

Un réseau d'observations phénologiques pour la gestion du changement climatique

A network of phenological observations for climate change impacts management

Chuine, Isabelle (1)

(1) Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive, 1919 route de Mende, 34293 Montpellier cedex 05, isabelle.chuine@cefe.cnrs.fr

Résumé

La phénologie est l'étude de l'occurrence d'événements périodiques de la vie animale et végétale en relation avec les variations du climat. Ces événements sont par exemple la floraison des plantes, la coloration des feuilles des arbres, l'arrivée des oiseaux migrateurs etc. L'apparition des nouvelles feuilles au printemps et l'apparition de la coloration des feuilles à l'automne déterminent la période d'activité photosynthétique de la végétation à feuillage caduque, et donc les flux d'eau et de carbone échangés avec l'atmosphère, et affecte la croissance, la survie et la productivité des peuplements forestiers et des cultures. L'occurrence de ces événements est fortement dépendante de facteurs de la photopériode, et de la température. La phénologie est donc un élément clé dans la compréhension de la répartition géographique des espèces et du fonctionnement des écosystèmes, et un marqueur du climat.

Les événements phénologiques étant des caractères qui permettent aux organismes de s'adapter aux variations climatiques, les chercheurs s'y intéressent de plus en plus dans le contexte actuel de changement climatique ; sa modélisation et sa sélection génétique peuvent en effet permettre une gestion des cultures et des peuplements intégrant, par anticipation, le changement climatique.

De nombreuses études, 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, mais la France connaît dans ce domaine un certain retard qu'elle se doit de rattraper.

Le réseau national d'observation de la phénologie qui vient d'être créé a pour objectifs :

- La constitution d'une base de données des observations phénologiques réalisées en France depuis 1880 jusqu'à nos jours ;
- La poursuite les observations sur des espèces et en des sites choisis à partir des données existantes et de l'importance sociétale et économique de ces espèces ;
 - L'utilisation les observations phénologiques à des fins de recherches fondamentales et appliquées.

Mots clés : Phénologie, réseau, changement climatique

Abstract

Phenology is a climate proxy and also a key adaptive trait to changing climate conditions. In the present context of climate change, this trait takes an increasing importance in various research fields either fundamental or applied. Phenological observations allow for example to reconstruct precisely the temperature conditions of the last millennium using process-based phenological models. Vegetation phenology also affects water, carbon and energy fluxes exchanged between the biosphere and the atmosphere because it determines the period of photosynthetic activity of deciduous species. Phenology thereby affects the growth, survival and productivity of forests and crops. Modelling phenology and genetic selection of phenology may allow an anticipated management of forest stands and crops taking into account climate change. Phenology is also a key for understanding species distributions because it affects survival and reproductive success depending on the climate conditions.

Several studies, networks, databases, research and educative programs on phenology have emerged the last few years in several countries. France has missed several opportunities to develop this research field and has now to put a large effort to catch up his European homologues.

In this context, a national network of phenological observations has been created. The goals of this network are

- *to create a national database of phenological observations realised in France since 1880,*
- *to pursue phenological observations of a set of species selected on the basis of existing historical data as well as their socio-economic importance*
- *to use the phenological data for fundamental an applied research*

Keywords: Phenology, network, climate change

Introduction

Le rythme saisonnier des plantes et animaux, (principalement des régions tempérées et boréales) est un marqueur du climat (Beaubien & Freeland 2000 ; Osborne *et al.* 2000 ; Menzel 2003 ; Aasa *et al.* 2004; Chuine & Belmonte 2004 ; Chuine *et al.* 2004) mais aussi un élément clé de l'adaptation des êtres vivants aux variations climatiques (Chuine & Beaubien 2001). Dans le contexte actuel de changement climatique, ce caractère adaptatif revêt donc une importance croissante dans de nombreux domaines de recherche fondamentale et appliquée (Figure 1).

