

Observations phénologiques des arbres forestiers : concepts, intérêts et problématiques actuelles

Tous les forestiers font spontanément des observations phénologiques... sans forcément savoir ce qu'est la phénologie ! Voici un aperçu qui en montre l'importance, ne serait-ce que pour appréhender les mécanismes de réaction aux variations climatiques et se préparer aux changements attendus.

La phénologie : élément clé de l'autécologie des essences

La phénologie étudie les variations des phénomènes périodiques du développement animal et végétal et leurs relations avec les facteurs climatiques. Pour les plantes, le développement correspond à toute modification qualitative des caractères morphologiques externes. Le champ d'étude de la phénologie consiste donc à enregistrer, dans le temps, le retour des étapes de leur croissance et de leur développe-

ment et à étudier les facteurs qui l'influencent. En tant que marqueur du climat, la phénologie est donc un élément clé de l'autécologie des essences car elle permet de mieux appréhender leur adaptation au contexte écologique et climatique local de développement (Figure 1).

Historiquement, c'est pour les essences d'arboriculture et forestières que cette adaptation a fait l'objet des études les plus nombreuses dans le cadre des programmes d'amélioration génétique ou de travaux prenant en considération la variabilité génétique de

l'espèce. De nombreux travaux ont montré que les populations naturelles sont étroitement adaptées à leur situation climatique locale afin de minimiser les risques de dégâts occasionnés, par exemple, par les gelées précoces ou tardives sur la survie, le succès reproducteur ou plus simplement la croissance. Ainsi, dans le domaine forestier, la connaissance précise de ces cycles permet de choisir les espèces et les provenances les mieux adaptées en vue de leur utilisation en reboisement dans des contextes différents de ceux d'origine.

