

FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

Tiré à part de la revue **Forêt.Nature**

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

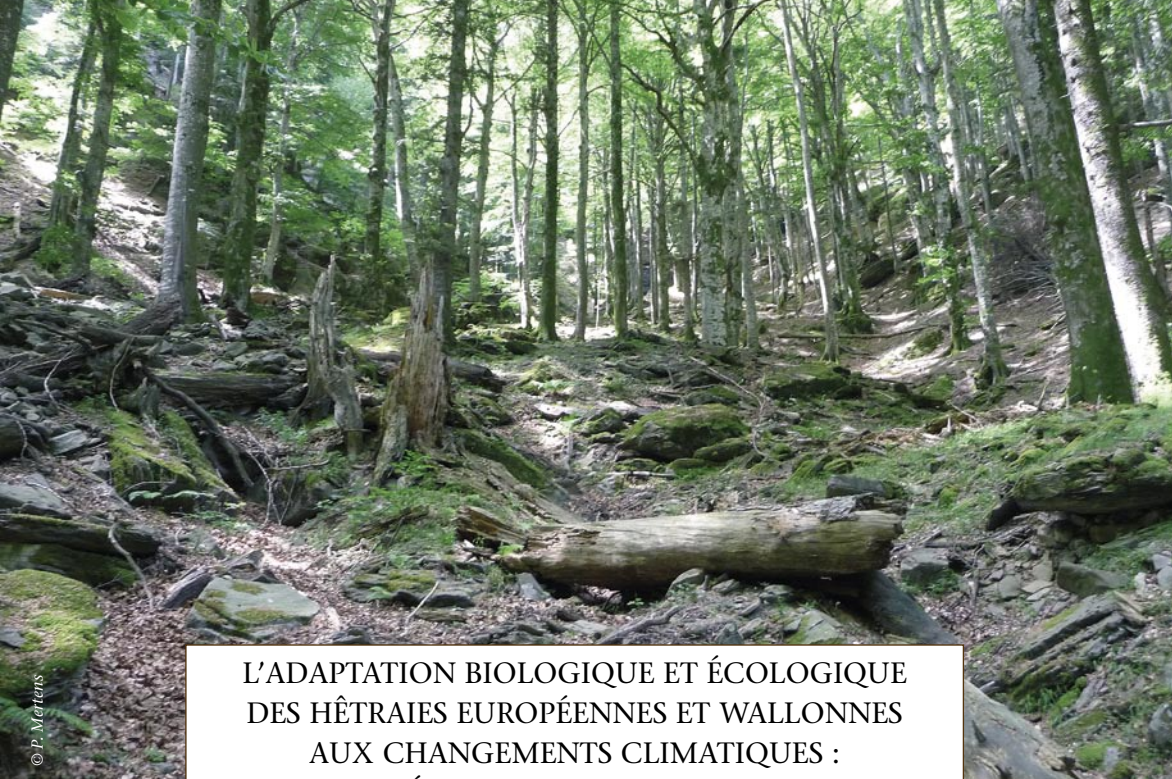
foretnature.be

Rédaction : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. info@foretnature.be. T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :
librairie.foretnature.be

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :
foretnature.be

Retrouvez les anciens articles de la revue
et d'autres ressources : **foretnature.be**



L'ADAPTATION BIOLOGIQUE ET ÉCOLOGIQUE
DES HÊTRAIES EUROPÉENNES ET WALLONNES
AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES :
ÉTAT DE LA SITUATION

PATRICK MERTENS – ALVARO PEREZ
AUDREY ROBERT – ALAIN RIBOUX – ÉLODIE BAY

On sait le hêtre particulièrement sensible aux stress hydriques. Un des enjeux des années futures sera de réussir son maintien dans les stations qui lui conviennent. Une large étude européenne s'est penchée sur son adaptabilité à des conditions différentes. Nous vous proposons de l'aborder par la lorgnette de sa phénologie.

Les peuplements de hêtre (*Fagus sylvatica* L.) s'étendent sur environ 14 millions d'hectares, de l'Ouest océanique au centre continental de l'Europe. Cette espèce forestière contribue ainsi amplement à la production de bois et à la protection des ressources hydriques et des sols. Pour maintenir ces fonctions dans des espaces aussi étendus malgré les changements climatiques qui s'y observent, il est nécessaire de pouvoir cerner la diversité bio-

logique du hêtre. La finalité étant de pouvoir évaluer sa plasticité à long terme et sa capacité à supporter des extrêmes climatiques. Ces derniers, devenus plus fréquents depuis les années '70, ont une occurrence qui est d'autant plus probable que la révolution des hêtraies est proche du siècle.

En 1999, la hêtraie couvre 42 300 hectares de la forêt wallonne (9 %) et représente 17 % de la surface feuillue. Elle domine

généralement sous la forme de futaie, surtout en région jurassique et en Ardenne (figure 1). Pratiquement la moitié de ces peuplements se trouvent à une altitude supérieure à 400 mètres et les trois quarts sur pente qui excède 5° (ou 18 %). La tendance moyenne est à l'augmentation : plus 9 % entre 1984 et 1999⁴.

Afin d'aborder la diversité biologique du hêtre, des tests de provenance ont été effectués partout en Europe. Ces tests de provenance ont pour but d'évaluer l'adaptation de populations précisément identifiées dans son aire de distribution mais dans des zones écologiquement différentes. Les récoltes de graines ont été pratiquées dans 447 peuplements répartis dans toute l'aire de distribution. Ensuite, 49 tests de comparaison de provenances, également répartis de l'Espagne à la Bul-

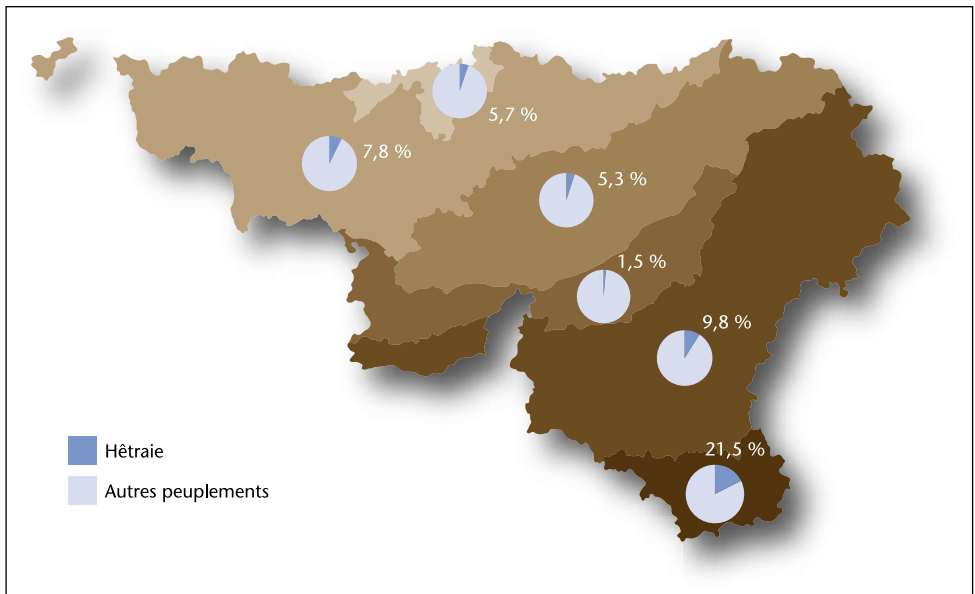
garie et de l'Italie au Danemark, ont été installés en 1995 et 1998.

Les provenances de hêtre ont été évaluées sur chaque site avant que les plants n'aient atteint l'âge de 15 ans. Le taux de survie, l'accroissement en hauteur et la différenciation phénologique du débourrement ont été relevés afin de mettre en évidence, au stade juvénile, les différences adaptatives existant entre provenances.

La participation de la Belgique à ce test européen de provenances s'est joué sur deux points :

- mise à disposition des partenaires de lots de semences récoltées en Forêt de Soignes ;
- et installation, en 1998, d'une répétition de ce test de comparaison à Harre (Marche-en-Famenne) où les conditions

Figure 1 – Répartition des hêtraies en Wallonie, par région naturelle et en fonction de la surface forestière globale de chacune d'entre elles (données : IPRFW⁴, carte DEMNA).



édaphiques ardennaises limitent le développement du hêtre. Trente-neuf provenances y ont été évaluées entre 2006 et 2008.

La Direction du milieu forestier du Département de l'étude du milieu naturel et agricole (D GARNE, SPW) a réalisé les mesures de terrain à Harre et, en outre, a contribué à l'analyse des données du débourrement de l'ensemble des tests européens de provenance. Les résultats obtenus lors de cette analyse exhaustive sont résumés dans cet article. Le but est de comprendre les différences de débourrement qui peuvent être observées en transférant une provenance de sa région à une autre.

ORIGINE DU HÊTRE
DIT « EUROPÉEN »
ET SON EXTENSION

Les études génétiques et botaniques indiquent l'origine orientale des espèces du genre *Fagus*⁶. Suite au déplacement des continents et aux glaciations, trois groupes se sont différenciés : le *Fagus crenata* en Asie, le *F. grandifolia* en Amérique du Nord et le *F. sylvatica* en Europe. En Amérique du Sud, le genre *Fagus* est substitué par le genre *Nothofagus*, de la même famille botanique et avec une large diversité d'espèces en fonction de l'environnement et de l'altitude. En Europe cette diversification est encore inexistante. *F. sylvatica* serait issu de populations de *F. orientalis* présent dans le sud et l'est sous ses formes fossiles (en Italie par exemple) et vivantes (bien connues en Slovaquie, en Turquie, en Grèce et en Bulgarie). L'hybride entre ces deux espèces a aussi été décrit, sous les noms de *F. taurica* et *F. moesiaca*. La différenciation génétique entre *F. sylvatica* et

QU'ENTEND-ON PAR « PHÉNOLOGIE »

La phénologie peut être définie comme l'étude des variations, en fonction du climat, des phénomènes périodiques de la vie végétale et animale, également appelées phénophases.