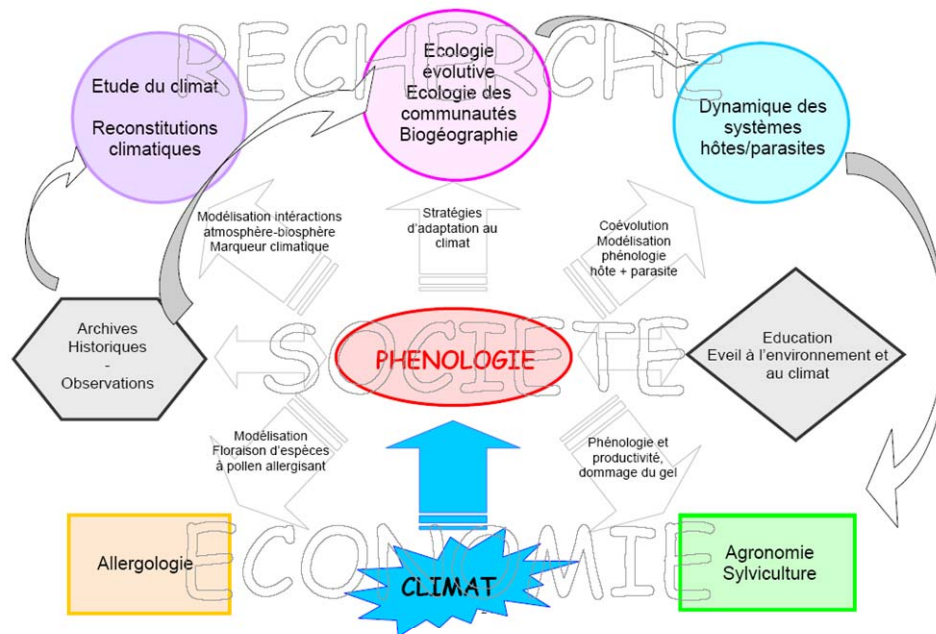


Figure 1. La phénologie, un élément intégrateur des enjeux du changement climatique

Les observations phénologiques permettent de retracer finement l'évolution du climat des derniers millénaires (Chuine *et al.* 2004) 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 (Cumming *et al.* 1996 ; Lüdeke *et al.* 1996 ; Neilson & Running 1996 ; White *et al.* 1997 ; Potter & Klooster 1999 ; Botta *et al.* 2000 ; Sitch *et al.* 2003). La phénologie affecte la croissance, la survie et la productivité des peuplements forestiers (Potter & Klooster 1999 ; Sitch *et al.* 2003 ; Jolly *et al.* 2004 ; Rotzer *et al.* 2004) et des cultures (Brisson *et al.* 2002). 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 (Chuine & Beaubien 2001) car elle affecte la

survie, le succès reproducteur et les interactions biotiques en fonction des conditions climatiques.

De nombreuses activités humaines sont dépendantes du rythme saisonnier de la végétation et de la faune. 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. 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, 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.

1. Historique des observations phénologiques

1.1. La situation nationale

En 1880 sous l'impulsion d'Angot, Météo France initia un grand programme d'observation des événements phénologiques 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 sauvages et cultivés, ainsi que l'apparition d'oiseaux migrateurs ou autres animaux. Ces observations ont perduré jusqu'en 1950 dans tous les départements, quelques départements les ont poursuivies jusqu'aux années 1970 et un seul 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. Ces observations sont maintenant intégrées à la base de données PhénoClim, qui rassemble également les observations provenant d'instituts techniques (CTIFL¹, ITV²) et de différentes structures professionnelles. L'INRA collecte aussi des données sur des espèces forestières cultivées dans des unités expérimentales ou des tests de provenances ou de descendance à des fins de sélection. L'ONF, qui au travers du réseau RENECOFOR³, réalise quant à lui depuis 1997 des observations phénologiques (débourrement et/ou sénescence) sur 12 essences forestières dans 86 stations forestières.