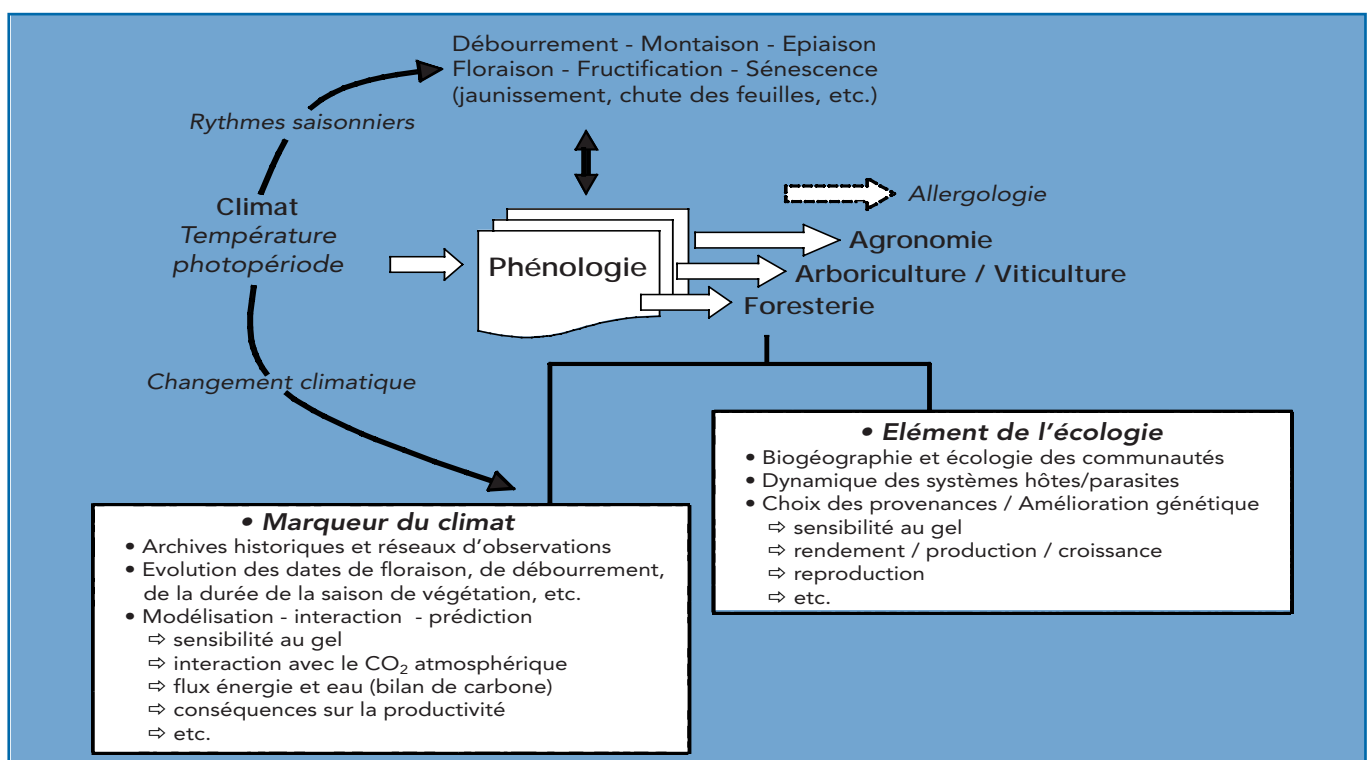


Fig. 1 : la phénologie : élément de l'autécologie et marqueur des changements environnementaux



Bourgeons allongés, écailles non soulevées
 Bourgeons tendres ; début de décollement des écailles

Ouverture des écailles

Bourgeons épanouis ; les feuilles commencent à se déplier

Bourgeons allongés, écailles non soulevées

Ouverture des écailles

Bourgeons épanouis ; les feuilles se déplient

Figure 2 : stades phénologiques observés sur chêne pédonculé, hêtre et pin sylvestre

Pour les arbres, les évènements phénologiques majeurs (ou phénophases) sont le débournement, la floraison, la maturation des fruits et la sénescence (coloration des feuilles ou chute). (Figure 2). Pour les arbres forestiers, le débournement est le paramètre le plus largement observé suivi de la sénescence. Très peu de données existent quant à la floraison et la maturation des fruits. La mise en place des feuilles, leur développement et leur chute déterminent la période de végétation pendant laquelle les arbres à feuilles caduques sont photosynthétiquement actifs. Le développement foliaire est donc un facteur clé dans l'étude des différents flux d'eau et de carbone échangés avec l'atmosphère et donc de la productivité primaire des écosystèmes forestiers. C'est ainsi un composant majeur des modèles globaux de fonctionnement de la végétation associés aux modèles de circulation générale atmosphérique.

La phénologie : un outil pour l'étude des changements climatiques

Depuis ces dernières années, l'étude du cycle de développement a pris une importance croissante dans le cadre des études sur les répercussions possibles du réchauffement climatique sur la dynamique des écosystèmes forestiers. Les cycles de développement étant essentiellement sous déterminisme climatique (température et durée d'insolation ou photopériode), les variations du climat déjà observées dans de nombreuses régions du globe et en France (environ +1 °C sur la température moyenne depuis les 50 dernières années) pourraient avoir d'importantes répercussions sur la durée de la saison de végétation des espèces herbacées et des arbres, c'est-à-dire, à terme, sur le bilan de carbone des écosystèmes forestiers.

Les séries d'observations anciennes donnent de précieuses indications

Dans le monde, il existe quelques séries d'observations phénologiques remarquables soit par leur longueur, soit par leur qualité. Ces séries peu-

vent être 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). Elles peuvent également provenir d'observations de naturalistes des 18^e et 19^e siècles 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 à l'initiative d'organismes nationaux, en général les instituts météorologiques ou les instituts agronomiques. L'Allemagne à elle seule possède 6 423 stations d'observations phénologiques gérées depuis 1951 par l'institut météorologique allemand. C'est d'ailleurs sous l'impulsion des Allemands Schnelle et Volkert, que le réseau « International Phenological Gardens » a été mis en place dans les années 1960. Ce réseau fonde ses observations sur un certain nombre d'essences forestières ; dans chaque pays participant les mêmes clones ont été utilisés afin de dresser des cartes de stades phénologiques en fonction des dates et des différences météorologiques entre grandes régions. C'est à partir de ces sources de données anciennes et de ces réseaux que les premières observations d'évolution à long terme ont été publiées au début des années 2000. Ainsi, la majorité des études menées sur les espèces anima-

les ou végétales (herbacées, arbustives ou arborées) ont montré des tendances fortes sur différents événements printaniers comme la floraison, la sortie des feuilles, les dates de migration, etc. Concernant les espèces végétales, les tendances sur les événements d'automne (maturation des fruits, jaunissement, chute des feuilles, etc.) sont plus variables et généralement moins importantes (Tableau 1).