La phénologie des essences caducifoliées, telles que le hêtre, est tout à fait typique des régions tempérées. En effet, ces essences vivent au fil des quatre saisons : débourrement et floraison au printemps, fructification en été, chute des feuilles en automne et dormance en hiver.

Dans le cadre de cette étude, le débourrement a été choisi comme phénophase représentative des différences adaptatives entre origines et climats. Cela s'explique par le fait qu'il est peu influencé par des facteurs autres que l'origine et le climat, contrairement à la défoliation qui peut par exemple être causée par des pathogènes.

F. orientalis est encore faible, ce qui montrerait que le processus de « spéciation » est toujours en cours d'expression. Enfin, les analyses de la diversité génétique des populations de hêtre européen, réalisées sur l'ensemble de son aire de dispersion, montrent qu'il s'agit d'une espèce dite « jeune », au premier stade de son évolution. La plus grande source de variabilité génétique se localise dans les populations du sud de l'Europe où les programmes de conservation doivent agir en priorité. De ces populations doivent se sélectionner les futures familles génétiques à tester sur l'ensemble de l'aire actuelle et future de l'essence.

La chronologie de colonisation du hêtre est connue grâce aux pollens fossiles préservés dans les sédiments des lacs et des tourbières et aux études phytogéographiques. Elle

montre qu'au cours de la dernière glaciation (celle de Würm, il y a 18 000 ans) les essences forestières tempérées n'ont survécu que dans quelques « zones refuges » d'Europe méridionale et orientale. Elles ont ensuite reconquis le continent lors du réchauffement de l'Holocène, commencé il y a 11 000 ans. La recolonisation a pris la direction du nord comme le montre la figure 2, à l'exception des populations du

sud de l'Italie (Apennins) qui n'ont pas franchi la barrière des Alpes. Ces dernières populations sont génétiquement différentes de la majorité des autres populations européennes ; elles n'ont pratiquement qu'un seul type génétique (haplotype). Le pollen du hêtre n'apparaît en Belgique que plus de 8 000 ans après le début de la recolonisation (il y a donc environ 3 000 ans)^{7, 8}.

**LE PROJET EUROPÉEN « COST E52 » :
ÉVALUATION DES RESSOURCES
GÉNÉTIQUES DU HÊTRE
POUR UNE FORESTIERIE DURABLE**

Le changement climatique provoquera une colonisation par le hêtre de latitudes plus septentrionales. Cette essence forestière trouvera moins de niches de développement dans le sud de l'Europe à cause du déficit estival de précipitations. Par contre, le climat deviendra plus favorable dans les pays nordiques, y permettant une migration progressive de l'aire du hêtre, notamment en Suède et au Royaume-Uni.

Le risque de perdre une partie de la diversité des ressources biologiques du hêtre à cause des effets de ce changement a été étudié par soixante-deux chercheurs de vingt-trois pays (AT, BG, BE, CH, CZ, DK, DE, ES, FR, GR, HR, HU, IE, IT, NL, PL, RS, RO, SK, SE, SI, UK Ukraine)⁵. Ce risque doit être en effet limité pour assurer la conservation et l'approvisionnement de semences venant de populations qui s'adapteront aux situations écologiques changeantes de l'Europe.

Les actions spécifiques de ce projet européen se sont focalisées sur l'étude des caractéristiques écophysiologiques et génétiques des populations du hêtre dans l'entièreté de son aire actuelle de distribution et sur la formulation de conseils pour assurer sa propagation optimale malgré les futures contraintes climatiques.

Dans l'article paru dans la revue « New Phytologist » de juillet 2006, et conseillé aux plus passionnés, Magri et ses collaborateurs retracent l'expansion postglaciaire des hêtraies à travers l'Europe³.

**DIVERSITÉ
DES CONDITIONS CLIMATIQUES
DE L'AIRE ACTUELLE DE DISTRIBUTION**

Malgré son image d'Épinal en Forêt de Soignes, le hêtre est typiquement une espèce de montagne. Les observateurs auront noté sa présence fréquente dans les forêts européennes d'altitude, des Pyrénées aux Balkans, où l'humidité estivale est élevée. Dans le pourtour méditerranéen il se trouve aux expositions peu ensoleillées, contrairement aux chênes qui colonisent naturellement les terres exposées à la chaleur et à la sécheresse. Les refuges glaciaires du *Fagus sylvatica* étaient montagnards, sans que cette localisation n'ait constitué un frein à sa recolonisation septentrionale.

Préciser les limites climatiques de l'aire de dispersion du hêtre en Europe est utile en complément des données autécologiques déjà disponibles. Cette évaluation est rendue possible grâce à l'informatisation et au traitement des cartes climatiques mondiales⁹. Les données proviennent de mesures

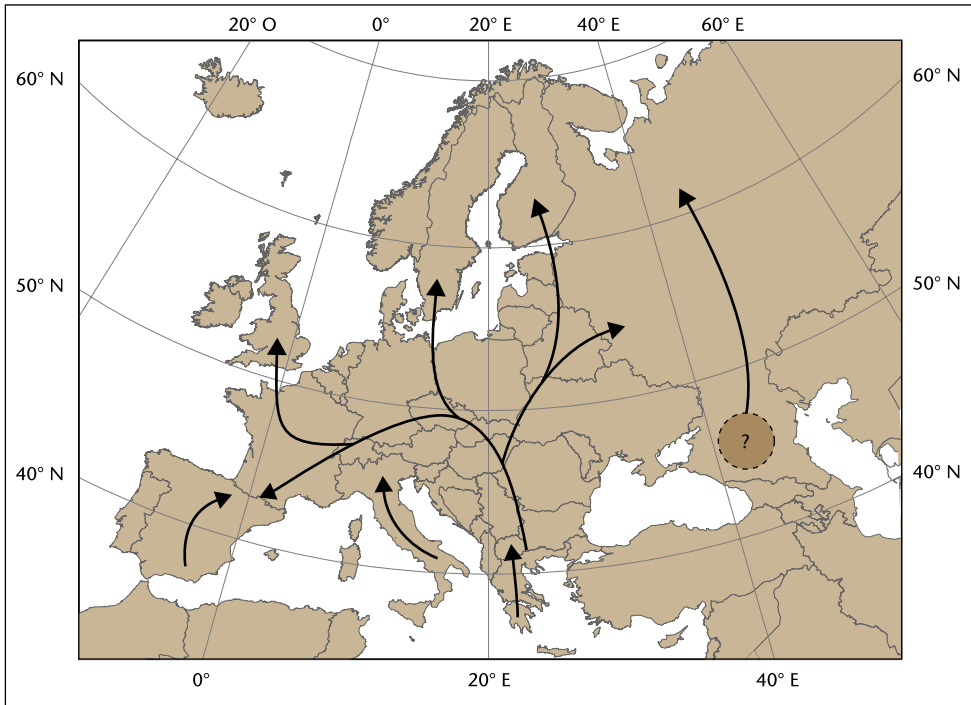


Figure 2 – Chemin de recolonisation du hêtre en Europe au départ des refuges glaciaires du Würm².

réalisées en stations climatologiques (pour les régions faciles d'accès) ou de modèles spatiaux (pour les régions où la couverture des stations est moindre, comme les hauts étages montagnards par exemple).

L'envergure européenne de ce test de provenance, permet en outre de couvrir de manière significative son aire de dispersion. Chaque peuplement dans lequel des semences ont été récoltées est localisé géographiquement (latitude, longitude et altitude) (figure 3). La lecture des données des cartes climatiques numérisées devient alors possible.

Néanmoins, le nombre de variables disponibles sur les cartes numériques du cli-

mat est ample. Un choix a dû être effectué et seules les données de pertinences biologiques ont été retenues. Ce choix s'est basé sur les connaissances autécologiques du hêtre concernant sa sensibilité aux sécheresses estivales et sur la compréhension des processus biologiques liés au débournement. Ce sont les moyennes mensuelles de température et de précipitation qui ont été choisies. Elles couvrent une période moyenne de 50 ans (de 1950 à 2000) et sont précises au kilomètre près. Les 10 656 données disponibles pour ces deux variables climatiques ont été extraites des cartes climatiques mondiales pour décrire les 447 peuplements identifiés. L'analyse de cet ensemble de variations annuelles de température et

