces trois caractères, très souvent corrélés entre eux, ne sont néanmoins pas très bien élucidées, c'est pourquoi elles sont au centre des recherches à l'EEF (INRA) et l'AGPF (INRA). Du fait de l'avancement du débourrement de 6 jours depuis 30 ans et parallèlement du recul de la sénescence de 4,5 jour sur la même période, la période d'activité photosynthétique s'est allongée de 10,5 jours ⁵². Cet allongement de la période de croissance est à rapprocher de l'augmentation de la croissance des arbres observée ces dernières décennies⁵³. L'augmentation de la croissance des arbres aura des répercussions économiques mais aussi sanitaires et écologiques (stabilité des écosystèmes forestiers, biodiversité) qui amèneront à revoir les stratégies commerciales et de gestion des peuplements forestiers. C'est pourquoi l'étude des relations phénologie-

croissance-qualité du bois dans un contexte de changement climatique revêt une très grande importance pour la filière bois.

3.7- Phénologie des plantes allergisantes

En l'espace d'une décennie, l'incidence des rhinites allergiques a doublé dans la société pour toucher aujourd'hui jusqu'à 25 % des jeunes adultes. Ces allergies sont en grande majorité causées par le pollen allergénique de certaines plantes telles que les graminées, armoise, ambrosie, bouleau, frêne, chêne. Le réseau national de surveillance aérobiologique (RNSA) suit depuis de nombreuses années les concentrations de pollen présent dans l'atmosphère afin de fournir des bulletins d'alerte pour les médecins et les patients. Depuis quelques années, des recherches de modèles prédictifs de la floraison de ces taxons à pollen allergénique ont été entreprises^{1,39,40,54-57}. Des applications permettant, moyennant les températures journalières depuis le mois de septembre de l'année précédente, la prédiction de l'occurrence de pollen allergénique en France ont été développés (PPF-CEFE, POSITIVE –EVK2-CT-1999-00012¹). Dans ce contexte, le CEFE et le RNSA associent, dans le cadre de ce réseau, leurs efforts pour poursuivre le développement de modèles prédictifs de l'apparition des pollens allergènes dans l'atmosphère dans le but de pouvoir mettre un jour à disposition du public et du corps médical un outil fiable et opérationnelle pour obtenir ce genre de prédictions. De plus, les observations de dates floraison dans la nature ou les jardins sont très utiles pour le RNSA pour établir dans l'état actuel des choses les bulletins d'alerte utilisés par le corps médical.

4- Pôle projet pédagogique

Ce pôle a pour mission la création d'un réseau d'écoles du primaire réalisant des observations phénologiques à l'instar du programme international GLOBE (www.globe.gov/fsl/welcome.html) ou plus localement du programme du CREA (www.crea.hautsavoie.net). Ce réseau d'écoles viendrait compléter le réseau géré par les organismes scientifique. Ce projet pédagogique d'éveil à l'environnement cible les classes de primaire du CE2, CM1, CM2 Le programme pédagogique devra être établi en étroite collaboration entre les scientifiques, les enseignants, le Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la Recherche, et les associations oeuvrant sur le terrain à l'éducation à l'environnement. La liste des plantes et animaux à observer sera tout d'abord établie par les scientifiques en tenant compte de l'accessibilité aux espèces à observer et la facilité des observations pour les élèves. Des fiches descriptives et un protocole d'observation seront établis en collaboration avec les différents partenaires. Ils seront mis en accès sur un site internet spécialement dédié à ce programme pédagogique et éventuellement envoyés aux écoles n'ayant pas accès à internet. Les différentes classes participantes pourront saisir en direct leurs observations qui seront intégrées immédiatement à la base de données. Un suivi mensuel de la base sera réalisé afin de détecter les éventuelles erreurs. Le bon déroulement du programme nécessite son suivi par une personne capable de gérer le site internet, d'être à l'écoute des professeurs d'école, de mettre à jour les fiches d'observations, de coordonner le programme avec les autres programmes du même type en cours dans le monde, de vérifier les observations saisies par les élèves pour leur transfert vers les scientifiques via le site internet dédié au réseau d'observation.

Mode de fonctionnement du GDR SIP-GECC

La diffusion d'informations au sein du GDR sera assurée de façon électronique à travers une liste de diffusion qui regroupera les membres du GDR.

Un site internet (hébergé au CEFÉ) sera dédié au GDR. Il renfermera un résumé des actions du GDR, un descriptif du réseau scientifique d'observations, un accès public et un accès restreint à la base de données, ainsi qu'un lien vers le site internet du projet pédagogique.

La gestion administrative et financière du GDR serait assurée principalement par le secrétariat du CEFÉ (UMR CNRS 5175).