Allongement de la saison de végétation depuis 1950

Globalement, il apparaît que, depuis les années 1950, les dates des événements printaniers ont avancé de 2 à 4 jours par décennie et que celles des phases automnales ont reculé de 1 à 3 jours. Ainsi, depuis 50 ans, la durée de la période d'activité photosynthétique a augmenté de 10 à 15 jours. Ces observations sont cohérentes avec les données satellitaires disponibles depuis le début des années 1980 qui montrent que la saison de végétation débute actuellement en moyenne 8 (± 3) jours plus tôt et se termine en moyenne 4 (± 2) jours plus tard. Ces données satellitaires sont elles-mêmes cohérentes avec l'augmentation de 20 %, observée depuis les années 1970, de l'amplitude du cycle saisonnier du CO₂ atmosphérique et de la précocité de 7 jours constatée pour la diminution de la teneur en CO₂¹ au printemps et en début d'été.

Conséquences probables sur la sensibilité au gel et le bilan de carbone

Il existe encore de très nombreuses interrogations sur les conséquences à long terme des changements déjà observés. Parmi les questions actuelles, celle de la modification de la sensibilité aux gelées est une préoccupation majeure. Les processus de résistance au froid et de débourrement sont étroitement sous la dépendance de la température. Ainsi, une modification du rythme d'accumulation des températures « froides » en hiver et « chaudes » en fin d'hiver et au printemps pourrait se traduire par un ajustement moins efficace et un débourrement plus précoce et donc par une augmentation du risque de dommage dû au gel. Des dates de débourrement et des sensibilités au gel différentes pourraient entraîner, à terme, une modification notable des conditions de croissance et de concurrence entre arbre et entre les espèces. Ces modifications pourraient avoir des conséquences importantes sur la capacité de réponse à la compétition surtout dans le cas de peuplements mélangés. Différentes études estiment que les bilans de carbone pourraient être également fortement affectés notamment à travers les modifications des équilibres photosynthèse (gains) et respiration (pertes). Enfin, l'interaction avec le CO₂ atmosphérique reste encore à l'heure actuelle largement inconnue. Cependant, quelques études menées

Régions	Phénophase	Nb	Δ	Période	Référence
Europe	phases print.	14	-2,0	1959-1993	(Menzel et Fabian 1999)
Europe, Am. du Nord Asie	phases print.	33	-3,9	1950-2000	(Root et al. 2003)
Allemagne	jaunissement	3	+0,7	1951-1996	(Menzel et al. 2001)
Allemagne	débourrement	5	-3,2	1951-1996	(Menzel et al. 2001)
Estonie	débourrement	2	-2,3	1948-1996	(Ahas et al. 2000)
Europe, Am. du Nord	débourrement	9	-3,5	1950-2000	(Root et al. 2003)
Espagne	floraison	38	-4,2	1952-2000	(Penuelas et al. 2002)
Am. du Nord	floraison	14	-3,0	1970-1999	(Abu-Asab et al. 2001)
Estonie	floraison	3	-2,5	1948-1996	(Ahas et al. 2000)
Europe, Am. du Nord	floraison	12	-3,6	1950-2000	(Root et al. 2003)
Espagne	fructification	17	-8,0	1974-2000	(Penuelas et al. 2002)
Europe	phases autom.	14	+1,6	1959-1993	(Menzel et Fabian 1999)

Tab. 1 : changement des phénophases au cours des dernières décennies pour les espèces ligneuses

Δ = précocité (signe -) ou retardement (signe +) de l'événement en jours par décennie. Nb = nombre d'espèces ; print. = printanières.