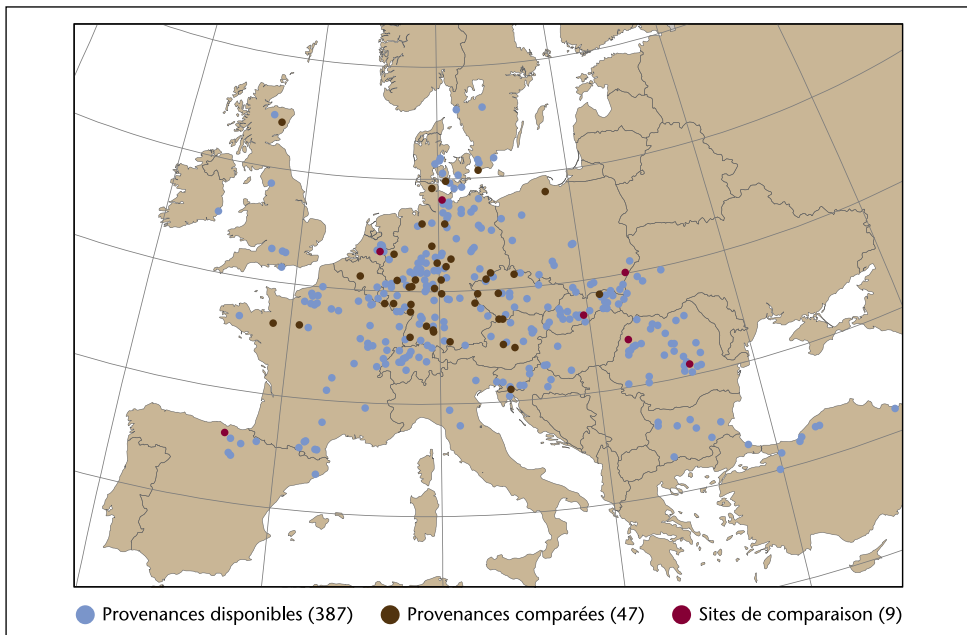
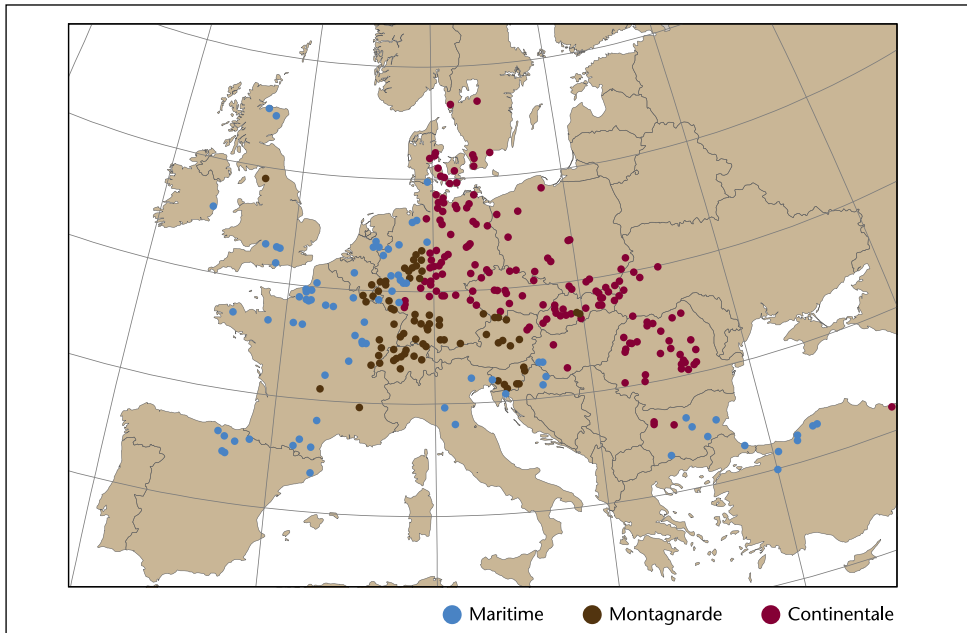


Figure 3 – Localisation des provenances et des sites de comparaison du hêtre du projet COST E52. Les points bleus et bruns localisent les peuplements dans lesquels les lots de semences ont été prélevés pour le test européen de provenances ; les points bruns indiquent les provenances comparées dans les tests de comparaison localisables par les points rouges.

Figure 4 – Populations de hêtre européen classées selon le climat maritime, montagnard et continental.



de précipitation permet l'identification de trois classes de climat : maritime, avec 102 peuplements ; continental, avec 228 peuplements ; et montagnard, avec 117 peuplements (figure 4).

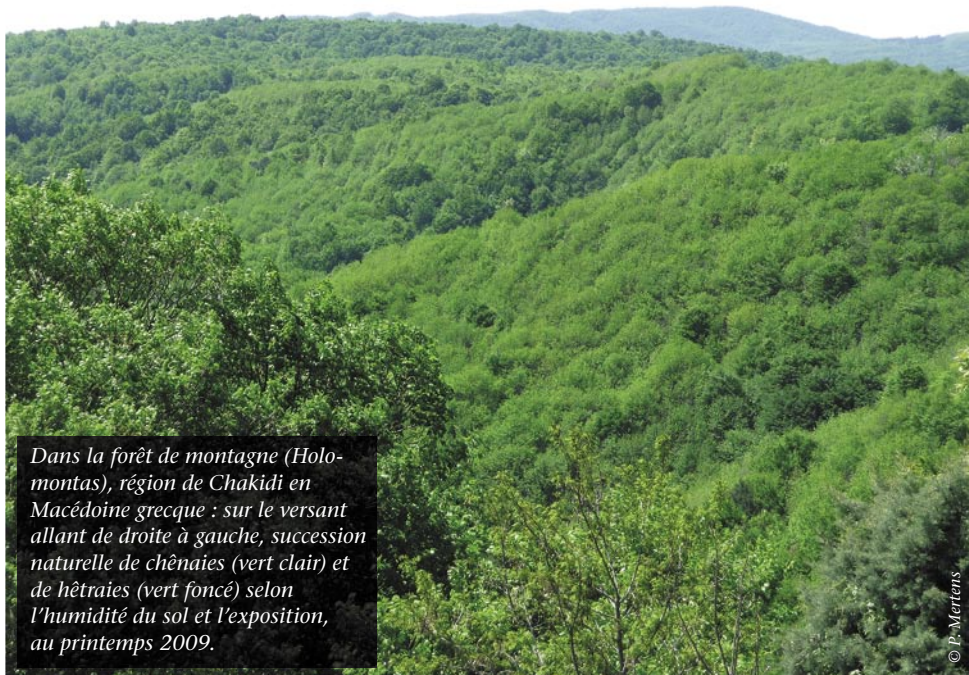
Ces trois climats se distinguent par des variations de pluviosités et de températures mensuelles moyennes représentées dans les figures 5 et 6.

Les climats montagnard et continental de l'aire de distribution du hêtre se caractérisent par une pluviosité élevée entre mai et septembre par rapport au reste de l'année (figure 5). En situations montagnardes, le surplus de pluviosité mensuelle est en toute saison de 20 à 30 litres par mètre carré par rapport aux localisations continentales. Par contre, en situations ma-

ritimes, la précipitation est en moyenne légèrement supérieure entre octobre et janvier, avec un minimum en juillet, soit en pleine période estivale. Par rapport aux climats montagnard et continental, les situations maritimes ont une précipitation quasi continue qui varie mensuellement de 55 à 75 l/m².

Les températures moyennes mensuelles des situations maritimes sont toujours supérieures aux deux autres, mais les différences estivales de mai à août sont faibles pour ces trois climats (figure 6). La différence fondamentale des trois courbes de température se situe entre novembre et mai. La plongée hivernale et la montée printanière sont très marquées dans le climat continental, marquées en conditions montagnardes et moindres pour les situa-





*Dans la forêt de montagne (Holo-
montas), région de Chakidi en
Macédoine grecque : sur le versant
allant de droite à gauche, succession
naturelle de chênaies (vert clair) et
de hêtraies (vert foncé) selon
l'humidité du sol et l'exposition,
au printemps 2009.*

© P. Mertens

tions maritimes. Ces variations sont dues aux minima atteints en janvier qui sont le plus bas en situations continentales. Dans les climats montagnard et continental ces minima annuels moyens se situent entre 0 et -5 °C, alors qu'en conditions maritimes, ils sont encore positifs.

Malgré les différences géographiques, la tendance générale est croissante entre la précipitation qui tombe pendant la période de végétation (mai à septembre) et l'altitude, surtout en dessous de 1 000 mètres (figure 7). Un surplus moyen de 28 l/m² est observé pour chaque élévation de 100 mètres, avec un minimum de l'ordre de 200 l/m². Par contre, il n'existe pas de tendance entre la température moyenne de la période de végétation et l'altitude (figure 8). Cela signifie que globalement

le déficit hydrique diminue avec l'altitude dans l'aire de distribution européenne du hêtre.

Ces différences climatiques sont écologiquement importantes pour comprendre le cycle de croissance végétale. Ce sujet est abordé ici par ses caractéristiques de débourrement et ses aléas climatiques.

CRITÈRES DE DIFFÉRENCIATION CONCERNANT LA PHÉNOLOGIE DES POPULATIONS AU PRINTEMPS

La biologie décrit le débourrement printanier comme une suite de processus annuels qui commencent dès le raccourcissement significatif de la longueur du jour (dès juillet). Ces jours courts induisent dans un

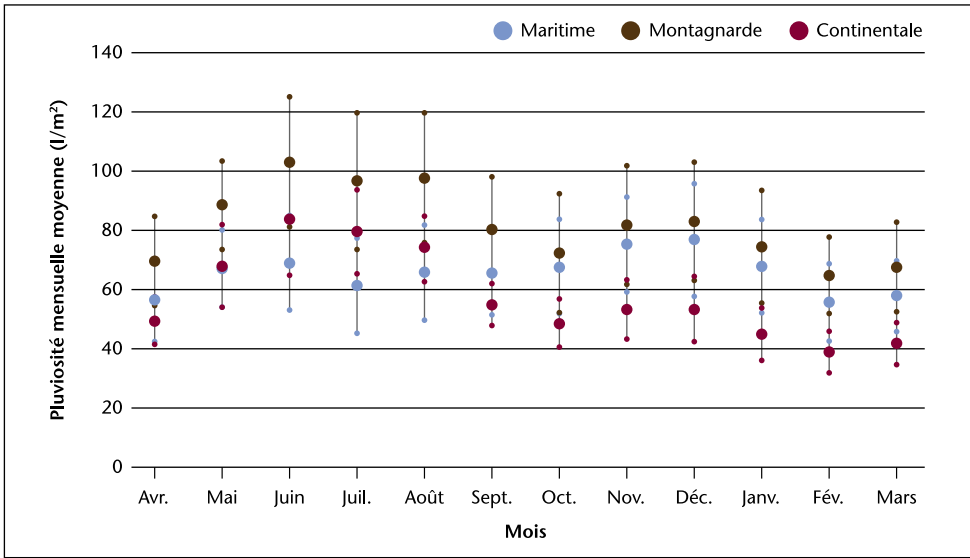
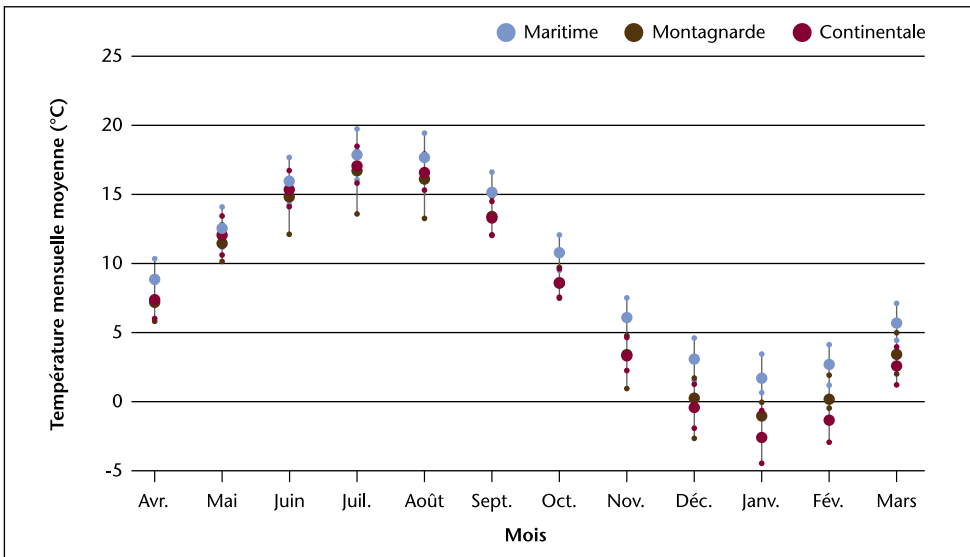