¹ Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes

² Institut technique de la vigne et du vin

³ Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers

1.2. 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 des 18^e et 19^e siècles – telles la série de Thomas Mikesell en Ohio (1883-1912) ou la série de la famille Marsham en Angleterre (1736-1925). Il existe beaucoup d'autres séries d'observations 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 et la Lettonie réalisent des observations phénologiques depuis plusieurs décennies. L'Allemagne à elle seule possède 6 423 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 dont le but est la création d'une base de données et d'un réseau d'observations à l'échelle européenne par homogénéisation des bases de données nationales et des réseaux nationaux d'observations.

2. Présentation du réseau d'observations phénologiques pour la gestion du changement climatique

Le réseau national d'observation de la phénologie est né en février 2006 sous la forme du Groupement de recherche (GDR) 2968 « Système d'Information Phénologiques pour la Gestion et l'Etude du Changement Climatique (SIP-GECC) ». Sa création procède de la conjonction de deux éléments :

- la prise de conscience de l'importance des observations phénologiques pour les recherches fondamentales et appliquées visant à étudier et à gérer les impacts des changements climatiques et, parallèlement, du manque de données à l'échelle de la France ;
- l'Action COST 725, dans laquelle la France jouait un rôle jusqu'ici limité (à l'exception de PhénoClim) du fait de l'absence de bases de données et de réseau d'observation dédié à la phénologie sur son territoire.

Les membres du GDR⁴ 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.

⁴ Voir la liste sur le site web du GDR : www.obs-saisons.fr/gdr

Les objectifs

Les objectifs du GDR sont :

- La constitution d'une base de données des observations phénologiques réalisées en France par divers organismes depuis 1880 jusqu'à nos jours ;
- La poursuite des observations sur des espèces et en des sites choisis à partir des données existantes et de l'importance sociétale et économique de ces espèces ;
- L'utilisation des observations dans des 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 ;
- L'initiation d'un projet pédagogique d'éveil à l'environnement pour les classes du primaire en proposant l'observation de la phénologie de certaines espèces et l'intégration de ces observations dans la base de données.

2.1. Base de données

2.2.1. *Etat des lieux*

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 ou les jardins botaniques, et elles concernent essentiellement la flore sauvage et cultivée et plus rarement la faune sauvage. Le GDR a rassemblé une grande partie de ces différentes données, mais certaines restent à numériser et homogénéiser. Une base de données a été créée, est gérée par Medias France et sera accessible sur le site internet du GDR à l'adresse www.obs-saisons.fr/gdr. 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.

2.2.2. *Nature et utilisation des données*

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. Seule une petite partie de ces données a été numérisée. Une autre partie vient du réseau RENECOFOR et des 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 et 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 provenances ou descendances 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. Les données qui en sont issues 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 ou les arboreta (e.g. jardin des plantes de Paris, parc de St Maur, parc de Versailles, arboretum national des Barres). 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 NDVI⁵. Le CESBIO et le LSCE possèdent de telles données à basse résolution depuis 1998 et à haute résolution depuis 2002. Le RNSA fournit les concentrations polliniques atmosphériques de 58 sites en France, 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, à une échelle globale, 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.

2.2. Réseau d'observations

Deux réseaux d'observation de la phénologie ont été créés au cours de l'année 2006 : un réseau scientifique et un réseau amateur appelé L'Observatoire Des Saisons. Ces deux réseaux alimentent la base de données nationale.

⁵ Normalized Difference Vegetation Index : c'est l'indice de végétation le plus couramment utilisé pour estimer la quantité de végétation présente sur une zone et suivre son évolution.

2.2.1. Réseau scientifique www.obs-saisons.fr/gdr

Il est 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 (Figure 2) a été créé sur la base des réseaux et sites d'observation existants – RENECOFOR, PhénoClim, le RNSA – complétés par certains jardins botaniques et arboreta publics ainsi que les unités expérimentales INRA 570 (Cestas), 995 (Olivet), 378 (Avignon) et 347 (Champenoux).