Le réseau national d'information phénologique sera doté d'un groupe de travail composé de représentants des différents partenaires impliqués dans le réseau et qui se réunira une fois par an pour prendre les décisions relatives à la gestion de la base de données et du réseau. La gestion des sites d'observations, la réalisation des observations et le transfert des données seront sous la responsabilité des différents partenaires du réseau selon le mode de fonctionnement qui aura été décidé par le groupe de travail.

La gestion de la base de données et du site internet associé sera confiée au GIP Medias France. Un mémorandum d'agrément entre les différents partenaires sera établi dès la première réunion du groupe de travail du réseau d'information phénologique pour l'accès et l'utilisation des données de chacun des partenaires.

Missions du GDR SIP-GECC

Les missions du GDR sont de :

- mettre à disposition de la communauté scientifique française les observations réalisées sur le territoire français (avec restriction d'accès possible selon les propriétaires de données) ;
- mettre à disposition de la base de données phénologiques européenne les observations réalisées sur le territoire français pour les espèces faisant partie de cette base (avec restriction d'accès possible selon les propriétaires de données) ;
- promouvoir les collaborations entre les différents membres du GDR et d'autres acteurs potentiels pour répondre aux enjeux scientifiques définis ci-dessus et fournir à la société civile des informations sur l'impact du changement climatique sur l'environnement en France.

Bilan des actions entreprises par le GDR SIP-GECC

Les membres du GDR ont déjà pris un certain nombre d'initiatives et initié différents chantiers décrits ci-après.

1- Base de données phénologiques

1.1- Etat des lieux

Tableau 1. Description des différentes observations phénologiques qui seront rassemblées dans la base de données

<i>Source</i>	<i>Type d'observations</i>	<i>Nombre d'espèces</i>	<i>Stades observés</i>	<i>Nombre de sites</i>	<i>Période</i>
Meteo France	Pop. Nat.	40 saisis	débourrement floraison maturation sénescence	>200 (38 saisis)	1880-1970 1 site 1880-2000
INRA PhénoClim	Plantations	10	floraison, maturation	32	1950-2000 (10-50 ans)
INRA Bordeaux	Pop. Nat. Plantations	6 1	débourrement débourrement	15 4	>2005 4 ans
INRA Orléans	Plantations	1	débourrement floraison	3	>1979
INRA Avignon	Plantations forêts	7	débourrement floraison	2 à >10	1 à 10 ans
ONF-RENECOFOR	Pop. Nat.	20	débourrement sénescence	86	>1997
ONF données historiques	Pop. Nat.	80	débourrement	1 à 65	1881-1992 non continu
MNHN Phénoflore	Plantations	397*	floraison	1	>2000
Parc St Maur	Plantations	>200 (67 saisis)	floraison	1	1884-1950
Parc Versailles	Plantations	>200	floraison	1	1884-1950
Arboretum des Barres	Plantations	493	débourrement floraison maturation sénescence	1	1873-1885
Données historiques	cultures	Vigne, blé	Vendange, moisson	42	> 1370
RNSA	pollen	25	floraison	60	>1975
CESBIO	Satellite (NDVI)	-	« verdissement »	-	>2002

*taxons suivis depuis 2000 en continu sur un total de 6000 taxons

La France, bien qu'absente à l'heure actuelle sur la scène internationale dans ce domaine, possède un grand nombre d'informations sur la phénologie de sa faune et sa flore sauvages et domestiquées. Néanmoins les sources d'information sont extrêmement hétérogènes et en partie non informatisées. Un réel effort d'acquisition, d'homogénéisation et de synthèse doit donc être fait. Ces observations, qui remontent au 19^e siècle (mis à part

les dates de vendange qui remontent au 14^e siècle), proviennent d'organismes aussi différents que Météo France, l'INRA, l'ONF, le CIRAD, le CNRS, les jardins botaniques, et elles concernent essentiellement la flore sauvage et cultivée et plus rarement la faune sauvage. Le rassemblement de ces différentes données a déjà commencé sur l'initiative d'AGROCLIM-INRA et du CEFÉ-CNRS. AGROCLIM gère la base de données Phenoclim pour dix arbres fruitiers et la vigne, qui rassemble les observations de floraison et de maturation ainsi que les données météorologiques associées. Les autres données sont en cours de numérisation et d'homogénéisation pour pouvoir être intégrées à la base de données grâce à des projets de recherche (dir. I Chuine) financés par l'IFB et la MICCES. La base de données ainsi constituée et le site internet qui y sera dédié seront gérés par le GIP Medias France.

Les données qui devraient composer la base de données sont listées dans le tableau 1.