Figure 5 – Moyenne de pluviosité mensuelle « normale » en millimètre ou litre par mètre carré pour les climats maritime, continental et montagnard des populations du hêtre européen.

Figure 6 – Courbes de température moyenne mensuelle « normale » pour les climats maritime, continental et montagnard des populations du hêtre européen.



premier temps la formation des bourgeons qui peuvent s'ouvrir au printemps suivant et, ensuite, une entrée en dormance (repos) de ces nouveaux organes de développement. Pour lever cette dormance, il faut

des températures basses qui s'observent à la fin de l'automne et au début de l'hiver. Si cette accumulation de froid est insuffisante, le débourrement printanier sera moins rapide et plus irrégulier, même si

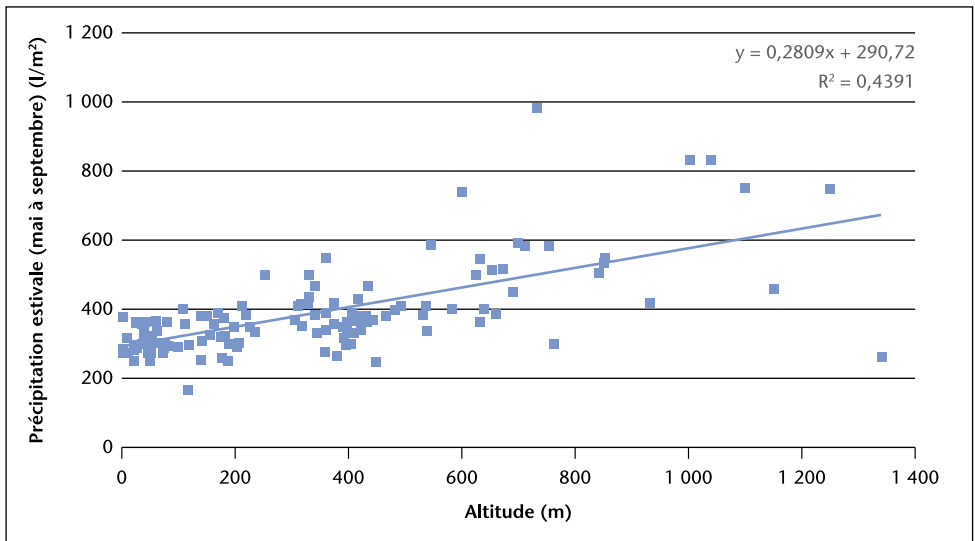


Figure 7 – Relation entre les précipitations durant la période de végétation (mai à septembre) et l'altitude, dans l'aire de distribution européenne du hêtre.

la température printanière est favorable. Ces phénomènes ont souvent été observés après les hivers « doux », par exemple vers 1980, 1990 et 2000. Par contre, si le froid automnal ou du début de l'hiver est marqué, l'accumulation thermique printanière déclenche l'éclosion des bourgeons en un temps très court, situations observées en 2009 et 2010.

Pour évaluer les différences de débourrement des populations de hêtre, neuf séries de données issues de sept répétitions du test européen de provenances sont disponibles (représentant un total de 42 078 observations). Ces données permettent de comparer l'ordre du débourrement des populations que nous avons classées dans les trois climats dé-

Tableau 1 – Comparaison des différences moyennes de débourrement des populations d'origines maritime, continentale et montagnarde lors du transfert entre ces classes.

Localisation du test	Provenance des populations			Test statistique (F_{obs})	Coefficient de variation intra-population
	Maritime	Montagnard	Continental		
Maritime (2 séries)	Référence (16 pop.)	Avancé : 11% (6 pop.)	Avancé : 8% (4 pop.)	(2 et 3292 dl) 77,05	41,60 %
Montagnard (1 série)	Pas de différence (7 pop.)	Référence (8 pop.)	Avancé : 2% (18 pop.)	(2 et 3790 dl) 46,48	17,60 %
Continental (6 séries)	Retardé : 7% (18 pop.)	Pas de différence (14 pop.)	Référence (22 pop.)	(2 et 34993 dl) 734,30	12,60 %

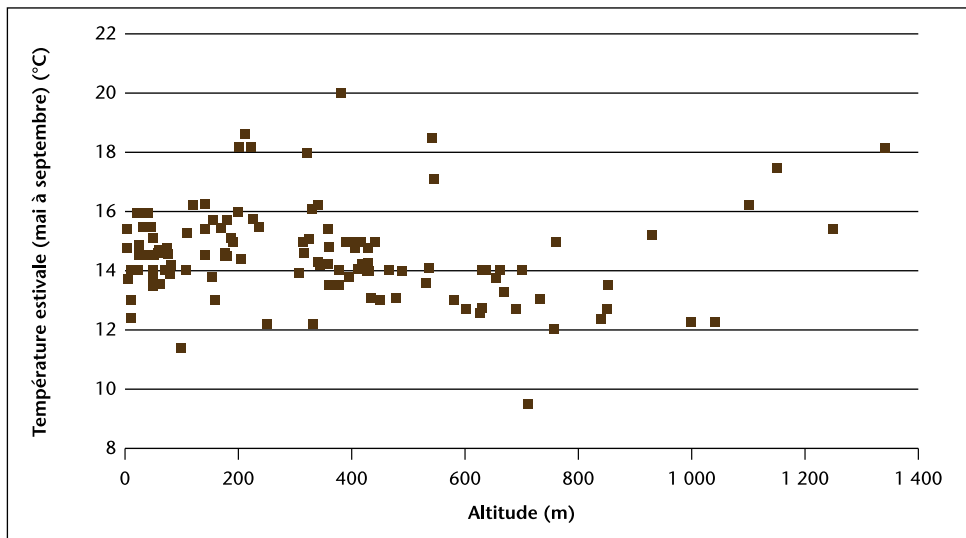


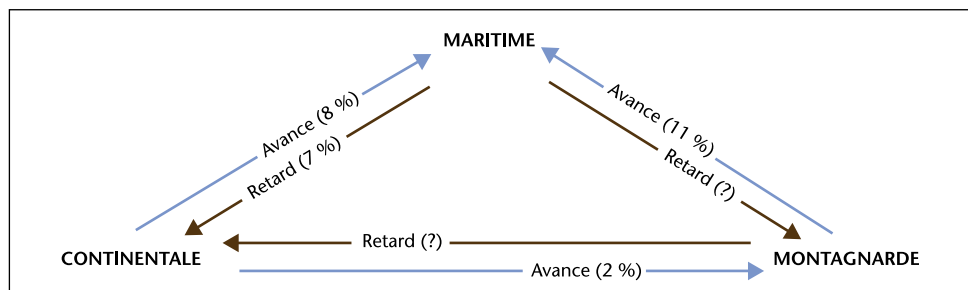
Figure 8 – Relation entre les températures durant la période de végétation (mai à septembre) et l'altitude dans l'aire de distribution européenne du hêtre.

crits précédemment. Le tableau 1 résume les résultats de cette analyse. Il indique les différences observées en termes d'avancée ou de retard de débournement des populations des groupes climatiques identifiés. Les colonnes donnent la provenance des groupes de populations comparées au sein de tests et les lignes, le climat du site de comparaisons.

Malgré les inégalités de représentativité de chaque classe, les différences observées sont hautement significatives. Une forte variabilité est observée pour les valeurs entre arbres dans les deux séries des répétitions installées en conditions maritimes.

Les résultats du tableau 1 sont représentés à la figure 9.

Figure 9 – Résumé graphique des résultats du tableau 1 indiquant la réponse de l'ordre relatif du débournement lors du transfert d'une provenance dans une région différente du point de vue climatique.



Nonobstant la faible différenciation génétique du hêtre européen, le transfert de populations entre régions climatiques provoque un retard ou une avancée de débourrement en fonction des conditions de comparaison et du climat associé aux populations comparées.

La première ligne du tableau 1 et la figure 9 indiquent que les populations de climat montagnard et continental ont tendance à débourrer plus précocement que les populations maritimes placées dans leur propre contexte climatique. La dernière ligne confirme ce fait en plaçant en condition continentale des populations d'origine maritime, ce qui entraîne, à l'inverse, un retard de débourrement de ces dernières. La différence entre populations de climats montagnard et continental est moins marquée que la précédente ; elle semble s'exprimer par une légère avancée du débourrement de provenances continentales en conditions montagnardes. La seule case qui s'écarte de ce modèle (figure 9) correspond au test de provenances maritimes dans des conditions montagnardes. Le résultat attendu était un retard de débourrement. La cause probable est la faible représentation des données disponibles : une seule série de test expérimental pour le climat montagnard et peu de populations disponibles en climat maritime.

