

PREMIÈRES OBSERVATIONS PHÉNOLOGIQUES DES PEUPELEMENTS DU RÉSEAU NATIONAL DE SUIVI À LONG TERME DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS (RENECOFOR)

FRANÇOIS LEBOURGEOIS - JANIS DIFFERT - ANDRÉ GRANIER
NATHALIE BRÉDA - ERWIN ULRICH

La phénologie étudie les relations entre phénomènes climatiques et caractères morphologiques externes du développement annuel des végétaux (Galoux *et al.*, 1967). Depuis de nombreuses années, les observations phénologiques constituent des données très importantes pour les améliorateurs (choix des provenances selon la précocité ou la tardiveté du débourrement) (Fady, 1991 ; Vernier et Teissier du Cros, 1996) et font partie des éléments de la connaissance de l'autécologie des essences (Cointat, 1959 ; Malaisse, 1967 ; Becker, 1981 ; Comps *et al.*, 1987). Elles sont également un des éléments clés pour la modélisation des bilans hydriques des peuplements (Granier *et al.*, 1995). En France, en raison de l'absence d'observations à long terme sur la même essence dans plusieurs régions, les liens existant entre l'apparition d'un stade phénologique donné et les facteurs qui l'influencent, au niveau régional, sont encore largement méconnus (sauf pour les espèces étudiées par les améliorateurs) (Ulrich, 1997). En effet, la France n'a malheureusement pas participé au réseau européen d'observations phénologiques "International Phenological Gardens" mis en place par les Allemands Schnelle et Volkert et opérationnel depuis le début des années 1960 (Chmielewski, 1997). Dans chaque pays participant, les mêmes clones de diverses essences forestières sont utilisés afin de dresser des cartes de stades phénologiques en fonction des dates et des différences météorologiques entre grandes régions.

Au début des années 1990, le "Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers" (RENECOFOR) a été mis en place par l'Office national des Forêts (Ulrich, 1995). Ce réseau a pour objectifs de suivre sur au moins trente ans la dynamique de 102 peuplements forestiers répartis sur l'ensemble du territoire. Face à notre méconnaissance de la phénologie des essences forestières et à l'intérêt croissant de ces observations dans le cadre des effets potentiels du réchauffement climatique sur la durée de la saison de végétation (Lebourgeois *et al.*, 2001), des notations de débourrement et de jaunissement des feuilles sont effectuées, depuis 1997, dans les peuplements du réseau. Cet article dresse le bilan des trois premières années d'observations (période 1997-1999). L'objectif est d'apporter des éléments d'information quant à la variabilité inter-spécifique, inter-annuelle et spatiale du débourrement et de la chute des feuilles des 10 principales essences forestières françaises. Il ne s'agit pas de relier ces observations **préliminaires** à des paramètres climatiques précis ou même d'élaborer des modèles prédictifs. Même si ces derniers sont de plus en plus employés pour prédire les conséquences du réchauffement sur la phénologie et la croissance des arbres (Kramer *et al.*, 2000), les différents modèles existants (voir synthèse dans Differt, 2001) nécessitent la prise en compte de paramètres physiologiques précis (besoins en froid, seuils d'action thermique, cumul des sommes de température...) qui dépassent le cadre de l'étude présentée ici.

PRÉCISIONS MÉTHODOLOGIQUES

Les caractéristiques stationnelles et dendrométriques des 102 peuplements adultes ont été présentées dans des publications précédentes et ne seront pas reprises ici. Les essences forestières étudiées sont le Chêne sessile et pédonculé ($n = 30$ sites), le Hêtre ($n = 20$), le Pin sylvestre ($n = 14$), le Sapin pectiné ($n = 11$), l'Épicéa commun ($n = 11$), le Pin maritime ($n = 7$), le Douglas ($n = 6$), le Pin laricio de Corse ($n = 2$) et le Mélèze d'Europe ($n = 1$). Entre 1997 et 1999, des observations phénologiques ont été effectuées sur 93 des 102 peuplements. Lors des phases de débourrement au printemps et de jaunissement en automne (feuillus et Mélèze), des observations ont été effectuées chaque semaine, à l'aide de jumelles, sur les mêmes 36 arbres de l'enclos de 0,5 ha, par les mêmes observateurs. Au printemps, c'est la proportion d'arbres présentant des bourgeons ouverts sur au moins 20 % du houppier qui est observée. Pour les Chênes et le Hêtre, cette notation correspond à des bourgeons épanouis avec, dans la majorité des cas, une jeune feuille déjà étalée (stades b₅ et b₄ des échelles de notation phénologique) (Ulrich, 1997 ; Differt, 2001). À l'automne, les observateurs se sont intéressés à la proportion d'arbres présentant un début de jaunissement des feuilles (sénescence marquée par la décoloration partielle des feuilles ou aiguilles) sur au moins 20 % du houppier. Aux deux époques, ils se sont attachés à préciser si la proportion considérée était inférieure à 10 %, comprise entre 10 et 90 % ou supérieure à 90 %. Le début ou la fin du débourrement ou du jaunissement apparaît ainsi au cours d'une période délimitée par deux observations successives entre lesquelles a été franchi le seuil des 10 % ou 90 %. On s'est référé ici, par convention, au jour médian de cette période pour dater le stade phénologique correspondant. Le nombre de jours compris entre le début et la fin du débourrement ou du jaunissement a fourni la durée du processus correspondant. La saison de végétation est définie par le nombre de jours séparant le début du débourrement (10 % d'arbres "verts") de la fin du jaunissement (90 % d'arbres "jaunes"). Les dates indiquées dans la suite correspondent par conséquent à un stade moyen pour un échantillon d'arbres. La variabilité inter-individuelle est donc partiellement gommée et la durée du processus intra-couronne (évolution différentielle des bourgeons, feuilles ou aiguilles selon leur position dans le houppier) n'est pas prise en compte.