1.2- Nature des données et leur utilisation

Un premier type d'observation concerne les observations sur le terrain en milieu naturel. Une masse très importante de ce type de données provient des observations réalisées par Météo-France à partir de 1880 dans tous les sites abritant une station météorologique ainsi que quelques stations forestières. De nombreuses espèces étaient observées aussi bien sauvages que cultivées, majoritairement des espèces végétales mais aussi quelques espèces animales. Ces observations ont malheureusement été arrêtées pour la plupart dans les années 1950, seuls quelques sites ont poursuivi les observations jusque dans les années 1970 et un seul site jusqu'en 2005. Seule une petite partie de ces données a été numérisée grâce à un projet de recherche (dir. I Chuine) financé par l'IFB. Plus récemment, le réseau RENECOFOR a initié le même type d'observations mais uniquement pour des essences forestières (12 espèces). Le débourrement et/ou la sénescence sont observés dans 2 à 21 peuplements forestiers selon les essences depuis 1997. Le CREA a lancé en 2004 un programme de suivi de la phénologie d'une dizaine d'espèces dans les Alpes auquel participent des écoles, mais aussi des jardins botaniques et parcs régionaux et nationaux. Font également partie de ce type de donnée les données historiques telles que les dates de vendange ou de moisson consignées dans les archives depuis des siècles. Ce premier type de données permet de calibrer des modèles prédictifs de la phénologie, utilisés dans les modèles de fonctionnement de la végétation ou les modèles de biogéographie. Il permet également, lorsque les séries sont suffisamment longues, d'étudier l'impact du changement climatique sur la phénologie des espèces et parfois même de reconstituer le climat des périodes passées.

Un deuxième type de données concerne les observations réalisées dans les sites-ateliers de divers organismes de recherche (INRA, CNRS, Universités, CIRAD, ...) visant le plus souvent à calibrer des modèles de fonctionnement de la végétation ou à sélectionner des espèces fruitières et des essences forestières. Ces observations sont souvent réalisées dans des tests de provenance sur plusieurs années et/ou sur plusieurs sites tests sur lesquels sont implantées de nombreuses provenances géographiques de l'espèce à des fins de comparaison et de sélection. Ces données permettent de calibrer finement des modèles phénologiques et donnent accès à la variabilité génétique de la phénologie présente au sein de l'aire de répartition des espèces.

Un troisième type d'observations concerne les observations réalisées dans des jardins d'agrément tels que les jardins botaniques (e.g. jardin des plantes de Paris, parc de St Maur, parc de Versailles). Ces observations concernent très souvent des individus isolés d'une espèce. Les données du parc de St Maur et de Versailles couvrent la période 1884-1950. Plus récemment, des observations ont été faites au jardin des plantes de Paris depuis 2000

et dans les jardins botaniques de Troyes, Tours, Cholet, Lyon, Bordeaux et Antibes. Ces données permettent de suivre sur le long terme l'évolution du climat à travers la réponse de la végétation et permettent également de suivre la phénologie dans des conditions que l'espèce ne rencontre pas actuellement mais qu'elle rencontrera dans les décennies à venir du fait du réchauffement du climat.

Enfin, d'autres types de données phénologiques sont les observations satellitaires et les concentrations polliniques atmosphériques. Les données satellitaires permettent de suivre les dates de «verdissement» (*green-wave*) de la surface terrestre, qui reflètent le démarrage de la végétation au printemps en analysant le signal NDVI. Le CESBIO possède de telles données à basse résolution depuis 1998 et à haute résolution depuis 2002. Les données aéropolliniques produites par le RNSA sont des concentrations polliniques atmosphériques de 58 sites en France. Ces données sont utilisées à des fins essentiellement médicales. Ces suivis de concentration pollinique permettent de déterminer pour un taxon donné les dates de début et de pleine floraison (pic de pollen) qui varient d'une région à l'autre et d'une année sur l'autre. Ces deux types de données donnent une information moyennée de la phénologie qui s'affranchit du biais de l'observateur, de la variabilité génétique au sein des populations et de la variabilité microclimatique des sites d'observation au sein d'une région. Ils sont donc très complémentaires des observations réalisées au sol dans les peuplements. Ces deux types de données permettent de suivre la phénologie de la végétation à une échelle globale.