¹ due à l'activité de photosynthèse

Espèces	Régions	Période	Δ	Référence
<i>Quercus robur</i>	U. K.	1950-1996	-4,3 à -5,8	Cannell <i>et al.</i> 1999
<i>Quercus robur</i>	Allemagne	1951-1996	-3,1	Menzel <i>et al.</i> 2001
<i>Quercus robur</i>	Estonie	1948-1996	-1,7	Ahas <i>et al.</i> 2000
<i>Betula pendula</i>	Allemagne	1951-1996	-3,7	Menzel <i>et al.</i> 2001
<i>Betula pendula</i>	Estonie	1948-1996	-2,9	Ahas <i>et al.</i> 2000
<i>Betula pendula</i>	Europe du Nord	1951-1998	-2,7	Ahas <i>et al.</i> 2002
<i>Fagus sylvatica</i>	Allemagne	1951-1996	-2,3	Menzel <i>et al.</i> 2001
<i>Picea abies</i>	Allemagne	1951-1996	-3,1	Menzel <i>et al.</i> 2001
<i>Populus tremuloides</i>	Canada	1900-1997	-2,6	Beaubien & Freeland 2000

Tab. 2 : changement des dates de débourrement pour quelques essences arborées forestières

Δ = précocité (signe -) de l'événement en jours par décennie.

sur des jeunes plants (sur épicéa notamment) en conditions contrôlées, ont montré que les besoins en températures « chaudes » étaient plus importants lorsque la concentration de CO₂ était le double de celle d'aujourd'hui ce qui se traduisait par un débourrement plus tardif de quelques jours. Le doublement du CO₂ se traduit également par un repos du bourgeon plus précoce en automne et donc par une saison de végétation réduite de plus de 20 jours. Ainsi, en augmentant la somme des températures chaudes nécessaire au débourrement, l'augmentation de la teneur en CO₂ atmosphérique pourrait diminuer les risques de gelées mais modifier fortement le bilan de carbone à travers une période d'assimilation réduite et/ou une augmentation de la respiration.

Le système d'information phénologique français pour l'étude et la gestion des changements climatiques (SIP-GECC)

La France n'a malheureusement pas participé au réseau européen mis en place dans les années 1960, mais elle dispose cependant d'un grand nombre d'observations d'origines diverses. Météo-France a réalisé des observations dans tous les départements jusqu'en 1950. Seuls quelques départements les ont poursuivies jusque dans les années 1970, et un seul département les a poursuivies jusqu'à

aujourd'hui. Parallèlement à ces observations, l'administration forestière a également réalisé les mêmes observations sur des placettes forestières entre 1880 et 1932. À 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 arboretums, 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 réalisé des observations sur les arbres fruitiers et autres espèces forestières cultivées dans des unités expérimentales ou des tests de provenances ou de descendance à des fins de sélection. Des observations ont été reprises également dans certains jardins botaniques comme le Jardin des Plantes de Paris depuis 2000 (PhénoFlore). Au niveau des peuplements forestiers adultes en conditions naturelles, ce sont les observations réalisées depuis 1997 dans le cadre du réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers (RENECOFOR) qui constituent actuellement la base forestière la plus « complète » en terme de diversité d'essences (10 espèces), de répartition géographique (90 peuplements répartis sur la France entière) et du nombre d'années (1997-2003). Les résultats des analyses effectuées dans le réseau RENECOFOR sont présentés dans l'article suivant.

Afin de constituer une base de données des observations phénologiques disponibles en France depuis 1880 et de poursuivre les observations, un groupement de recherche a été créé à la fin de l'année 2005 (GDR 2968 – SIP-GECC ; site web et base de données en cours de création). Ce GDR regroupe divers organismes de recherches, de développement, d'instituts techniques, etc. À terme, l'analyse des données devrait permettre, entre autres, de détecter des changements de comportements phénologiques et d'identifier les composantes climatiques locales, régionales et globales responsables de ces évolutions.

Conclusions

La phénologie est un élément clé de l'adaptation des êtres vivants aux variations climatiques et constitue ainsi un marqueur du climat de première importance. En affectant les flux d'eau et de carbone échangés avec l'atmosphère, le cycle phénologique est une composante majeure des modèles globaux de fonctionnement de la végétation associés aux modèles de circulation générale atmosphérique. Dans le contexte actuel du réchauffement, ce caractère adaptatif revêt donc une importance croissante dans de nombreux domaines de recherche fondamentale et appliquée.

François Lebourgeois
Janis Differt

LERFOB-INRA-ENGREF Nancy,
lebourgeois@engref.fr

Isabelle Chuine

CEFE-CNRS Montpellier, France
isabelle.chuine@cefe.cnrs.fr

Erwin Ulrich,

Sébastien Cecchini

Marc Lanier

ONF Département Recherches
Fontainebleau

Bibliographie

La bibliographie complète est disponible auprès des auteurs