



© S. Vanwijnsberghe

QUEL AVENIR POUR LA « HÊTRAIE CATHÉDRALE » DE SOIGNES ? BASES DE RÉFLEXION POUR UNE PRISE DE DÉCISION

HUGUES CLAESSENS – ROGER LANGOHR – THOMAS DROUET
SYLVIE LA SPINA – MATHIEU JONARD – CAROLINE VINCKE
QUENTIN PONETTE – STÉPHANE VANWIJNSBERGHE

À l'heure où le plan de gestion de la forêt de Soignes bruxelloise doit être révisé, il est apparu nécessaire de synthétiser les éléments objectifs sur lesquels la gestion doit s'appuyer. Rassemblant leurs expertises respectives pour une analyse commune des nombreuses études existantes, pédologues, écologues, sylviculteurs et gestionnaires tirent la sonnette d'alarme : la forêt de Soignes n'est pas bien armée pour affronter l'avenir. Forts de ce constat, ils proposent et argumentent divers scénarios de gestion alternatifs.

FASCINANTE FORÊT DE SOIGNES

« Qui ne connaît aux portes de Bruxelles, cette admirable forêt de Soignes, incomparable parure végétale que le monde entier nous envie ? »⁵⁷ Ces « hautes futaies au sous-bois dégagé où le regard glisse entre les troncs dans ce que d'aucuns ont appelé la forêt cathédrale : l'incomparable sentiment de majesté qui s'en dégage tient à deux facteurs : l'élévation

extrême de chacun de ces piliers mais aussi l'homogénéité de l'ensemble. »⁴⁷

Cette fascination n'est toutefois pas le propre des amateurs de paysage, à pied, à vélo ou à cheval, car la forêt de Soignes est exceptionnelle à bien plus d'un titre.

Pour les naturalistes, elle est un haut lieu de biodiversité, en raison des espèces parfois rares qu'elle abrite grâce à sa continui-

té temporelle et à l'abondance de vieux arbres⁸.

Elle frappe aussi le forestier. Le hêtre de la forêt de Soignes est reconnu par les généticiens forestiers comme relevant d'un phénotype supérieur et représentant un patrimoine exceptionnel à préserver⁴⁶. Ses peuplements à graines (2000 hectares actuellement reconnus) ont d'emblée figuré dans le premier catalogue belge des peuplements à graines²⁵. Sa productivité est également remarquable : l'accroissement annuel moyen de la hêtraie est de l'ordre de 10 m³/ha, classant la forêt de Soignes parmi les plus productives d'Europe^{16, 17}.

La forêt de Soignes est aussi chargée d'histoire : elle est vue comme le dernier témoin vivant d'une impératrice qui a marqué son époque : l'Impératrice Marie-Thérèse d'Autriche (1717-1780) qui régnait sur nos contrées. Les archéologues peuvent y étudier des sites exceptionnellement bien préservés remontant à plus de 5000 ans (site néolithique du Michelsberg, notamment). De manière similaire, les pédologues et les géomorphologues trouvent dans le relief et les sols des traces bien conservées de la dernière glaciation qui s'est terminée il y a environ 10000 ans³¹.

Ainsi, promeneur, naturaliste, forestier, féru d'histoire, marchand de bois ou scientifique, chacun trouve de quoi s'émerveiller devant cette forêt exceptionnelle.

Pourtant, cette forêt n'a pas toujours eu cet aspect remarquable, bien qu'artificiel, de « hêtraie cathédrale ». Les études palynologiques menées par BASTIN³ et les études paléo-écologiques de MUNAUT⁴³ montrent qu'au début de notre ère, le hêtre était dominant sur les sols sableux,

en mélange avec un peu de chêne sessile, tandis que sur les sols limoneux, il était associé au chêne pédonculé qui dominait les peuplements.

Dès le Moyen Âge, la forêt de Soignes a subi la déforestation et la surexploitation, modifiant la structure et la composition des peuplements résiduels. Les tapisseries « Les chasses de Maximilien » qui datent de cette période, nous montrent d'ailleurs l'image d'une forêt mixte, à dominance de chêne comprenant également du hêtre^{48, 58}.