2- Réseau national d'information phénologique

Les différentes données rassemblées dans la base sont hétérogènes et concernent différentes périodes de temps. En revanche, elles remontent au début de la période industrielle, elles concernent de très nombreux sites en France ainsi que de nombreuses espèces. Ceci est assez unique par rapport à ce qui a été réalisé dans d'autres pays bien que ce potentiel ne soit connu de la communauté scientifique que depuis très peu de temps. Il est donc primordial que les observations soient poursuivies dans plusieurs sites couvrant le territoire national afin de documenter l'évolution de la réponse des organismes au réchauffement qui va croissant. A cette fin, un réseau d'observation (tableau 2, Fig. 2) sera créé sur la base des réseaux et sites d'observation existants, c'est-à-dire le réseau RENECOFOR de l'ONF, le réseau PhenoClim de l'INRA, le Réseau National de Surveillance Aérobiologique, certains jardins botaniques, le réseau d'écoles du Centre de Recherches sur les Ecosystèmes d'Altitude, et les images satellites haute résolution. Ces sites d'observations seront complétés par d'autres sites sur le territoire national métropolitain et d'outre-mer. En métropole, le réseau sera complété grâce au soutien de l'association des jardins botaniques de France et des pays francophones sous la coordination de O. Chauveau (UPSud), du réseau national d'arboreta sous la co-ordination de S. Brachet (ENGREF-ANB), des unités expérimentales INRA 570 (Cestas), 995 (Olivet), 378 (Avignon), et 347 (Champenoux), le CEFÉ UMR CNRS 5175. Dans les DOM, les unités du département Flhor du CIRAD compléteront les observations effectuées sur la flore tempérée de la métropole, par des observations sur des plantes tropicales telles que le bananier aux Antilles ainsi que certaines espèces ligneuses fruitières telles que le manguier à la Réunion. Des observations en milieu tropical dans les DOM se justifient par le constat fait par les groupes de recherche sur le changement climatique (Colloque GICC 23 nov 2004, Atelier Climat CNRS, 29-30 nov 2004) de l'importance du réchauffement climatique en zone tropicale et pour laquelle peu de suivis du changement climatique et de son impact sont mis en place.

Les observations seront réalisées par une personne attachée au site d'observation et seront donc sous la responsabilité des organismes et associations gérant ces sites. Les fiches d'observations et les informations nécessaires à la réalisation des observations seront en accès sur le site internet dédié à la base de données et au réseau. Les données seront envoyées chaque année par les observateurs à une personne chargée de les valider et qui les saisira via le site internet dans la base de données.

Tableau 2. Liste des sites d'observation du réseau

Type	Nombre de sites	Organisme(s)/société gestionnaire(s)
Unités expérimentales	28+4+1+1	INRA, CNRS, centres techniques
Arboreta	10	ENGREF, INRA, ONF, MNHN, UPS
Forêts	86+1+10	RENECOFOR-ONF, CNRS, INRA
Aérobiologie	60	RNSA
Jardins	6	Jardins botaniques
Milieu naturel	50	CREA (écoles)