Les observations sont réalisées uniquement sur la flore et selon un protocole établi en commun utilisant le code BBCH⁶ (adopté pour le réseau européen COST 725) et disponible sur le site internet du GDR.

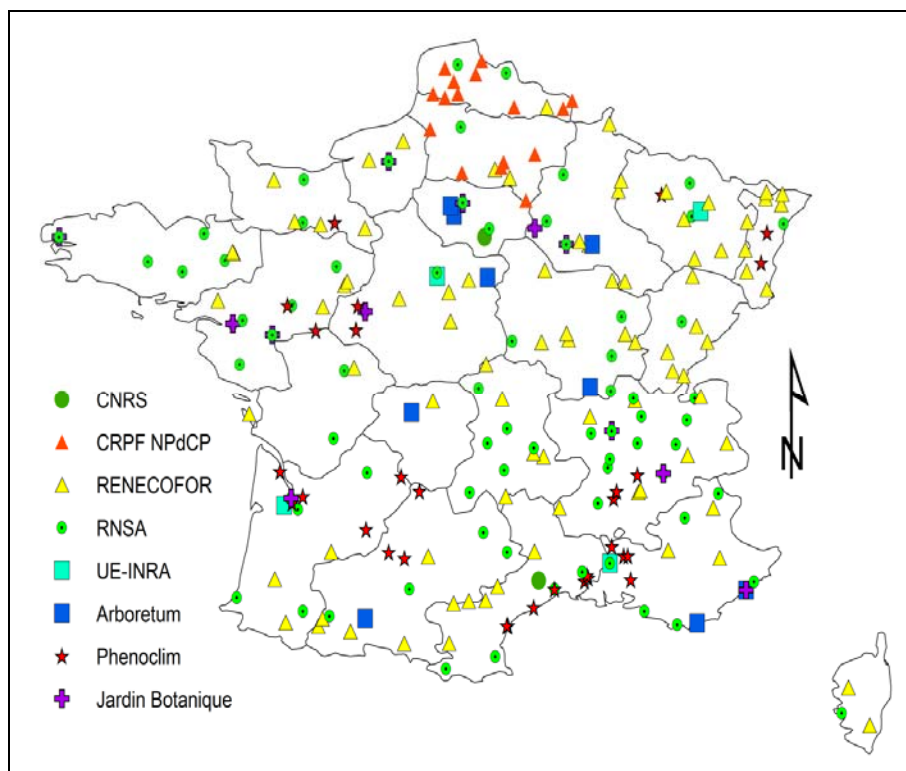


Figure 2. Répartition des sites d'observation du réseau professionnel

2.2.2. Réseau amateur : L'Observatoire Des Saisons www.obs-saisons.fr

L'Observatoire Des Saisons et L'Observatoire Des Saisons Junior sont deux programmes de sensibilisation du public à la problématique du changement climatique et de

⁶ Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt et Chemische Industrie. Cette échelle décimale sert à la codification des stades phénologiques des mono- et dicotylédones. Elle est divisée en stades de développement principaux et secondaires.

participation citoyenne à la recherche. Le premier s'adresse aux particuliers, le second aux élèves des écoles primaires et collèges. Le réseau amateur vient compléter le réseau géré par les organismes scientifiques. Ce réseau est à ce jour piloté par le GDR et est relayé auprès du grand public par plusieurs associations dont Planètes Sciences, Le Centre de Recherche sur les Ecosystèmes d'Altitude et Tela Botanica. Une liste de plantes et animaux est proposée à l'observation et des protocoles d'observation sont mis à disposition sur les sites www.obs-saisons.fr et www.obs-saisons.fr/junior. Les observations sont ensuite saisies sur les sites internet et intégrées dans la base de données. Une expertise des observations et une validation des données est effectuée chaque fin d'année par un scientifique du GDR. Les participants peuvent visualiser leurs observations en temps réel sur des cartes de France et analyser selon des méthodes proposées par les scientifiques sur les sites leurs observations. Enfin, des dossiers en ligne sur le changement climatique et de biodiversité sont proposés.