VARIABILITÉ PHÉNOLOGIQUE DES HÊTRAIES

Dans la majorité des cas, le débourrement commence dans la seconde quinzaine d'avril (moyenne : 22 avril) et dure 9 jours (de 7 à 21 jours) (tableau I, p. 412 et figure 1, p. 409). Une différence de près de un mois et demi est observée entre les peuplements les plus précoces (7 avril dans le Finistère, 30 mars dans les Pyrénées-Atlantiques) et les plus tardifs (Gard, 14 mai). Certains peuplements présentent une faible variation entre années du début du débourrement (1 à 6 jours, Calvados, Seine-Maritime, Drôme, Haute-Marne). Pour d'autres sites, les écarts sont plus importants de 6 à 22 jours (Aisne, Côte-d'Or, Doubs, Vosges). En moyenne, pour les trois années d'observation et l'ensemble des peuplements, l'écart-type inter-annuel du début du débourrement est de 7 jours. La fin du jaunissement apparaît le 19 octobre et dure 17 jours (5 à 33 jours) (tableau I, p. 412). Environ deux mois séparent la hêtraie la plus précoce (Vosges, 23 septembre) de la plus tardive (Pyrénées-Atlantiques, 16 novembre). Par rapport à la date de débourrement, la fin du jaunissement apparaît plus variable. Pour un même peuplement, les écarts entre années sont souvent compris entre 6 et 20 jours (écart moyen = 12 jours, maximum = 40 jours). La saison de végétation des hêtraies dure en moyenne 179 jours (tableau I, p. 412 et figure 2, p. 409). Elle est plus courte pour les hêtraies d'altitude (Gard, altitude 1 400 m, 128 jours ; Drôme, altitude 1 320 m, 149 jours), ainsi que pour les peuplements de l'Allier (altitude 590 m, 158 jours) et des Vosges (altitude 400 m, 156 jours). Les durées les plus

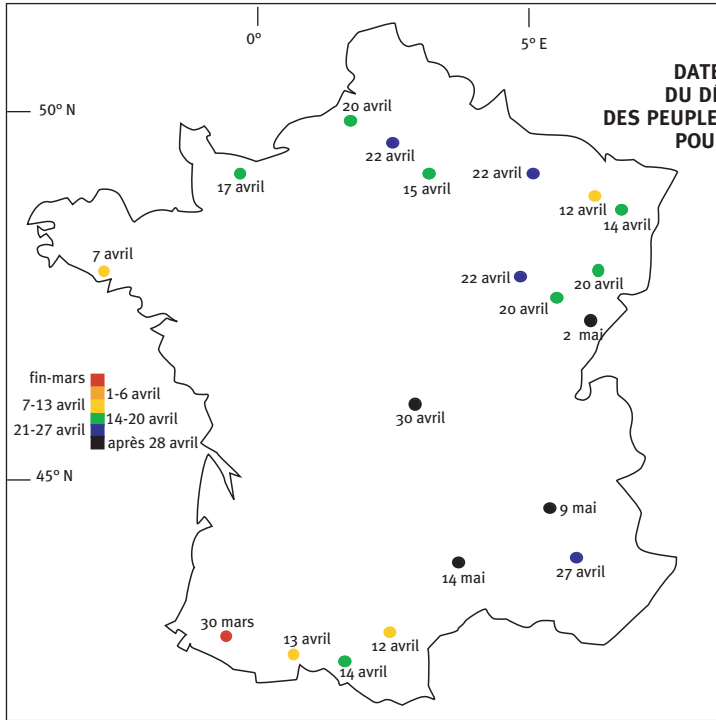


FIGURE 1
DATES MOYENNES DE DÉBUT
DU DÉBOURREMENT DU HÊTRE
DES PEUPLMENTS DU RÉSEAU RENECOFOR
POUR LA PÉRIODE 1997-1999

La date indiquée correspond au jour médian de la semaine pour laquelle 10 % des arbres présentent sur au moins 20 à 50 % du houppier des bourgeons ouverts (stade b4)

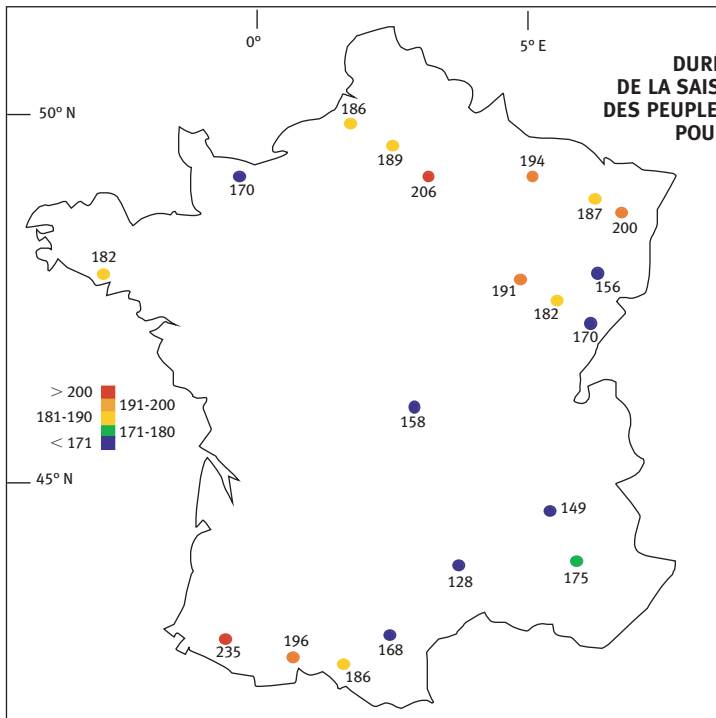


FIGURE 2
DURÉE MOYENNE (EN JOURS)
DE LA SAISON DE VÉGÉTATION DU HÊTRE
DES PEUPLMENTS DU RÉSEAU RENECOFOR
POUR LA PÉRIODE 1997-1999

La durée correspond à la différence entre le jour de la semaine correspondant à 90 % de sénescence et le jour de la semaine correspondant à 10 % de débourrement

longues sont observées pour les peuplements de l'Aisne (altitude 145 m, 206 jours), de la Meurthe-et-Moselle (altitude 325 m, 200 jours) et des Pyrénées-Atlantiques (altitude 400 m, 235 jours). Pour la majorité des hêtraies, la variabilité inter-annuelle est inférieure à 12 jours (écart-type de 0 à 28 jours).