Dans l'aire montagnarde de répartition du hêtre européen, les conditions de débourrement sont idéales. Le froid et les gelées sont présents dès novembre pour lever facilement la dormance. La température remonte rapidement au printemps pour atteindre quasiment les mêmes valeurs moyennes en été par rapport aux conditions maritimes. De plus, le maxi-

mum de précipitation s'observe lorsque les températures mensuelles moyennes sont également maximales. Sous ces conditions, le cycle n'a pas de contraintes climatiques, ce sont d'ailleurs celles de son aire optimale et, vraisemblablement, celles des refuges glaciaires.

Dans les conditions continentales, la courbe de température moyenne mensuelle est fort comparable au climat montagnard, sauf pour les minima moyens mensuels de décembre à février qui descendent encore plus que dans le climat montagnard. Mais pour les hêtraies continentales, aux conditions favorables de réchauffement printanier rapide et de hautes températures estivales, s'associe le risque de sécheresse estivale. En effet, la courbe moyenne des précipitations annuelles et estivales est clairement moins haute qu'en conditions de montagne. Dès le mois d'août, le risque de déficit hydrique est élevé. La conséquence possible d'un déficit hydrique est un raccourcissement de la période de végétation ou un ralentissement de la croissance par rapport au climat montagnard. Tous les gains de temps de croissance au début de la saison de végétation sont bénéfiques. Une sélection naturelle s'est probablement opérée dans ce sens, comme le montre la légère avancée du débourrement des populations d'origine continentale placées dans un climat montagnard.

Dans les conditions maritimes, l'inconvénient d'une faible précipitation estivale est encore accentué, par rapport au climat continental, par une faible précipitation mensuelle moyenne accompagnée de températures moyennes de plus de 10 °C entre mai et octobre. Cette combinaison de facteurs augmente le risque de déficit



Forêt d'Hegyhatszentmarton, sud-ouest de la Hongrie. Houppier de hêtre qui se dessèchent suite aux étés secs (indice de Martonne < 20).

si les peuplements ne se situent pas aux expositions moins ensoleillées ou en absence de facteurs compensatoires (comme un apport latéral ou souterrain d'eau, couverture nuageuse fréquente, etc.). La température baisse moins en automne et en hiver dans les climats maritimes, ce qui signifie que la somme de froid nécessaire à la levée de dormance est plus aléatoire que dans les deux autres climats. De plus, un autre élément climatique se révèle dans les climats maritimes, celui des gelées tardives. Leur occurrence, au moment même de l'éclosion, peut à terme augmenter la mortalité des jeunes peuplements. Il est très probable que ce facteur, dont les effets s'amplifient lors des hivers doux, soit à l'origine d'une sélection d'arbres plus tardifs. Cela pourrait expliquer le retard de débourrement, mis en évidence par

nos résultats, pour la moyenne des populations du climat maritime lorsqu'elles sont déplacées.

AUTRES CARACTÉRISTIQUES DES POPULATIONS EUROPÉENNES DU HÊTRE

Les résultats de l'action COST E52 montrent encore que les différences de survie et de croissance, observées 10 à 15 ans après l'installation dans les tests de terrain, s'expliquent principalement par des différences locales de climat et de sol, et faiblement par des différences entre provenances. En effet, une même tendance de supériorité ou d'infériorité d'une population ne se retrouve pas systématiquement sur la majorité des sites de comparaisons.

La migration des populations initiales de hêtre européen, des zones montagneuses vers les régions continentales et maritimes, s'est très probablement accompagnée d'une sélection d'arbres adaptés soit aux gelées tardives par un débourrement tardif⁶, soit aux courtes saisons pluvieuses estivales en favorisant le débourrement printanier précoce. La sécheresse a aussi amené une sélection d'individus aptes à supporter les fortes évapotranspirations dans les hêtraies des Pyrénées. Le processus impliqué donne aux feuilles une enveloppe (cuticule) plus épaisse pour réduire l'évaporation passive de l'eau.

SITUATION CLIMATIQUE DES HÊTRAIES EN WALLONIE

La Wallonie regroupe la majorité des hêtraies à l'échelle de la Belgique mais elles n'y sont pas réparties de manière homogène. La carte de la figure 10 donne la répartition des hêtraies d'après l'Inventaire permanent. Les couleurs du fond indiquent l'intensité du déficit hydrique, calculé uniquement sur les données climatiques, sans tenir compte de compensations ou d'amplifications de risques d'ordre édaphique (par exemple la profondeur limitée du sol) ou topographique (par exemple en haut de pente ou en plateau venteux). Vu la complexité des phénomènes en cause, ces valeurs moyennes ne peuvent être considérées comme absolues, même si elles semblent compatibles avec la donnée générale de transpiration annuelle d'une hêtraie ($600 \text{ l/m}^2/\text{an}$), et avec la précipitation qui atteint le sol durant la période d'avril à octobre. Retenons que pour les zones bleues, le déficit hydrique représente un peu moins de la moitié de celui des zones jaunes et oranges.

Quatre-vingts pour cent des points échantillonnés se situent dans les climats à faible déficit hydrique (moins de 170 l/m^2). Seulement un dixième de ces points correspond à un déficit moyen (plus de 220 l/m^2 de pluviosité). Pour illustrer ces différences climatiques, les mesures de deux stations météorologiques ont été choisies :

- celle de Uccle, proche de la Forêt de Soignes. Avec un déficit hydrique de l'ordre de 220 l/m^2 , cette station est assez typique du climat maritime (figure 11) ;
- celle de Dohan, près de Bouillon, en Ardenne. Avec un déficit hydrique de moins de 120 l/m^2 , cette station est pro-



*Riserva Statale Sasso Fratino,
hêtraie de montagne, totalement
naturelle et sans intervention,
près d'Arezzo en Italie.*

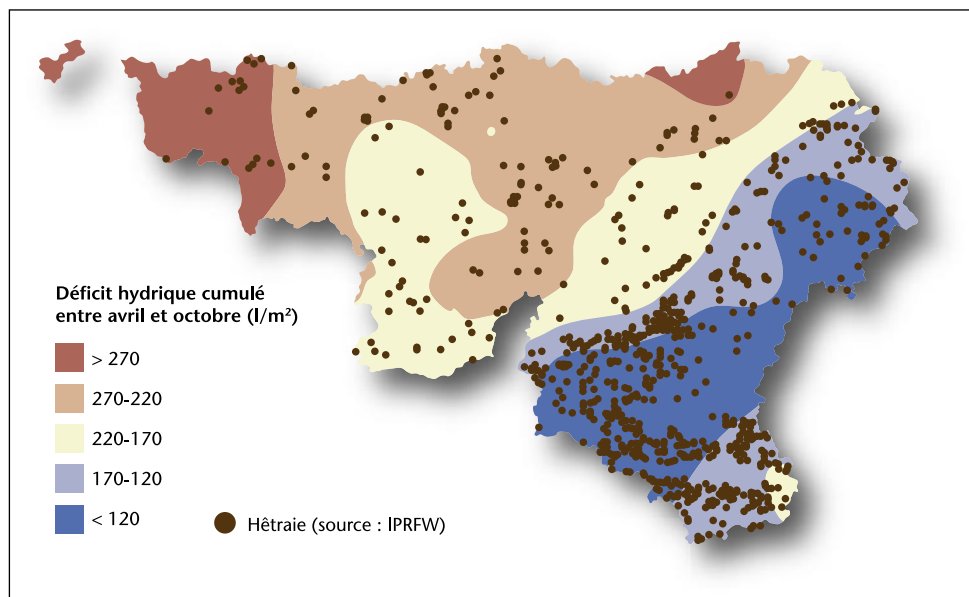


Figure 10 – Répartition des hêtraies en Wallonie selon le niveau théorique du déficit hydrique (données : IPRFW⁴, carte DEMNA).

che du climat montagnard (figure 12), sauf pour le froid hivernal moins prononcé dans le sud-est de la Belgique.

Les figures 11 et 12 montrent l'évolution mensuelle moyenne de la température, de la précipitation et du nombre de jours de gelées nocturnes dans les stations de Uccle et Dohan. Leur déficit hydrique cumulé est respectivement de 242 et 75 l/m².