Conclusion — Perspectives

Les deux réseaux d'observation, professionnel et amateur, sont maintenant en place. Les nombreux programmes de recherche en cours et publications faisant appel aux données accumulées témoignent de l'importance de disposer au niveau national d'un tel réseau. L'apport du réseau amateur en termes scientifiques est loin d'être négligeable et un effort doit être porté pour assurer le succès de ce réseau qui est précaire du fait d'un manque de potentiel humain et de crédits. L'apport des associations dans le projet est pour cela capital.

Références bibliographiques

- Aasa A., J. Jaagus, R. Ahas et Sepp M., 2004. The influence of atmospheric circulation on plant phenological phases in central and eastern Europe, *International Journal of Climatology*, 24, p. 1551-1564.
- Beaubien E.G. et Freeland H.J., 2000. Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature, *International Journal of Biometeorology*, 44, p. 53-59.
- Botta A., Viovy N., Ciais P., Friedlingstein P. et Monfray P., 2000. A global prognostic scheme of vegetation growth onset using satellite data, *Global Change Biology*, 6, p. 709-725.
- Brisson N., Gary C., Justes E., Roche R., MAry B., Ripoche D., Zimmer D., Sierra J., Bertuzzi P., Burger P., Bussièrre F., Cabidoche Y.M., Cellier P., Debaeke P., GAudillère J.P., Hérault C., Maraux F., Seguin F.B. et Sinoquet H., 2002. An overview of the crop model STICS, *European Journal of Agronomy*, 18, p. 309-332.
- Chuine I. et Beaubien E., 2001. Phenology is a major determinant of temperate tree range, *Ecology Letters*, 4, p. 500-510.
- Chuine I. et Belmonte J., 2004. 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, p. 1-17.
- Chuine I., Yiou P., Viovy N., Seguin B., Daux V. et Ladurie E.L.R., 2004. Grape ripening as an indicator of past climate, *Nature*, 432, p. 289-290.
- Cumming S.G., Burton P.J. et Smith T.M., 1996. Phenology-mediated effects of climatic change on some simulated British Columbia forests, *Climatic Change*, 34, p. 213-222.

- Jolly W.M., Nemani R. et Running S.W., 2004. Enhancement of understory productivity by asynchronous phenology with overstory competitors in a temperate deciduous forest, *Tree Physiology*, 24, p. 1069-1071.
- Lüdeke M.B.K., Ramage P.H. et Kohlmaier G.H., 1996. The use of satellite NDVI data for the validation of global vegetation phenology models. Application to the Frankfurt biosphere model, *Ecological Modelling*, 91, p. 255-270.
- Menzel A., 2003. Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO, *Climatic Change*, 57, p. 243-263.
- Neilson R.P. et Running S.W., 1996. Global dynamics vegetation modelling coupling biogeochemistry and biogeography models, in: Walker B. et Steffen W., *Global change and terrestrial ecosystems*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 451-465.
- Osborne C.P., Chuine I., Viner D. et Woodward F.I., 2000. Olive phenology as a sensitive indicator of future climatic warming in the Mediterranean, *Plant, Cell & Environment*, 23, p. 701-710.
- Potter C.S. et Klooster S.A., 1999. Dynamic global vegetation modelling for prediction of plant functional types and biogenic trace gas fluxes, *Global Ecology and Biogeography*, 8, p. 473-488.
- Rotzer T., Grote R. et Pretzsch H., 2004. The timing of bud burst and its effect on tree growth, *International Journal of Biometeorology*, 48, p. 109-118.
- Sitch S., Smith B., Prentice I.C., Arneth A., Bondeau A., Cramer W., Kaplan J.O., Levis S., Lucht W., Sykes M.T., Thonicke K. et Venevsky S., 2003. Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ dynamic global vegetation model, *Global Change Biology*, 9, p. 161-185.
- White M.A., Thornton P.E. et Running S.W., 1997. A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability, *Global Biogeochemistry Cycles*, 11, p. 217-234.