L'analyse spatiale suggère un débourrement plus précoce d'environ 10 jours des hêtraies méridionales (4 peuplements) par rapport à celles du grand quart Nord-Est. Pour ces dernières (7 peuplements), le débourrement commence vers le 22 avril et dure environ 9 jours. Le jaunissement se termine vers le 20 octobre. La saison de végétation est de 181 jours en moyenne. Ces observations sont en accord avec les estimations satellitaires de Duchemin (1998) indiquant que, pour la période 1989-1994, le débourrement se produit en forêt de Haye (Meurthe-et-Moselle) entre le 24 avril et le 5 mai, l'écart-type étant d'environ 5 jours. Pour la période 1976-1980, les observations de Courbet (1981) au Jardin botanique du Centre de Recherches forestières de Champenoux (Meurthe-et-Moselle) indiquent un débourrement plus précoce, du 6 avril en 1976 au 18 avril, en 1978 et 1979, l'écart-type étant d'environ 5 jours. En forêt domaniale des Dhuits (Haute-Marne), Cointat (1959) indique pour 9 hêtres adultes une foliation complètement terminée le 9 mai pour la période 1954-1958 (dates les plus précoces et tardives observées : 29 avril et 6 juin). Cet auteur estime la saison de végétation à 167 jours avec un écart-type de 10 jours. Dans les Landes, en forêt de Laveyron, Comps *et al.* (1987) observent le débourrement en moyenne le 18 avril pour une hêtraie adulte de versant pour la période 1973-1980 (seuil de 50 % d'arbres ayant atteint le stade 4 de foliation). En Angleterre et en Pologne, Sparks et Carey (1995) et Chylarecki et Straus (1968) observent le débourrement en moyenne le 18 avril (période 1926-1947) et le 25 avril (période 1953-1962).

VARIABILITÉ PHÉNOLOGIQUE DES CHÊNAIES

La variabilité phénologique des chênaies semble s'organiser selon un gradient de continentalité et, comme cela a déjà été observé par Bréda (1994) en forêt de Champenoux (Meurthe-et-Moselle), il semble que la phénologie des deux chênes soit différente (figures 3 et 4, p. 411). Pour les chênaies sessiliflores (peuplements les mieux représentés), le gradient Ouest-Est correspond à un débourrement plus tardif et un jaunissement plus précoce d'une semaine environ à l'Est, ce qui se traduit par une saison de végétation plus courte de 20 jours environ (184 contre 204 jours). Les peuplements méridionaux semblent également débourrer plus précocement que ceux de l'Est. Pour 70 % des chênaies, le début du débourrement présente une faible variation entre années (1 à 6 jours ; max. = 16 jours). Pour la fin de jaunissement, les écarts entre années sont souvent compris entre 1 et 15 jours (moyenne = 9 jours ; max. = 29 jours).

Pour le quart Nord-Est de la France, le Chêne sessile (8 peuplements) commence à débourrer 7 jours plus tôt que le Chêne pédonculé (5 peuplements) (11 avril contre 18 avril). Pour les deux espèces, le débourrement dure en moyenne deux semaines et la variabilité inter-annuelle est généralement inférieure à 6 jours (1 à 11 jours). Le jaunissement du Chêne sessile étant plus précoce d'environ 7 jours (14 octobre contre 21 octobre), la durée de la saison de végétation apparaît comparable pour les deux espèces (185 jours en moyenne).

COMPARAISON ENTRE HÊTRE ET CHÊNES

Globalement, le débourrement des hêtraies apparaît plus tardif que celui des Chênes. En Lorraine-Champagne-Ardenne, la différence est faible de l'ordre de 4 à 5 jours. En Bourgogne et dans tout le secteur Ligérien et Centre, la différence est de l'ordre de 10 à 15 jours (Chêne sessile = 4 avril ;

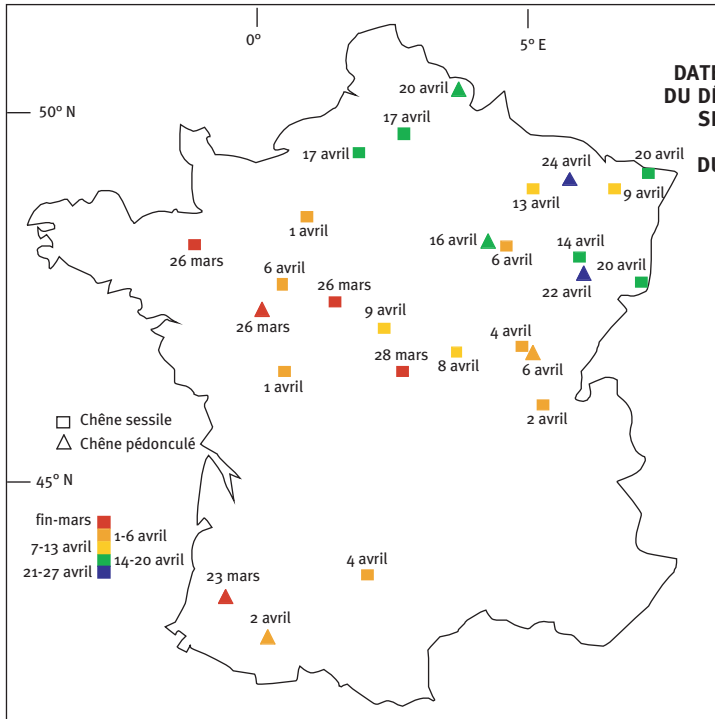


FIGURE 3
DATES MOYENNES DE DÉBUT
DU DÉBOURREMENT DU CHÊNE
SESSILE ET PÉDONCULÉ
DES PEUPELEMENTS
DU RÉSEAU RENECOFOR
POUR LA PÉRIODE
1997-1999