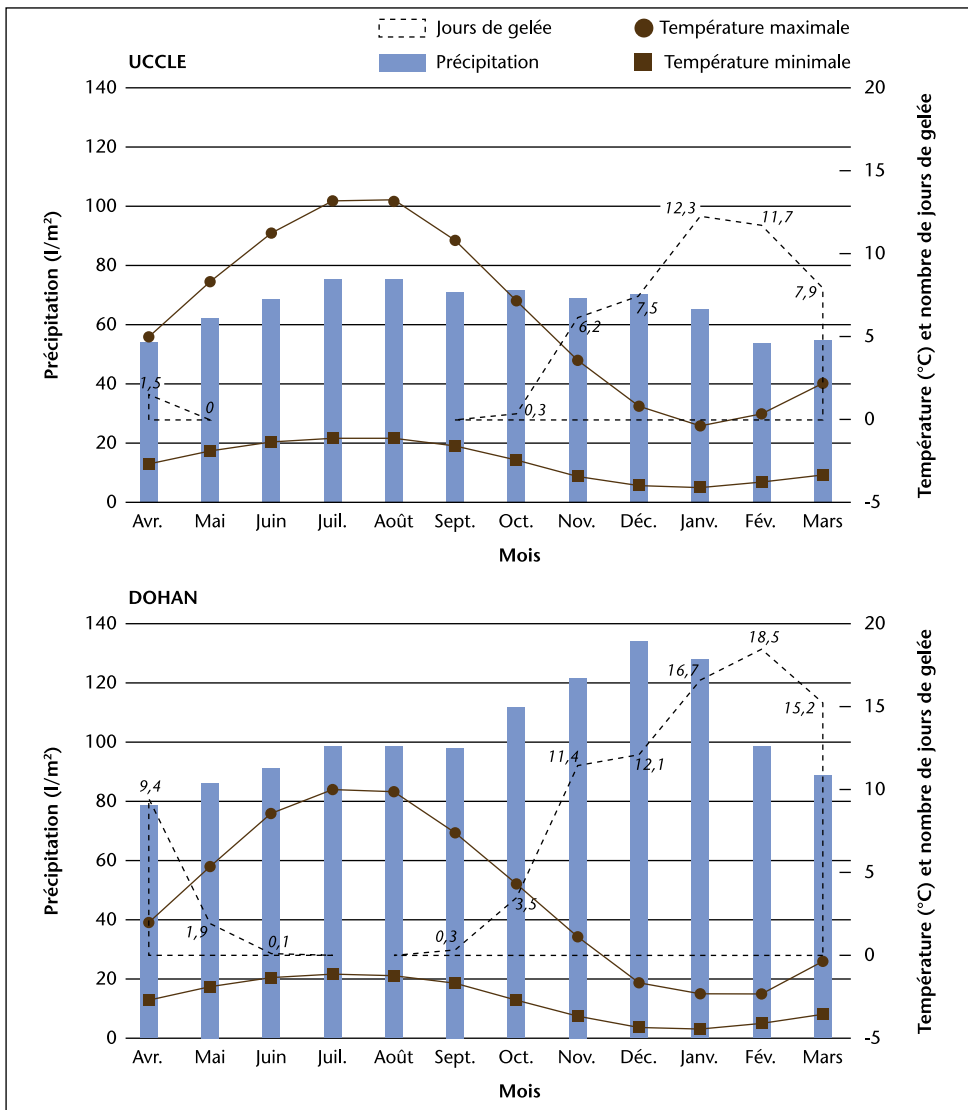
Placée dans le contexte global de l'aire de distribution du hêtre, la Wallonie dispose donc de deux zones climatiques:

- une zone de climat montagnard, correspondant aux régions naturelles de l'Ardenne et de la Gaume ;
- une zone de climat maritime, correspondant aux régions naturelles de la Famenne, du Condroz et de la moyenne Belgique.

RISQUES CLIMATIQUES

Du point de vue écophysologique, ce sont les conditions extrêmes qui provoquent des pertes rapides de vitalité. Elles favorisent également les sensibilités aux pathogènes et entraînent la mortalité des rameaux, branches et arbres. Ces réactions sont visibles à court terme. Par contre, les limites climatiques répétées ont des effets perceptibles seulement à long terme, par une adaptation des populations aux conditions du milieu, si celles-ci ne sont pas trop limitatives.

En Moyenne Belgique, selon les données de la station de Uccle, les conditions climatiques ne sont pas toujours optimales pour le hêtre. Selon les années, certaines périodes de végétation (de mai à août) re-



Figures 11 et 12 – Évolution climatique moyenne des stations d’Uccle et de Dohan (déficit cumulé normalisé d’avril à octobre : 242 et 75 l/m²).

çoivent moins de 200 litres d’eau par mètre carré, alors que la moyenne est de plus de 270 litres. Notons que cette moyenne est déjà faible par rapport au niveau « non stressant » qui se situerait au-dessus de 350 litres.

Les gelées tardives de mai peuvent également provoquer des dégâts sur les bourgeons au stade d’éclosion. Les effets des gelées tardives ont été possibles en 1941 et 1944, par exemple, avec 4 et 3 jours de gelée nocturne, étant donné que la

température moyenne maximale dépassait 16 °C et la minimale 5 °C. En plus, en 1944, le mois de mai fut particulièrement sec.

Lier ces extrêmes à certains facteurs atmosphériques connus est utile pour évaluer la régularité d'occurrence (probabilité) des événements extrêmes. Le soleil, qui fournit le rayonnement nécessaire à la vie sur terre, présente un cycle de phases de rayonnements plus ou moins intenses évalué par le nombre de taches solaires. Plus les taches solaires sont nombreuses, plus son rayonnement est intense. La figure 13 représente ce cycle depuis 1928.

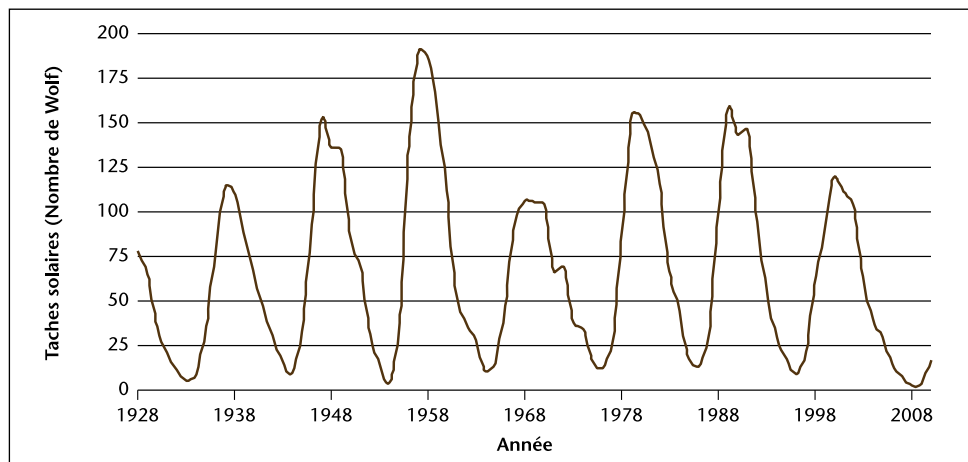
Pour tenir compte de la complexité des phénomènes climatiques sur terre, liés entre autres au rayonnement solaire qui influence la circulation des courants océaniques et la position du jet stream¹⁰, trois phases d'activité solaire sont considérées : faible (moins de 25 taches), forte (plus de 100 taches) et intermédiaire (entre 25 et

100 taches). Ainsi, les années correspondantes sont :

- forte activité solaire : 1937-38, 1947-49, 1956-59, 1967-69, 1979-82, 1988-91, 2000-02 ;
- basse activité solaire : 1931-34, 1943-44, 1953-54, 1963-64, 1974-75, 1985-86, 1995-97, 2006-10 ;
- intermédiaire : autres années.

Sur base de ce classement, nous résumons les données climatiques par quadrimestre, de février à mai pour la période de retour de la végétation (jours s'allongeant), de juin à septembre pour la pleine période de croissance (jours longs) et d'octobre à janvier (jours se raccourcissant) pour la période d'entrée en repos de la végétation. Pour plus de pertinence, en relation avec l'étude de la phénologie printanière, les données mensuelles sont également résumées par le calcul du nombre de jours à gelée diurne et nocturne. Ces limites biologiques sont liées aux cycles du froid.

Figure 13 – Chronologie du nombre mensuel moyen de taches solaires de 1928 à 2009.



Le tableau 2 croise ces résultats. Les variations climatiques liées à l'activité solaire s'en déduisent.

Durant les années de faible activité solaire, une précipitation estivale inférieure à 200 l/m² est plus de trois fois moins fréquente par rapport aux périodes d'intense activité solaire. Durant les années de faible activité solaire, le nombre de jours à gelée nocturne d'octobre à janvier est plus élevé de 5 jours et plus fréquent lors du retour de la végétation.

Durant les années de forte activité solaire, comme l'indiquent les températures moyennes maximales et minimales plus élevées, les étés secs et les automnes doux sont plus fréquents.

D'autres variables, telles que la précipitation totale d'octobre à mai et le nombre de jours à gelée nocturne entre février et

mai, ne sont pas influencées par un classement des années en fonction de l'intensité d'activité solaire.

Pour la moyenne Belgique, les résultats montrent indirectement que, toutes les décennies (8 à 12 ans), lors de période de basse activité solaire :