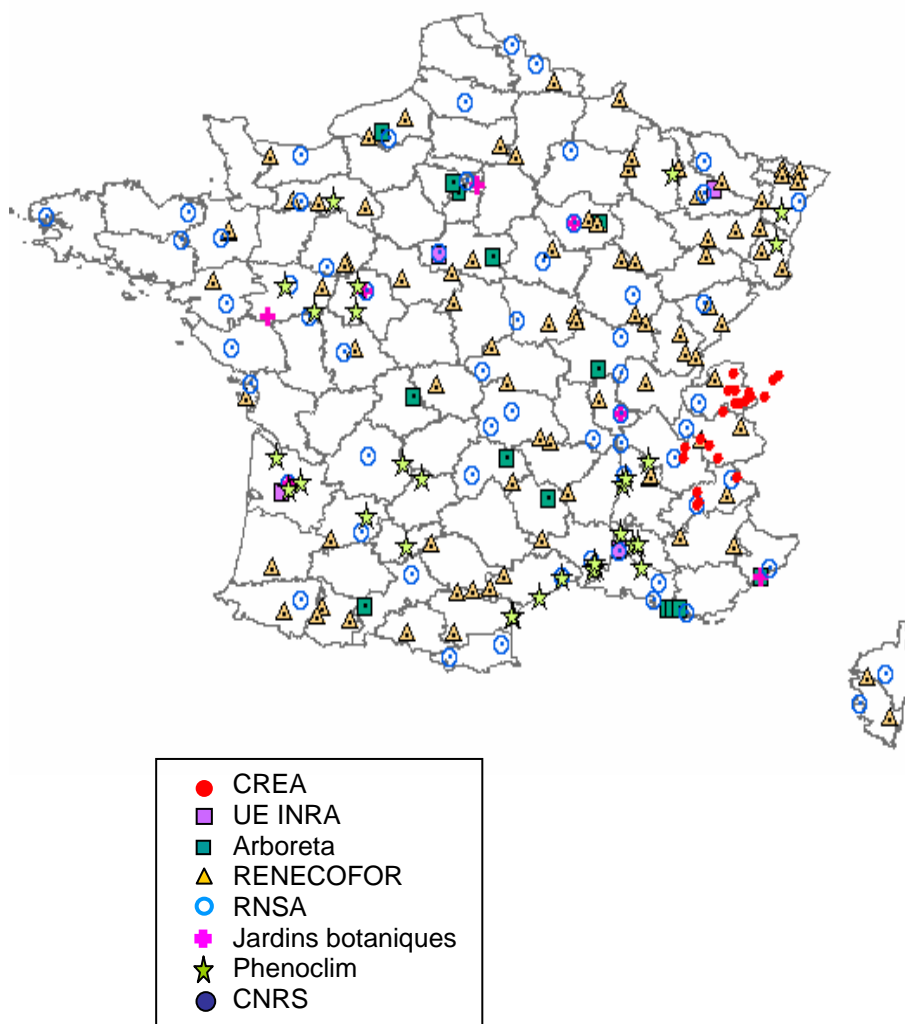


Figure 2. Répartition des sites d'observation du réseau

Les espèces et stades phénologiques observés seront sélectionnés en fonction des observations qui ont eu lieu jusqu'à nos jours, des réseaux d'observations en cours dans les autres pays européens, et de la valeur patrimoniale et socio-économique des espèces. Une

liste d'espèces à observer sera définie lors de la première réunion du groupe de travail le 22 juin 2005. Néanmoins, de part leur importance économique pour l'industrie forestière le hêtre, les chênes sessile et pédonculé, le pin maritime seront suivis dans les nouveaux sites d'observation. De même, de part leur importance pour la santé humaine, l'ambroisie, le plantain, l'armoise vulgaire, le frêne, le bouleau et le noisetier, espèces produisant du pollen allergisant, seront également suivis. Les principales espèces fruitières (abricotier, pêcher, pommier, poirier, cerisier, noyer, prunier, olivier, vigne) seront également suivies, en particulier pour leur floraison et nouaison, dans le cadre du réseau PhenoClim. Il s'agira non pas de faire observer chacune des espèces sélectionnées dans tous les sites du réseau mais d'avoir un minimum de sites d'observation pour chaque espèce.

Un groupe de travail pour réseau national d'information phénologique a été constitué (Annexe 2), il se réunira pour la première fois le 22/06/05.

Intégration dans la recherche nationale et internationale

Au niveau régional

Sur le plan régional, le projet permettra de soutenir l'action de différentes associations travaillant dans le domaine de l'environnement telles que le CREA et l'OREB qui cherchent à renseigner l'impact du changement climatique dans leur région. Il permettra le développement d'un programme pédagogique d'éveil à l'environnement et au climat en partenariat avec le monde scientifique pour l'étude de l'impact du réchauffement climatique. Il permettra également de soutenir les projets de différents instituts techniques tels que le CTIFL, et centres techniques tels que le CTPC, AREFE, SENURA, BIP, CEFEL, SERFEL.

Au niveau national

Sur le plan national ce projet de GDR s'insère d'ores et déjà dans de nombreux programmes de recherche nationaux en cours ou soumis, et séminaires de réflexion :

Projet « Quantification des effets du changement global sur la diversité des plantes terrestres », dir. P. Leadley Soumis à l'APR ANR Biodiversité.

Projet « Synchronisation phénologique et diversité biologique », dir. A. Kremer. Soumis à l'APR ANR ECCO, ECOGER.

Projet « Impact des changements climatiques sur la répartition et la phénologie de la flore française », dir. I. Chuine, financé par l'IFB 2004-005.

Projet « Phénologie des essences forestières en France : constitution d'une base de données et modélisation », dir. I. Chuine & D. Loustau, financé par la MICCES, INRA 2004-2005.

Dynamique de recolonisation du frêne oxyphylle (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) et d'hybridation avec le frêne commun (*Fraxinus excelsior* L.) face aux changements globaux, dir. N. Frascaria-Lacoste, financé par l'IFB 2004-2005.

Projet « Approches Multi-Proxy de la variabilité climatique séculaire autour de l'Ouest de L'Europe » (AMPOULE), dir. P. Yiou, financé par le PNEDC 2004-2005.

Atelier du Savoir SDV-SDU « Comment étudier les interactions entre dynamique du climat et dynamique des systèmes écologiques ». 29-30 novembre 2004 St Rémy les Chevreuses.

Séminaire de réflexion « de l'observation des écosystèmes forestiers à l'information sur les forêts » ECOFOR. 2-3 février 2005.

Au niveau international

Sur le plan international, ce projet de GDR s'insère également dorénavant et déjà dans des programmes scientifiques en cours et des séminaires de travail :

Action européenne COST 725 *Establishing a European Phenological Data Platform for Climatological Applications*. (<http://topshare.wur.nl/cost725>). 2004-2006.

European Phenological Network (www.dow.wau.nl/msa/epn/index.asp). International Society for Biometeorology.

International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests of the United Nations Economic Commission for Europe.

Global Environmental Change and Biodiversity Workshop. DIVERSITAS, TYNDALL CENTER, TERRAC, QUEST. 2-4 May 2005 Dourdan.