La date indiquée correspond au jour médian de la semaine pour laquelle 10 % des arbres présentent sur au moins 20 à 50 % du houppier des bourgeons ouverts (stade b5)

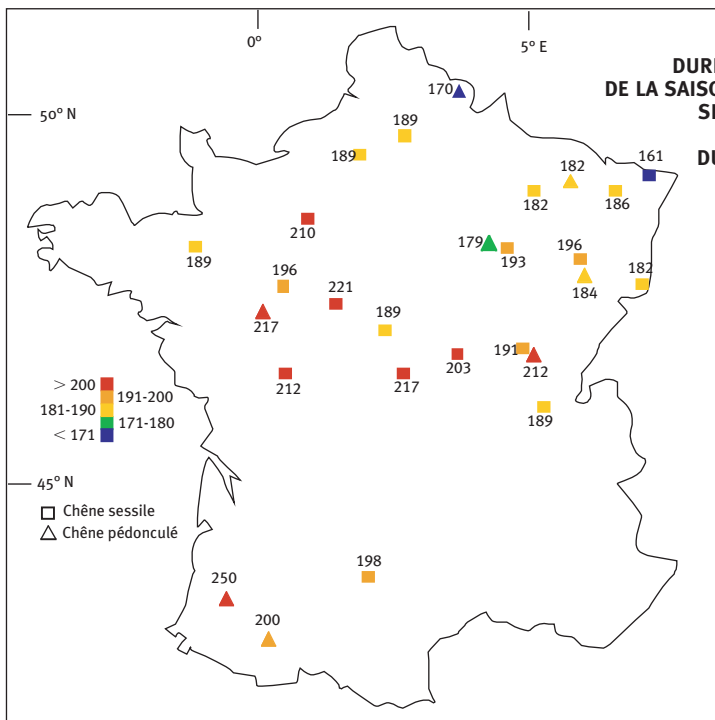


FIGURE 4
DURÉE MOYENNE (EN JOURS)
DE LA SAISON DE VÉGÉTATION DES CHÊNES
SESSILE ET PÉDONCULÉ
DES PEUPELEMENTS
DU RÉSEAU RENECOFOR
POUR LA PÉRIODE
1997-1999

La durée correspond à la différence entre le jour de la semaine correspondant à 90 % de sénescence et le jour de la semaine correspondant à 10 % de débourrement

Hêtre = 14 avril). Le jaunissement du Hêtre intervient environ 6 jours plus tôt (21 octobre contre 27 octobre), ce qui se traduit par une saison de végétation réduite d'environ 20 jours (187 contre 205 jours).

En Creuse, dans la région d'Aubusson, en 1961 et 1963, les données de Lavarenne-Allary (1965) indiquent une précocité plus grande du Chêne ou du Hêtre suivant les conditions climatiques printanières. Ainsi, le débourrement du Hêtre est plus précoce que celui du Chêne si le printemps est froid, tandis que le Chêne est plus précoce que le Hêtre pour des printemps doux. En forêts de Chaux et de Haye, Duchemin (1998) montre que, sur la période 1989-1994, le Hêtre débourre en moyenne 6 jours plus tôt que le Chêne sessile. Pour Comps *et al.* (1987) dans les Landes, le Chêne pédonculé est plus précoce que le Hêtre de 12 jours en moyenne pour toutes les années d'observation. Pour la fin de saison, le Hêtre semble jaunir plus vite (2 à 6 jours).

Les données de Dupouey et Behr (non publiées) en forêt d'Amance et de Haye (Meurthe-et-Moselle) mettent en évidence un jaunissement plus précoce de 10 jours pour le Hêtre. Les estimations satellitales de Duchemin (1998) montrent que le jaunissement du Hêtre intervient en moyenne 6 jours plus tôt que celui du Chêne sessile (période 1989-1994). Les données de Comps *et al.* (1987) indiquent un jaunissement plus précoce de 15 jours en moyenne (période 1973-1980) pour le Hêtre par rapport au Chêne pédonculé. Ces différences se traduisent par une saison de végétation plus courte de 15 à 20 jours environ pour le Hêtre.

TABEAU I **Caractéristiques de la phénologie des peuplements du réseau RENECOFOR pour la période 1997-1999 (jours juliens et dates calendaires)**

Le début du débourrement correspond à 10% des arbres avec des bourgeons ouverts (apparition de jeunes feuilles ou aiguilles) sur au moins 20 à 50% du houppier. La fin correspond à 90% présentant ces caractéristiques. La durée du débourrement représente la différence entre les dates correspondant au stade 10% et 90% de débourrement.

Pour le jaunissement, le début correspond à 10% des arbres avec des feuilles jaunes sur au moins 20 à 50% du houppier. La fin correspond à 90% présentant ces caractéristiques. La durée du jaunissement correspond à la différence entre ces deux dates.

La saison de végétation représente la différence entre les dates correspondant au stade 10% de débourrement et 90% de jaunissement.

Pour chaque espèce, les valeurs entre parenthèses correspondent à l'écart-type entre les observations, c'est-à-dire traduit la variation entre peuplements et entre années. CHP et CHS: Chênes pédonculé et sessile; HET: Hêtre; DOU: Douglas; EPC: Épicéa commun; PM: Pin maritime; PS: Pin sylvestre; SP: Sapin pectiné.