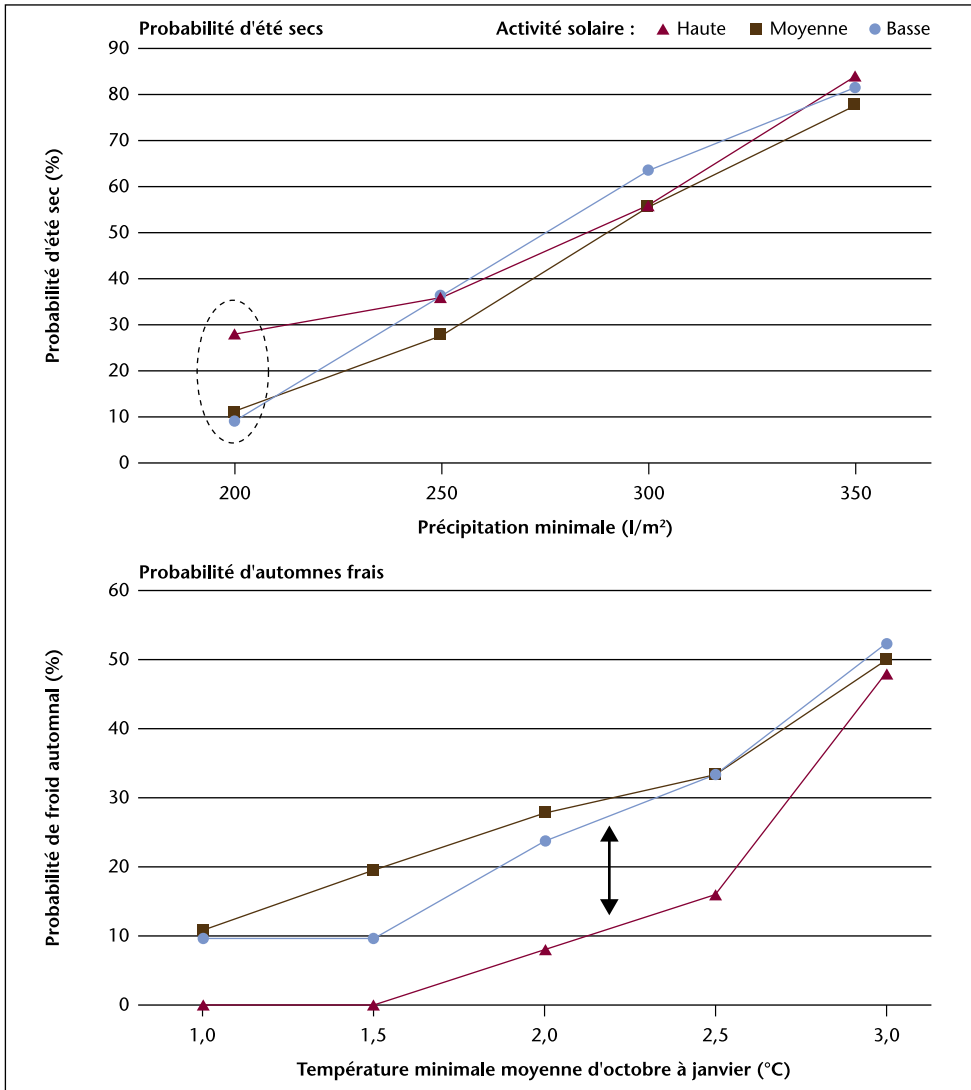
- les précipitations estivales sont plus élevées pendant deux ou trois années consécutives, ce qui est favorable à la croissance des hêtraies ;
- le nombre de jours de gelées nocturnes est plus élevé (+ 25 %) en période de retour à la croissance, de février à mai.

Les périodes de forte activité solaire se présentent une fois par décennie et ont la même fréquence d'occurrence, souvent deux années consécutives. Elles s'accompagnent :

- d'un risque plus élevé de sécheresse estivale ;

Tableau 2 – Relation entre classes d'activité solaire et paramètres climatiques pertinents pour le hêtre.

Activité solaire	Basse	Moyenne	Haute
Fréquence des années (1928 à 2010)	22 sur 83	36 sur 83	25 sur 83
Précipitation de juin à septembre (figure 14)	9,1 % de chance pour moins de 200 l/m ²	11,1 % de chance pour moins de 200 l/m ²	28 % de chance pour moins de 200 l/m ²
Gelée diurne entre octobre et janvier en nombre de jours (50 % des variations)	2 à 10 (moy. : 6,7)	2 à 11 (moy. : 6,7)	2 à 8 (moy. : 4,7)
Gelée nocturne entre octobre et janvier en nombre de jours (50 % des variations)	30 à 38 (moy. : 34,5)	24 à 40 (moy. : 32,0)	23 à 36 (moy. : 30,2)
Température d'octobre à janvier (figure 15)	Moy. max. 8,8 Moy. min. 2,8 33 % d'années à moins de 2,5 °C	Moy. max. 8,8 Moy. min. 2,7 33 % d'années à moins de 2,5 °C	Moy. max. 9,2 Moy. min. 3,2 16 % d'années à moins de 2,5 °C
Gelée nocturne entre février et mai en nombre de jours (50 % des variations)	18 à 35 (moy. : 25,5)	16 à 28 (moy. : 22,9)	14 à 29 (moy. : 22,4)



Figures 14 et 15 – Probabilité d'été secs et d'automnes frais en fonction de trois classes d'activité solaire.

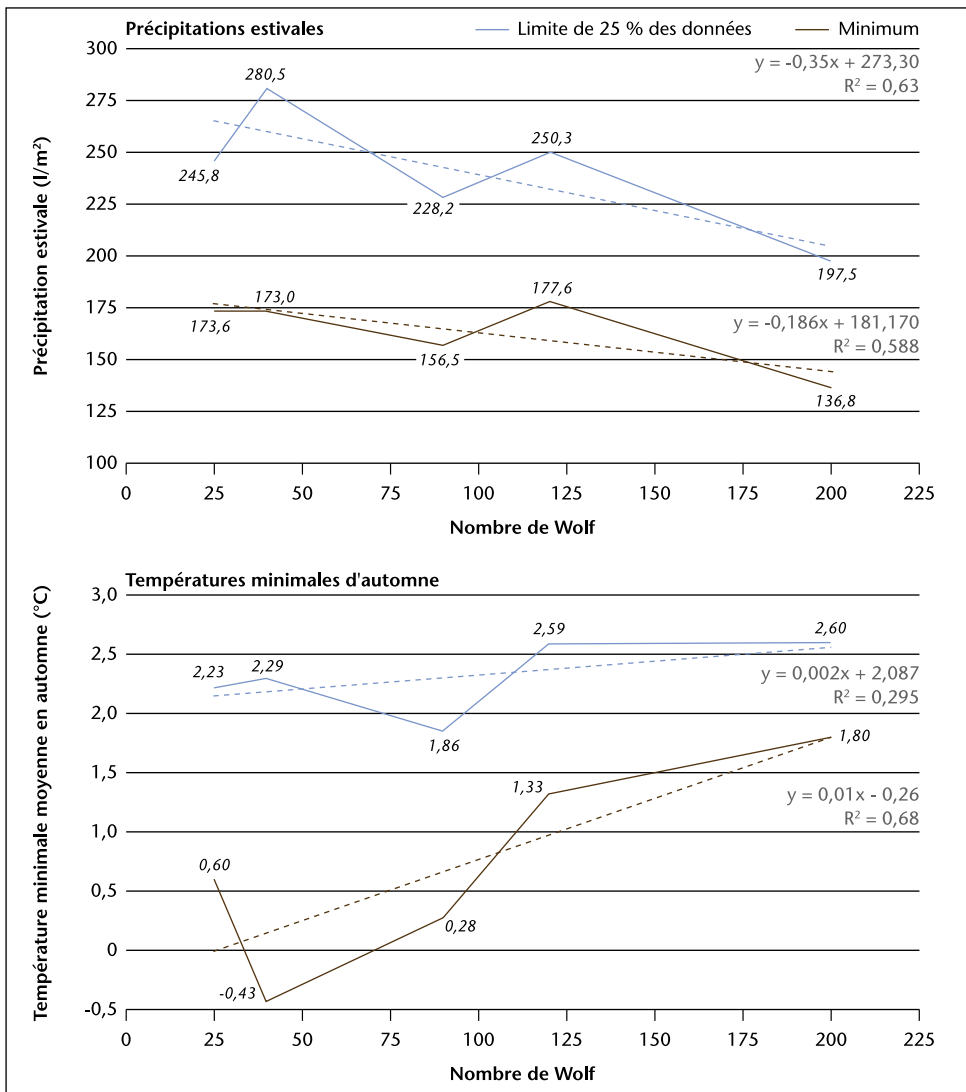
- d'une douceur automnale diminuant le froid nécessaire pour les levées de dormance.

Les figures 16 et 17 représentent sous une autre forme la tendance déjà décrite de :

- la décroissance de la précipitation estivale avec l'accroissement du nombre de

Wolf (nombre mensuel moyen de taches solaires), malgré une variation résiduelle marquée pour moins de 125 taches solaires (figure 16) ;

- la croissance de la température minimale moyenne d'octobre à janvier avec l'accroissement du nombre de Wolf, malgré une variation résiduelle mar-



Figures 16 et 17 – Évolution de la précipitation estivale et des températures minimales moyennes d'automne en fonction du nombre cumulé de taches solaires (Nombre de Wolf) (limites minimales et à 25% (premier quartile)).

quée pour moins de 100 taches solaires (figure 17).

En 2010, le nombre de Wolf était en moyenne de 16,5, alors qu'en 2007, 2008 et 2009, il est respectivement de 7,6, 2,8

et 3,1 (figure 13). Après un minimum très bas en 2008, la hausse du nombre de taches solaires est à prévoir dans les cinq prochaines années. Il sera important de vérifier si les tendances du passé se confirment, afin d'intégrer cette évolution dans

l'estimation des risques climatiques liés à l'évolution des conditions de croissance végétale pour le hêtre en moyenne Belgique (figure 18).

CARACTÉRISTIQUES
DE LA POPULATION
« FORÊT DE SOIGNES »
ET COMPORTEMENT EN EUROPE

Au nord du sillon Sambre-et-Meuse, la hêtraie est surtout présente dans les massifs de la Forêt de Soignes, de Meerdael et des Bois de Hal et de La Houssière. Les boisements de la Forêt de Soignes ont été rationnellement reconstitués au XVIII^e siècle en hêtraie régulière, avec des plants produits localement en pépinière et issus de semences ramassées dans la forêt¹. Les

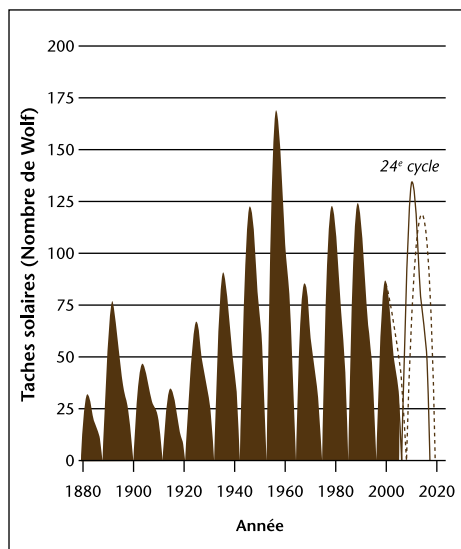


Figure 18 – Nombre de taches solaires modélisées et prédites (en pointillés) par simulation numérique pour le 24^{ème} cycle solaire (sources : M. Dikpati, P. Gilman et G. de Toma, NCAR¹²).