The GLOBE program, <http://www.globe.gov/fsl/welcome.html>

Budget sollicité

Le budget nécessaire à la réalisation du projet pédagogique n'est pas inclus dans ce budget. La réalisation du projet pédagogique dépendra donc de l'investissement que le ministère de l'éducation et les académies pourront fournir.

Fonctionnement

Création et Gestion du site internet et de la base de données (Medias France)	3 000 €
Frais d'obtention des données phénologiques et météorologiques	10 000 €
Total fonctionnement	13 000 €

Missions

Réunion annuelle du groupe de travail (12 pers.)	2 000 €
Total missions	2 000 €

Sous-total	15 000 €
Frais de gestion (10%)	1 500 €
Budget total HT	16 500 €

Budget total sur les 4 ans : 66 000 €

Références bibliographiques

1. Chuine, I. & Belmonte, J. Improving prophylaxis for pollen allergies: predicting the time course of the pollen load of the atmosphere of major allergenic plants in France and Spain. *GRANA* **43**, 1-17 (2004).
2. Aasa, A., J. Jaagus, R. Ahas & Sepp, M. The influence of atmospheric circulation on plant phenological phases in central and eastern Europe. *International Journal of Climatology* **24**, 1551-1564 (2004).
3. Menzel, A. Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO. *Climatic Change* **57**, 243-263 (2003).
4. Osborne, C. P., Chuine, I., Viner, D. & Woodward, F. I. Olive phenology as a sensitive indicator of future climatic warming in the Mediterranean. *Plant, Cell & Environment* **23**, 701-710 (2000).
5. Beaubien, E. G. & Freeland, H. J. Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature. *International Journal of Biometeorology* **44**, 53-59 (2000).
6. Chuine, I. et al. Grape ripening as an indicator of past climate. *Nature* **432**, 289-290 (2004).
7. Chuine, I. & Beaubien, E. Phenology is a major determinant of temperate tree range. *Ecology Letters* **4**, 500-510 (2001).
8. Botta, A., Viovy, N., Ciais, P., Friedlingstein, P. & Monfray, P. A global prognostic scheme of vegetation growth onset using satellite data. *Global Change Biology* **6**, 709-725 (2000).
9. Cumming, S. G., Burton, P. J. & Smith, T. M. Phenology-mediated effects of climatic change on some simulated British Columbia forests. *Climatic Change* **34**, 213-222 (1996).
10. White, M. A., Thornton, P. E. & Running, S. W. A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability. *Global Biogeochemistry Cycles* **11**, 217-234 (1997).
11. Lüdeke, M. B. K., Ramage, P. H. & Kohlmaier, G. H. The use of satellite NDVI data for the validation of global vegetation phenology models. Application to the Frankfurt biosphere model. *Ecological Modelling* **91**, 255-270 (1996).
12. Neilson, R. P. & Running, S. W. in *Global change and terrestrial ecosystems* (eds. Walker, B. & Steffen, W.) 451-465 (Cambridge University Press, Cambridge, 1996).
13. Sitch, S. et al. Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ dynamic global vegetation model. *Global Change Biology* **9**, 161-185 (2003).
14. Potter, C. S. & Klooster, S. A. Dynamic global vegetation modelling for prediction of plant functional types and biogenic trace gas fluxes. *Global Ecology and Biogeography* **8**, 473-488 (1999).
15. Jolly, W. M., Nemani, R. & Running, S. W. Enhancement of understory productivity by asynchronous phenology with overstory competitors in a temperate deciduous forest. *Tree Physiology* **24**, 1069-1071 (2004).
16. Rotzer, T., Grote, R. & Pretzsch, H. The timing of bud burst and its effect on tree growth. *International Journal of Biometeorology* **48**, 109-118 (2004).
17. Brisson, N. et al. An overview of the crop model STICS. *European Journal of Agronomy* **18**, 309-332 (2002).
18. Menzel, A. in *Phenology: An Integrative Environmental Science* (ed. Schwartz, M. D.) 319-330 (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003).
19. Menzel, A. in *Phenology: An Integrative Environmental Science* (ed. Schwartz, M. D.) 45-56 (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003).
20. Dose, V. & Menzel, A. Bayesian analysis of climate change impacts in phenology. *Global Change Biology* **10**, 259-272 (2004).
21. Badeck, F. et al. Responses of spring phenology to climate change. *New Phytologist* **162**, 295-309 (2004).
22. Ahola, M. et al. Variation in climate warming along the migration route uncouples arrival and breeding dates. *Global Change Biol* **10**, 1610-1617 (2004).
23. Stefanescu, C., Penuelas, J. & Filella, I. Effects of climatic change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean Basin. *Global Change Biology* **9**, 1494-1506 (2003).
24. Obrist, D. et al. Quantifying the effects of phenology on ecosystem evapotranspiration in planted grassland mesocosms using EcoCELL technology. *Agricultural Forest Meteorology* **118**, 173-183 (2003).