	CHP	CHS	HET	DOU	EPC	PM	PS	SP
Nombre de peuplements	8	19	20	6	10	6	13	11
Nombre d'observations	20	43	50	14	25	13	32	29
Débourrement								
Début	101 (13) [11 avril]	96 (9) [6 avril]	112 (15) [22 avril]	119 (11) [29 avril]	130 (12) [10 mai]	116 (11) [26 avril]	122 (9) [2 mai]	131 (14) [11 mai]
Fin	115 (15) [25 avril]	110 (17) [20 avril]	120 (8) [30 avril]	133 (12) [13 mai]	139 (12) [19 mai]	128 (12) [8 mai]	132 (11) [12 mai]	141 (12) [21 mai]
Durée	14 (12)	13 (9)	9 (5)	14 (9)	9 (6)	11 (5)	11 (6)	9 (5)
Jaunissement								
Début	280 (14) [7 octobre]	278 (14) [5 octobre]	276 (15) [3 octobre]					
Fin	298 (14) [25 octobre]	294 (11) [21 octobre]	292 (16) [19 octobre]					
Durée	18 (9)	17 (10)	17 (9)					
Saison de végétation . .	199 (27)	196 (16)	179 (25)					

VARIABILITÉ PHÉNOLOGIQUE DES RÉSINEUX

Les résultats sont présentés dans le tableau I (p. 412) et la figure 5 (ci-dessous). Le débourrement du Sapin pectiné et de l'Épicéa commun commence vers la mi-mai (respectivement le 11 et le 10 mai) et dure environ 9 jours. La variabilité inter-annuelle du début du débourrement est de 3 à 18 jours. Pour le Pin sylvestre, le débourrement commence début mai et dure environ 11 jours. La variabilité inter-annuelle est souvent inférieure à 5 jours. Le Douglas et le Pin maritime débourent plus tôt fin avril (respectivement le 29 et le 26 avril) avec une durée moyenne de 9 à 14 jours. La variabilité entre années est de 1 à 15 jours.

Les exigences autécologiques très différentes des espèces considérées (affinités montagnarde du Sapin et atlantique du Pin maritime par exemple) ne permettent pas de comparer facilement les résultats et de dégager un véritable effet espèce ou un gradient régional dans la phénologie. Par exemple, le débourrement plus tardif du Sapin et de l'Épicéa semble s'expliquer en grande partie par des conditions climatiques (thermiques) plus défavorables en liaison avec l'altitude moyenne plus élevée des peuplements considérés : Sapin : 967 m (400-1360), Épicéa : 961 m (480-1700), Douglas : 546 m (420-700), Pin sylvestre : 386 m (38-1670) et Pin maritime : 91 m (15 à 153). En raison de la décroissance thermique avec l'altitude, l'élévation se traduit par un retard au débourrement de près de 7 jours par 100 m en Haute-Ardèche (Oswald, 1969), 4 j/100 m dans la région de Clermont-Ferrand (Lavarenne-Allary, 1965), 2,6 j/100 m en Bavière (Malaise, 1967). En Autriche, Worrall (1983) indique un retard de 5,8 j/100 m pour l'Épicéa et de 6,6 j/100 m pour le Mélèze.

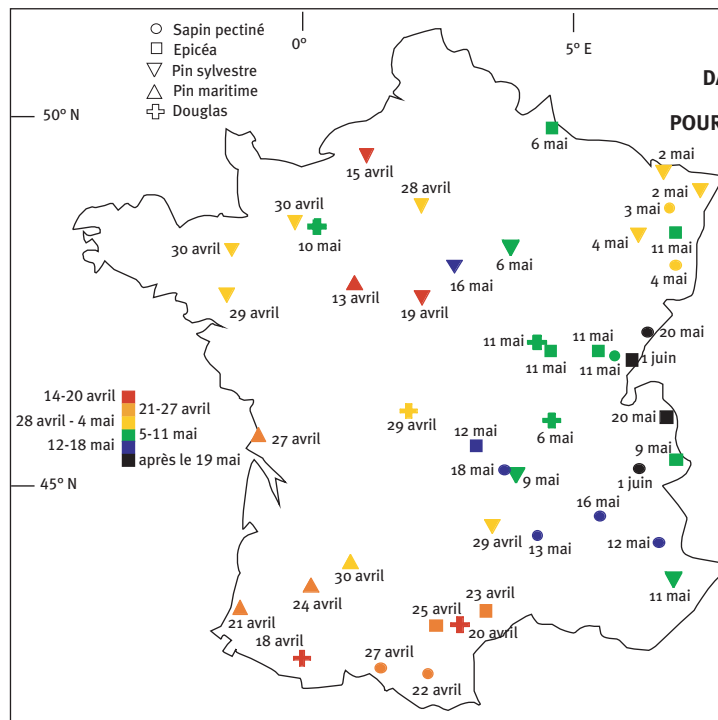


FIGURE 5
DATES MOYENNES DE DÉBUT
DU DÉBOURREMENT
POUR LES PEUPELEMENTS RÉSINEUX
DU RÉSEAU RENECOFOR
POUR LA PÉRIODE
1997-1999
(sauf Corse)

La date indiquée correspond au jour médian de la semaine pour laquelle 10 % des arbres présentent sur au moins 20 à 50 % du houppier des bourgeons ouverts