Aspect typique de la régénération artificielle du hêtre par bouquet en Forêt de Soignes.

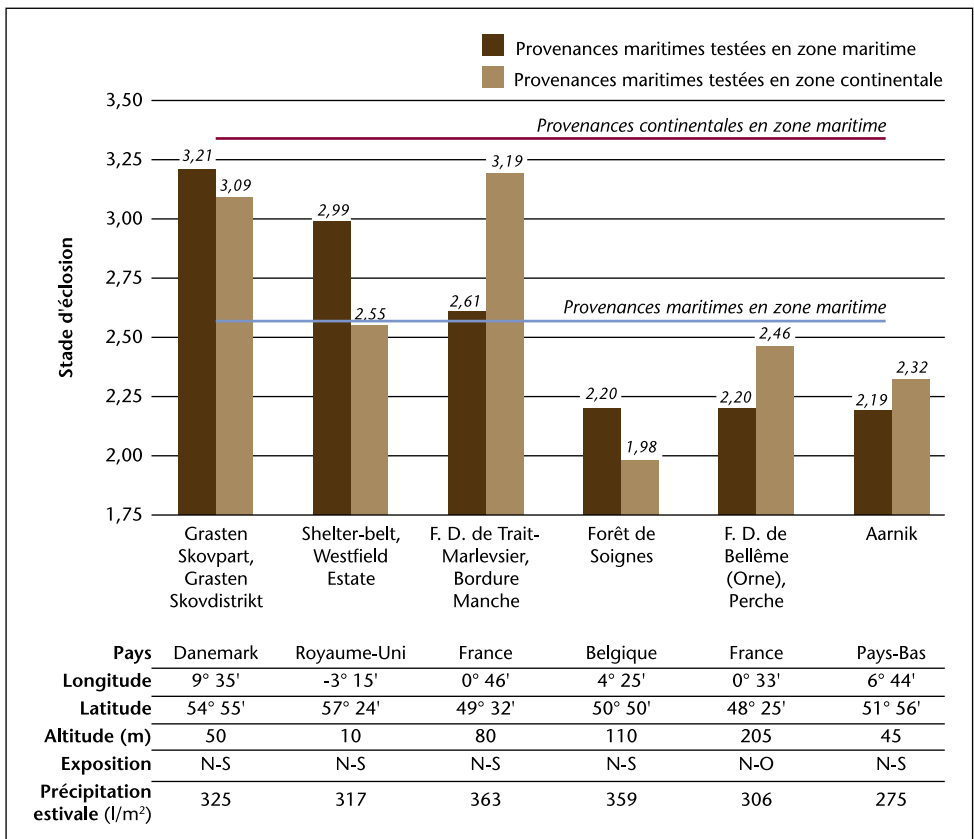
peuplements anciens et leurs descendants peuvent en conséquence être considérés comme une « provenance de climat maritime ».

Des semences issues de cette provenance ont servi à la production de plants dont la croissance a été comparée à d'autres provenances européennes dans toute l'aire de distribution du hêtre. Dans le cadre des évaluations réalisées par l'action COST E52, les spécificités concernant la phénologie printanière de cette prove-

nance ont été étudiées. Les autres provenances comparées dans les parcelles proviennent de France, Pays-Bas, Danemark et Royaume-Uni.

La figure 19 représente l'état moyen d'éclosion à mi-débourrement, selon une échelle d'intervalle de 0 (fermeture totale) à 7 (éclosion totale), des bourgeons de six provenances maritimes comparées entre elles dans les zones maritime et continentale. Il en résulte que les provenances de la « Forêt de Soignes », de la « Forêt de Bellê-

Figure 19 – État moyen d'éclosion à mi-débourrement, selon une échelle d'intervalle de 0 (fermeture totale) à 7 (éclosion totale) des bourgeons de six provenances maritimes comparées entre elles dans les zones maritime et continentale. Pour le praticien, ces résultats se manifestent par un retard d'un peu moins d'une semaine des provenances maritimes.



me » et de « Aarnik » ont un débourrement en moyenne retardé par rapport aux trois autres, qu'elles soient testées en zone maritime ou continentale.

Sur le même graphique figurent deux lignes qui rappellent que, en zone maritime, le débourrement des provenances continentales devance celles des espèces maritimes. La différence observée au sein des provenances maritimes (plus et moins tardives) est aussi marquée que celle observée entre provenances maritimes et continentales (lignes verte et ocre) en zone maritime. Cela met en évidence la large variabilité encore disponible au sein des provenances.

NOTE CONCLUSIVE

L'Action COST E52 montre l'ample potentialité d'adaptation de la croissance juvénile du hêtre aux conditions climatiques diversifiées de l'Europe. L'étude du comportement de populations transférées entre zones montagneuses, continentales et maritimes, conduit, à la lueur des connaissances génétiques acquises récemment, à une évidence : il faut dissiper certaines incertitudes concernant l'évolution du hêtre en Europe, compte tenu de l'ample capacité d'adaptation de ses populations.

Les données géoclimatiques et génétiques issues de cette action de recherche indiquent que *Fagus sylvatica* est une espèce récente, qui n'a pas encore évolué en sous-espèces adaptées aux conditions écoclimatiques particulières. Par contraste, les chênes ont évolué en espèces et écotypes spécifiques à de nombreux milieux naturels, qui sont plus étendus et plus variables

que ceux que le hêtre a colonisés jusqu'à présent.

Les différences de survie et de croissance, 10 à 15 ans après la plantation, c'est-à-dire pendant la phase d'installation du boisement, ne s'expliquent pas par des différences de provenances. Par contre, la qualité du site constitue le facteur explicite majeur des différences observées.

Des différences de précocité ou de tardivité de débourrement ont toutefois été observées. La migration des populations anciennes du hêtre – des zones montagneuses vers les régions continentales et maritimes – s'est très probablement accompagnée d'une sélection des arbres mieux adaptés, soit aux gelées tardives, soit aux faibles pluies estivales, limitant ainsi les risques liés au débourrement tardif. La sécheresse a aussi amené une sélection d'individus aptes à supporter les fortes évapotranspirations par des adaptations morphologiques foliaires.

Selon l'hypothèse la plus probable, les événements climatiques extrêmes du futur devraient surtout affecter les hêtraies en plaine et en zone maritime. Cela implique un choix minutieux des sites de maintien et d'implantation du hêtre pour éviter ces risques, en y assurant une exposition moins ensoleillée et si possible une humidité atmosphérique élevée. Il serait également utile d'y introduire quelques populations d'origine continentale, afin d'étendre la variabilité génétique des populations qui ont le plus souffert de la sécheresse estivale et des gelées tardives.

Selon les statistiques climatiques disponibles pour Uccle depuis 1928, les saisons de végétation sèches (précipitations infé-

rieures à 200 l/m² entre juin et septembre) reviennent tous les 3 à 9 ans, en moyenne tous les 6 ans. Les automnes frais (moins de 2 °C de température minimale moyenne entre octobre et janvier) sont plus de quatre fois moins fréquents depuis 1970. Ce manque de fraîcheur en fin de saison de végétation peut provoquer un certain dérèglement de la phénologie printanière ainsi que d'éventuelles sélections naturelles dans des peuplements fort exposés aux gelées tardives. ■

⁹ www.worldclim.org/

¹⁰ www.futura-sciences.com/fr/news/t/climatologie-1/d/lactivite-solaire-pourrait-expliquer-les-hivers-froids-en-europe_23433/

¹¹ www.meteobelgique.be/article/donnees-statistiques/uccle-depuis-1833.html

¹² www.futura-sciences.com/fr/news/t/astronomie/d/taches-solaires-le-soleil-est-en-retard-sur-son-cycle_15854/

BIBLIOGRAPHIE ET RESSOURCES EN LIGNE

¹ CAMMAERTS R. [2009]. *Sept siècles d'exploitation forestière*. In : *La Forêt de Soignes, Connaissances nouvelles pour un patrimoine d'avenir*. Éd. Mardaga : 51-61.

² DEMESURE B., COMPS B., PETIT R.J. [1996]. Chloroplast DNA phylogeography of the common beech (*Fagus sylvatica* L.) in Europe. *Evolution* **50** : 2515-2520.

³ MAGRI D., VENDRAMIN G.G., COMPS B., DUPANLOUP I., GEBUREK T., GÖMÖRY D., LATA'OWA M., LITT T., PAULE L., ROURE J.M., TANTAU I., VAN DER KNAAP W.O., PETIT R.J., DE BEAULIEU J.-L. [2006]. A new scenario for the Quaternary history of European beech populations : palaeobotanical evidence and genetic consequences. *New Phytologist* **171** : 199-221.

⁴ environnement.wallonie.be/dnf/inventaire/peupp2.htm

⁵ www.bfafh.de/inst2/cost_e52/

⁶ sites.google.com/site/beechnmeeting/cost-e52-presentations

⁷ snl.lu/publications/bulletin/SNL_1955_059_051_056.pdf

⁸ scholar.google.be/scholar?start=10&q=+h%C3%AAtre+pollen+tourbi%C3%A8re+belgique&hl=fr&as_sdt=0,5

PATRICK MERTENS

patrick.mertens@spw.wallonie.be

ALAIN RIBOUX

alain.riboux@spw.wallonie.be

ÉLODIE BAY

elodie.bay@spw.wallonie.be

Direction du Milieu forestier,
Département de l'Étude
du Milieu naturel et agricole,
D GARNE, SPW
Avenue Maréchal Juin, 23
B-5030 Gembloux

ALVARO PEREZ

a.perez@naturawal.be

Naturawal asbl

Chaussée de Namur, 47
B-5030 Gembloux

AUDREY ROBERT

audrey@parcnaturel.be

Parc Naturel Haute-Sûre Forêt d'Anlier
Chemin du Moulin, 2
B-6630 Martelange