25. Menzel, A., Jakobi, G., Ahas, R. & Scheifinger, H. Variations of the climatological growing season (1951-2000) in Germany compared to other countries. *Int J Climatology* **23**, 793-812 (2003).
26. Dunne, J. A., Harte, J. & Taylor, K. J. Subalpine meadow flowering phenology responses to climate change: integrating experimental and gradient methods. *Ecological Monographs* **73**, 69-86 (2003).
27. Sparks, T. H. & Menzel, A. Observed changes in seasons: an overview. *International Journal of Climatology* **22**, 1715-1725 (2002).
28. Penuelas, J., Filella, I. & Comas, P. Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology* **8**, 531-544 (2002).
29. Ahas, R., Aasa, A., Menzel, A., Fedotova, V. G. & Scheifinger, H. Changes in European spring phenology. *International Journal of Climatology* **22**, 1727-1738 (2002).
30. Chmielewski, F. M. & Rötzer, T. Annual and spatial variability of the beginning of growing season in Europe in relation to air temperature changes. *Climate Research* **19**, 257-264 (2002).
31. Fitter, A. H. & Fitter, R. S. R. Rapid changes in flowering time in British plants. *Science* **296**, 1689-1691 (2002).
32. Menzel, A. Phenology: Its importance to the global change community - An editorial comment. *Climatic Change* **54**, 379-385 (2002).
33. Penuelas, J. & Filella, I. Responses to a warming world. *Science* **294**, 793-794 (2001).
34. Menzel, A. & Estrella, N. in *Fingerprints" of Climate Change - Adapted behaviour and shifting species ranges* (eds. Walther, G. R., Burga, C. A. & Edwards, P. J.) 123-137 (Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York and London, 2001).
35. Roy, D. B. & Sparks, T. H. Phenology of British butterflies and climate change. *Global Change Biology* **6**, 407-416 (2000).
36. Asner, G. P. & Townsend, A. R. Satellite observation of El Niño effects on Amazon forest phenology and productivity. *Geophysical research letters* **27**, 981-984 (2000).
37. Delécolle, R., J.F.Soussana & Legros, J. P. Impacts attendus des changements climatique sur l'agriculture. *Compte Rendus de l'Académie d'Agriculture de France* **4**, 45-51 (1999).
38. Bethenod, O., Ruget, F., Katerji, N., Combe, L. & Renard, D. Impact of atmospheric CO2 concentration on water use efficiency of maize. *Maydica* **46**, 75-80 (2001).
39. Chuine, I., Cour, P. & Rousseau, D. D. Fitting models predicting dates of flowering of temperate-zone trees using simulated annealing. *Plant, Cell & Environment* **21**, 455-466 (1998).
40. Chuine, I., Cour, P. & Rousseau, D. D. Selecting models to predict the timing of flowering of temperate trees: implication for tree phenology modelling. *Plant, Cell & Environment* **22**, 1-13 (1999).
41. Hänninen, H. Modelling bud dormancy release in trees from cool and temperate regions. *Acta Forestalia Fennica* **213**, 1-47 (1990).
42. Cannell, M. G. R. & Smith, R. I. Thermal time, chill days and prediction of budburst in *Picea sitchensis*. *Journal of Applied Ecology* **20**, 951-963 (1983).
43. Hunter, A. F. & Lechowicz, M. J. Predicting the timing of budburst in temperate trees. *Journal of Applied Ecology* **29**, 597-604 (1992).
44. Kramer, K. Selecting a model to predict the onset of growth of *Fagus sylvatica*. *Journal of Applied Ecology* **31**, 172-181 (1994).
45. Landsberg, J. J. Apple fruit bud development and growth; analysis and an empirical model. *Annals of Botany* **38**, 1013-1023 (1974).
46. Robertson, G. W. A biometeorological time scale for a cereal crop involving day and night temperatures and photoperiod. *International Journal of Biometeorology* **12**, 191-223 (1968).
47. Sinclair, T. R., Kitani, S., Bruniard, J. & Horide, T. Soybean flowering date: linear and logistic models based on temperature and photoperiod. *Crop Science* **31**, 786-790 (1991).
48. Chuine, I., Mignot, A. & Belmonte, J. A modelling analysis of the genetic variation of phenology between tree populations. *Journal of Ecology* **88**, 1-12 (2000).
49. Iverson, L. R., Prasad, A. M. & Schwartz, M. W. Modeling potential future individual tree-species distribution in the Eastern United States under a climate change scenario: a case study with *Pinus virginiana*. *Ecological Modelling* **115**, 77-93 (1999).
50. Thuiller, W. Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change. *Global Change Biology* **10**, 2020-2027 (2004).
51. Thuiller, W., S. Lavorel, M. B. Araújo, M. T. Sykes & Prentice, I. C. Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Science of the U.S.A* **102**, 8245-8250 (2005).