CONCLUSIONS ET DISCUSSION

Bien qu'il soit évident que, pour bien cerner les mécanismes qui gouvernent actuellement les différentes phases phénologiques des arbres, de longues séries d'observations soient indispensables, ces trois premières années ont permis, pour la première fois au niveau national, de préciser la variabilité entre espèces, entre régions et entre années de la phénologie des principales essences forestières françaises. La comparaison entre les observations du réseau et les données récentes ou anciennes de la littérature française ou étrangère est souvent très difficile en raison de l'hétérogénéité des méthodes de notation des événements phénologiques et des différences entre les années d'observation (Differt, 2001). Pour le Hêtre, par exemple, la fin du cycle annuel se traduit par le passage des feuilles du vert au jaune puis au brun et enfin par leur chute. Ainsi, selon que l'on considère l'apparition de la couleur automnale ou la chute des feuilles, la durée de la saison de végétation peut varier fortement. La précision des dates dépend également de la fréquence des observations. Dans le réseau, les observations n'étant effectuées qu'une fois par semaine pendant les périodes propices (printemps, automne), il apparaît toujours difficile d'estimer au plus juste les 10 % ou 90 % d'arbres présentant sur 20 à 50 % du houppier les caractéristiques étudiées. Des modifications importantes des conditions climatiques entre les observations (températures élevées, gelées...) peuvent entraîner une sur- ou sous-estimation de la date recherchée. Il est probable qu'une partie de la variabilité inter-annuelle s'explique par ces imprécisions.

La phénologie est sous la dépendance d'un nombre important de facteurs dont les influences s'expriment à des échelles spatiale et temporelle très variables (Differt, 2001). Pour le Chêne sessile, la variabilité phénologique semble s'organiser selon un gradient de continentalité. Pour le Hêtre, les peuplements méridionaux semblent débourrer plus tôt que les hêtraies plus orientales. Il est important de souligner que ces tendances n'excluent pas d'autres gradients (par



exemple un gradient latitudinal pour les chênes), mais la répartition spatiale des placettes permanentes ne permet pas de les mettre clairement en évidence. De nombreux travaux en plantations comparatives de provenances ont montré que le débourrement est sous forte dépendance génétique. Pour le Hêtre, Vernier et Teissier du Cros (1996) montrent une tardiveté du débourrement des provenances belges ou hollandaises par rapport aux provenances françaises du Nord-Ouest (Perche, Picardie, Manche). Pour les Chênes sessile et pédonculé, Kremer *et al.* (2002) montrent que 40 % de la variabilité totale pour la date de débourrement sont attribuables aux différences entre forêts ; les provenances méridionales débourrant plus précocement que les provenances du Nord de l'aire de distribution. Ce gradient latitudinal de variation résulte des pressions de sélection naturelle (facteurs climatiques) qui se sont exercées depuis que ces forêts se sont établies. Ainsi, même si nous ne

Placette RENEFOFOR Hêtre 76 (forêt domaniale d'Eawy)
Photo F. LEBOURGEOIS

disposons d'aucune information pour les arbres du réseau, une part de la variabilité spatiale observée doit être l'expression de la diversité génétique des peuplements.

Depuis de nombreuses années, on sait que les températures (froides en hiver et clémentes au printemps) et la photopériode jouent un rôle majeur sur la date de réalisation de la levée de dormance, de la mise en place des feuilles... mais que ce rôle peut varier entre les essences. Ainsi, la température influe clairement sur le débourrement des chênes et des résineux. Après la satisfaction des besoins en froid en hiver, le débourrement du Chêne apparaît plus ou moins précoce selon les conditions thermiques printanières (Lavarenne-Allary, 1965). Pour le Chêne pédonculé, une augmentation de 1 °C se traduit par une feuillaison plus précoce de 5 jours (Sparks *et al.*, 1997). Pour le Hêtre, différents travaux suggèrent que la photopériode joue un rôle essentiel en fin d'hiver et au début du printemps et que, par la suite, c'est la température qui détermine la mise en place des feuilles (Courbet, 1981 ; Comps *et al.*, 1987). La photopériode étant stable d'une année sur l'autre, les variations inter-annuelles observées pour les dates de feuillaison correspondraient donc essentiellement aux conditions climatiques de la courte période précédant l'apparition du feuillage (fin mars-début avril). Wareing (1953) remarque cependant que le déterminisme du débourrement du Hêtre peut varier suivant la région géographique. Ainsi, en Grande-Bretagne, il semblerait que la température soit le facteur déterminant, tandis que, dans des régions dont les températures printanières sont plus élevées, comme en Espagne, la photopériode pourrait devenir le facteur déterminant.

En raison du rôle majeur de la température sur la phénologie, le réchauffement observé en France depuis 40 ans (Lebourgeois *et al.*, 2001) pourrait modifier la durée de la saison de végétation. Même si quelques études ont déjà constaté une modification de 10 à 15 jours de la durée de la saison de végétation dans différentes régions en Europe (Menzel et Fabian, 1999 ; Defila et Clos, 2000), les effets à long terme sur les différentes essences forestières sont encore largement inconnus. Dans son étude sur la plasticité phénotypique de la phénologie, Kramer (1995) montre qu'un réchauffement se traduit par une diminution de la durée de la saison de végétation pour le Chêne pédonculé car la précocité de la chute des feuilles est plus importante que celle de la feuillaison. Pour le Hêtre, la saison de végétation apparaît plus longue en liaison avec un débourrement plus précoce sans changement de date de sénescence. En avançant la date de feuillaison, le réchauffement hivernal ou printanier observé dans de nombreuses régions (Lebourgeois *et al.*, 2001) pourrait rendre certaines essences plus sensibles aux gelées tardives ou encore au déficit en eau au début de saison de croissance (Bréda *et al.*, 2000). À l'heure actuelle, les données phénologiques du réseau sont encore trop peu nombreuses pour étudier une éventuelle dérive. Même si l'analyse de la littérature nous a permis de disposer localement de quelques données anciennes [observations fragmentaires entre 1871 et 1885 à l'Arboretum des Barres (Loiret) ; données transmises par R. Chevalier] (Differt, 2001), l'absence de notations récentes sur les mêmes individus ou dans des conditions très proches rend l'analyse impossible.

Bien que ces données ne puissent pas être utilisées pour révéler une éventuelle dérive, elles sont indispensables pour mieux paramétrer les modèles mécanistes de fonctionnement physiologique des arbres et des écosystèmes forestiers. Dans certains modèles, l'interception des pluies et la transpiration des arbres sont ainsi pondérées pendant les phases d'expansion foliaire après le débourrement, et de sénescence avant la chute des feuilles. La longueur de la saison de végétation modulant, quant à elle, la période de transpiration des arbres (Granier *et al.*, 1995).

La prise en compte du climat apparaît essentielle pour cerner le déterminisme des dates de débourrement ou de sénescence et mieux appréhender l'impact futur du réchauffement actuellement en cours sur ces paramètres écologiques. À moyen terme, les données météorologiques journalières précises (températures, rayonnement...), relevées dans les stations installées proches des peuplements, seront utilisées pour expliquer les variabilités spatiale et temporelle observées.

Ces paramètres seront également intégrés dans différents modèles afin de prédire le plus finement possible les dates de débournement. La plupart des modèles existants ayant été développés pour une espèce donnée (souvent non forestière), dans un contexte climatique particulier et à partir de relativement peu d'observations, le grand nombre d'espèces et d'observations du réseau RENECOFOR et leur large répartition spatiale devraient apporter, dans un proche avenir, des informations importantes.

François LEBOURGEOIS - Janis DIFFERT

Laboratoire d'Étude des Ressources Forêt-Bois (LERFOB)
Équipe Écosystèmes forestiers et Dynamique des Paysages
Unité Mixte de Recherche INRA-ENGREF 1092
14, rue Girardet – CS 4216
F-54042 NANCY CEDEX
(lebourg@engref.fr)

André GRANIER

UMR Écologie et Écophysologie forestières
Équipe Bioclimatologie
INRA - Centre de Recherches forestières de Nancy
F-54280 CHAMPENOUX
(agranier@nancy.inra.fr)

Nathalie BRÉDA

UMR Écologie et Écophysologie forestières
Équipe Phytoécologie
INRA - Centre de Recherches forestières de Nancy
F-54280 CHAMPENOUX
(breda@nancy.inra.fr)

Erwin ULRICH

Département Recherche et Développement
OFFICE NATIONAL DES FORÊTS
Boulevard de Constance
F-77300 FONTAINEBLEAU
(Erwin.Ulrich@onf.fr)

Remerciements

Les auteurs remercient l'ensemble des correspondants locaux du réseau pour leur travail efficace dans la récolte des données ainsi que les relecteurs pour leurs remarques constructives sur le manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

- BECKER (M.). — La Phénologie des hêtraies. *In* : Le Hêtre. — Versailles : INRA Ed., 1981. — pp. 108-117.
- BRÉDA (N.). — Analyse du fonctionnement hydrique des Chênes sessile (*Quercus petraea*) et pédonculé (*Quercus robur*) en conditions naturelles ; effets des facteurs du milieu et de l'éclaircie. — Nancy : Université Henri-Poincaré – Nancy I, 1994. — 59 pages + articles.
- BRÉDA (N.), GRANIER (A.), AUSSENAC (G.). — Évolutions possibles des contraintes climatiques et conséquences pour la croissance des arbres. — *Revue forestière française*, vol. LII, n° spécial "Conséquences des changements climatiques pour la forêt et la sylviculture", 2000, pp. 73-90.
- CHMIELEWSKI (F.M.). — The international phenological gardens across Europe. Present state and perspectives. — *Phenology and Seasonality*, vol. 1, n° 1, 1997, pp. 19-23.
- CHYLARECKI (H.), STRAUS (H.). — Results of phenological observations in the years 1953-1962 on trees and shrubs of foreign origin cultivated in the Kornik Arboretum. — *Arboretum Kornikie*, vol. 13, 1968, pp. 30-142.
- COINTAT (M.). — Observations sur la foliaison du Hêtre. — *Revue forestière française*, vol. XI, 1959, pp. 214-217.