52. Menzel, A. & Fabian, P. Growing season extended in Europe. *Nature* **397**, 659 (1999).
53. Karjalainen, T., Spiecker, H. & Laroussinie, O. in *Causes and Consequences of Accelerating Tree Growth in Europe* (ed. Institute, E. F.) 286 (Nancy, France, 1998).
54. Andersen, T. B. A model to predict the beginning of the pollen season. *Grana* **30**, 269-275 (1991).
55. Bringfelt, B., Engström, I. & Nilsson, S. An evaluation of some models to predict airborne pollen concentration from meteorological conditions in Stockholm, Sweden. *Grana* **21**, 59-64 (1982).
56. Larsson, K.-A. Prediction of the pollen season with a cumulated activity method. *Grana* **32**, 111-114 (1993).
57. Bica, H., Gmoser, H. & Jäger, S. in *Second European Symposium on Aerobiology* 24 (Vienna, 2000).

Annexe 1

Répartition des membres du GDR dans les groupes de travail

1- Base de données

UMR CNRS 5175 CEFE
UMR INRA 1092 LERFOB
UMR INRA-1202 BIOGECO
UR INRA 588 AGPF
UR INRA 629 URFM
UE INRA 1116 AGROCLIM
Département Flhor du CIRAD
RENECOFOR ONF
CNRM-GAME, Meteo France
CESBIO-CNES
Association des Jardins Botaniques de France
CREA
RNSA
MEDIAS France

2- Réseau National d'information phénologique

UMR CNRS 5175 CEFE
UMR CNRS 8079 ESE
UMR INRA 1092 LERFOB
UMR INRA-1202 BIOGECO
UE INRA 570 Pierroton-Cestas
UE INRA 995 Olivet
UE INRA 348 Forêt Méditerranéenne
UE INRA 1261 Forêt Lorraine
CESBIO-CNES
RENECOFOR ONF
Département Flhor du CIRAD
Réseau d'arboreta publics
Association des Jardins Botaniques de France
RNSA
CREA

3- Programmes de recherches

3.1 La phénologie, marqueur de l'évolution du climat

UMR CNRS-CEA 1572 LSCE
UMR CNRS 5175 CEFE
UE INRA 1116 AGROCLIM
UMR CNRS 8628
UMR INAPG 518
CREA

3.2 La phénologie dans les modèles de fonctionnement de la végétation

CESBIO CNES
UMR CNRS-CEA 1572 LSCE
UMR CNRS 5175 CEFE
UR INRA 1263 EPHYSE
UMR CNRS 8079 ESE
Département Flhor du CIRAD

3.3 La phénologie en agriculture

UR INRA 1114 CSE
UE INRA 1116 AGROCLIM
Département Flhor du CIRAD

3.4 La phénologie dans les modèles de biogéographie

UMR CNRS 5175 CEFE

3.5 Phénologie et gestion des peuplements forestiers dans un contexte de changement climatique

UMR CNRS 5175 CEFE
UMR INRA-1202 BIOGECO
UMR INRA 1092 LERFOB
UMR INRA 1137 EEF
UR INRA 588 AGPF
UR INRA 629 URFM
UMR INRA 547 PIAF
UMR CNRS 8079 ESE

3.6 Phénologie, croissance, qualité du bois

UMR INRA 1137 EEF
UR INRA 588 AGPF

3.7 Phénologie des plantes allergisantes

UMR CNRS 5175 CEFE
RNSA

4- Projet pédagogique

UMR CNRS 5175 CEFE
CREA

Annexe 2

Composition du groupe de travail du réseau d'observation

Nom	Organisme	Adresse
Chuine Isabelle	CNRS	CEFE, Montpellier
Seguin Bernard	INRA	AGROCLIM Avignon
Lebourgeois François	ENGREF	LERFOB Nancy
Brachet Stéphanie	ENGREF	Arboretum National des Barres
Jean-Charles Bastien	INRA	URAGPF Olivet Orléans
Ducouso Alexis	INRA	BIOGECO Bordeaux
François Lefèvre	INRA	URFM Avignon
Jacques Périgaud	CNRS-MNHN	MNHN
Michel Thibaudon	RNSA	St Genis L'Argentière (Lyon)
Jean-Luc Dupouey (suppléant Lebourgeois)	INRA	EEF Nancy
Nathalie Bréda (suppléant Lebourgeois)	INRA	EEF Nancy
Luc Pâques (suppléant Bastien)	INRA	Olivet Orléans

Fig. 1 La phénologie. élément intéarateur des enieux du changement