- COMPS (B.), LETOUZEY (J.), SAVOIE (J.-M.). — Phénologie du couvert arborescent dans une chênaie-hêtraie d'Aquitaine. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 44, 1987, pp. 153-170.
- COURBET (F.). — Contribution à la phénologie des espèces forestières. Influence des sommes de températures. — Université Nancy I, 1981. — 30 p. (DEA Sciences forestières).
- DEFILA (C.), CLOS (B.). — Tendances révélées par l'étude phénologique des arbres en Suisse. Quelle sylviculture pour les climats à venir ? Actes de la Journée thématique de l'Antenne romande du WSL du 28 novembre 2000 à l'EPF-Lausanne / Martine Rebetez et Jean Combe Eds.
- DIFFERT (J.). — Phénologie des espèces arborées. Synthèse bibliographique. Analyse des données du Réseau national de Suivi à long terme des Écosystèmes forestiers (RENECOFOR). Rapport scientifique. — Nancy : UMR ENGREF-INRA - LERFOB, 2001. — 97 p. + annexes.
- DUCHEMIN (B.). — Apport des capteurs satellitaires à large champ pour l'estimation de variables de fonctionnement des écosystèmes forestiers tempérés. — Université Paul-Sabatier – Toulouse III, 1998. — 156 p. (Thèse).
- FADY (B.). — Variabilité du débourrement végétatif du Sapin de Céphalonie (*Abies cephalonica* Loudon) en plantation. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 48, 1991, pp. 73-85.
- GALOUX (A.), SCHNOCK (G.), GRULOUS (J.). — La Variabilité phénologique et les conditions climatiques. — *Bulletin de la Société royale de Botanique de Belgique*, vol. 100, 1967, pp. 309-314.
- GRANIER (A.), BADEAU (V.), BRÉDA (N.). — Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers. — *Revue forestière française*, vol. XLVII, n° spécial "Modélisation de la croissance des arbres forestiers et de la qualité des bois", 1995, pp. 59-68.
- KRAMER (K.). — Phenotypic plasticity of the phenology of seven European tree species in relation to climatic warming. — *Plant, Cell and Environment*, vol. 18, 1995, pp. 93-104.
- KRAMER (K.). — Phenology and growth of European trees in relation to climate change. — *Phenology in Seasonal Climates*, vol. 12, 1997, pp. 39-50.
- KRAMER (K.), LEINONEN (I.), LOUSTAU (D.). — The importance of phenology for the evaluation of impact of climate change on growth of boreal, temperate and Mediterranean forests ecosystems : an overview. — *International Journal of Biometeorology*, vol. 44, 2000, pp. 67-75.
- KREMER (A.), PETIT (J.R.), DUCOUSSO (A.). — Biologie évolutive et diversité génétique des Chênes sessile et pédonculé. — *Revue forestière française*, vol. LIV, n° 2, 2002, pp. 111-130.
- LAVARENNE-ALLARY (S.). — Recherches sur la croissance des bourgeons de Chêne et de quelques autres espèces ligneuses. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 22, 1965, pp. 1-203.
- LEBOURGEOIS (F.), GRANIER (A.), BRÉDA (N.). — Une analyse des changements climatiques régionaux en France entre 1956 et 1997. Réflexions en termes de conséquences pour les écosystèmes forestiers. — *Annals of Forest Science*, vol. 58, 2001, pp. 733-754.
- MALAISSÉ (F.). — Contribution à l'étude des hêtraies d'Europe occidentale. Note 6 : aperçu climatologique et phénologique relatif aux hêtraies situées sur l'axe Ardennes belges - Provence. 14^e Congrès IUFRO, Munich, 1967, II, section 21, 1967, pp. 325-334.
- MENZEL (A.), FABIAN (P.). — Growing season extended in Europe. — *Nature*, n° 397, 1999, p. 659.
- OSWALD (H.). — Conditions forestières et potentialités de l'Épicéa en Haute-Ardèche. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 26, n° 2, 1969, pp. 183-224.
- SPARKS (T.H.), CAREY (P.D.). — The responses of species to climate over two centuries : an analysis of the Marsham phenological record, 1736-1994. — *Journal of Ecology*, vol. 83, 1995, pp. 321-329.
- SPARKS (T.H.), CAREY (P.D.), COMBE (J.). — First leafing dates of trees in Surrey between 1947 and 1996. — *The London Naturalist*, vol. 76, 1997, pp. 15-20.
- ULRICH (E.). — Le Réseau RENECOFOR : objectifs et réalisation. — *Revue forestière française*, vol. XLVII, n° 2, 1995, pp. 107-124.
- ULRICH (E.). — RENECOFOR. Manuel de référence n° 12 pour les observations phénologiques. Première version. — Fontainebleau : ONF, mars 1997. — 20 p.
- VERNIER (M.), TEISSIER DU CROS (E.). — Variabilité génétique du Hêtre. Importance pour le reboisement en Picardie et en Normandie. — *Revue forestière française*, vol. XLVIII, n° 1, 1996, pp. 7-20.
- WAREING (P.F.). — Photoperiodism in woody plants. — *Annual Review Plant. Physiol.*, vol. 7, 1956, pp. 191-214.
- WORRALL (J.). — Temperature – bud-burst relationships in amabilis and subalpine fir provenance tests replicated at different elevations. — *Silvae Genetica*, vol. 32, n° 5-6, 1983, pp. 203-209.

PREMIÈRES OBSERVATIONS PHÉNOLOGIQUES DES PEUPELEMENTS DU RÉSEAU NATIONAL DE SUIVI À LONG TERME DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS (RENECOFOR) (Résumé)

La phénologie de 93 des 102 peuplements feuillus et résineux du réseau RENECOFOR a été étudiée sur la période 1997-1999. En moyenne, la saison de végétation va du 22 avril au 19 octobre pour le Hêtre, du 9 avril au 25 octobre pour le Chêne pédonculé, du 6 avril au 21 octobre pour le Chêne sessile avec, dans ce dernier cas, un débourrement plus tardif et un jaunissement plus précoce d'une semaine environ à l'Est par rapport à l'Ouest (saison de végétation réduite de 20 jours environ). Parmi les résineux, le Douglas, le Pin maritime et le Pin sylvestre débourrent fin avril - début mai, le Sapin pectiné et l'Épicéa commun vers la mi-mai. Les exigences autécologiques très différentes des résineux étudiés ne permettent pas de comparer facilement les résultats et de dégager un véritable effet espèce ou un gradient régional dans la phénologie. L'intérêt de ces observations pour la meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes et de l'impact potentiel du réchauffement actuellement en cours sur la phénologie est discuté.

INITIAL PHENOLOGICAL OBSERVATIONS ON THE STANDS IN THE NATIONAL LONG TERM MONITORING NETWORK OF FOREST ECOSYSTEMS (RENECOFOR) (Abstract)

Phenological data of French Permanent Plot Network for the Monitoring of Forest Ecosystems (RENECOFOR, 10 species, 93 stands) for the period 1997-1999 were used to investigate the annual and spatial variability in the growing season across France. The growing season extends from April 22 to October 19 for beech trees, from April 9 to October 25 for pedunculate oaks and from April 6 to October 21 for sessile oaks. For sessile oak trees, budburst is later in the eastern part of France. Yellowing occurs approximately a week earlier there with the growing season about 20 days shorter in the East than in the West. Budburst of Douglas fir, Maritime and Scots pines occurs at the end of April and beginning of May. For Silver fir and Spruce, budburst occurs in mid-May. The importance of phenology for ecophysiological models and for the study of impact of climate change is discussed.