Il faut attendre sa restauration sous le régime autrichien (1714-1795) pour qu'elle acquière une structure régulière faite de vastes peuplements équiennes. À cette époque, la forêt est gérée pour la production de bois à une révolution de 80 ans. Son aspect de « cathédrale » est donc plus récent. Il est lié au vieillissement de la futaie qui ne s'est amorcé qu'en 1843, lors du rachat de la forêt de Soignes par l'État belge. À partir de ce moment, la révolution y a été allongée à 100 ans, pour passer successivement à 120 ans en 1886, à 180 ans en 1971⁴⁰, et finalement à 200 ans dans le dernier plan de gestion de la Région bruxelloise⁶³, sous la pression des protecteurs du patrimoine et d'un large public qui apprécie désormais les majestueux peuplements produits par la futaie régulière. Ses arbres, de parfaite rectitude, atteignent des dimensions tout à fait remarquables. La circonférence moyenne des plus vieux peuplements approche les 270 cm et leur hauteur dépasse largement les 40 mètres. Certains individus, ayant bénéficié de conditions de croissance particulièrement favorables, atteignent des hauteurs dépassant les 50 mètres. Les vingt premiers mètres du tronc sont exempts de toute branche, justifiant des prix de vente parmi les plus élevés du pays, malgré des



Les chasses de Maximilien, le mois de juin (XVI^e siècle). On y voit une forêt de Soignes mélangée, au moins avec du chêne et du hêtre.

largeurs de cernes réduites. Certains peuplements qui ont dépassé les 200 ans arrivent toutefois à leur limite d'âge.

CONTROVERSÉE FORÊT DE SOIGNES

Sur le modèle de sylviculture

Depuis longtemps, la gestion de la forêt de Soignes a soulevé la polémique. À l'époque de sa restauration déjà, deux écoles s'affrontent. Celle du « lieutenant-wautmaître » Jean-Charles Théodore de l'Escaille, partisan de la futaie mélangée et structurée – que l'on qualifie maintenant de « proche de la nature » – et celle de Joachim Zinner, partisan d'une restauration plus radicale du massif en futaie régulière de hêtre par plantations⁵¹. Ce dernier réussit à imposer sa vision qui consistait, après un nettoyage sévère de la vaste zone à restaurer (élimination de tout le taillis et

des quelques arbres de futaie sur plusieurs dizaines d'hectares), à planter du hêtre, souvent accompagné de chênes. Cette politique mit sur pied, à la fin du XVIII^e siècle, une structure de futaie régulière gérée dans un but de production de bois de chauffage et de petit bois de construction et d'industrie. Puis, au cours du temps, en raison de sa dynamique de croissance et de l'allongement de la révolution, le hêtre s'imposa de plus en plus pour former les peuplements que l'on connaît.

Sur son aspect paysager

Un siècle plus tard, à la fin du XIX^e siècle, la monotonie paysagère de la forêt de Soignes est critiquée par le public qui exprime le désir de plus de diversité. René Stevens, fondateur de la Ligue des Amis de la Forêt de Soignes, exprime l'avis général sur ce point de vue : « *La beauté d'une forêt consiste-t-elle à avoir beaucoup d'arbres*

pressés les uns contre les autres et, par conséquent, allongés comme des manches à balai et terminés par un grotesque petit plumeau de feuilles, à quarante mètres de hauteur, sur un sol où pas un brin ne peut croître ? Ou bien consiste-t-elle à offrir aux regards émerveillés des futaies verdoyantes, depuis le sol jusqu'aux cimes, avec des arbres de tous les âges, dont un grand nombre, sagement espacés, ont pu développer une grandiose ramure ? »¹²

C'est aussi à cette époque que les forestiers prennent conscience des nombreuses fragilités de la futaie régulière. L'Administration des Eaux et Forêts se lance dès lors dans la transformation de la futaie régulière monospécifique vers la futaie mélangée et jardinée par groupes.

Sur la hêtraie elle-même

Au milieu du XX^e siècle débute un nouveau débat qui porte sur le hêtre lui-même. Son

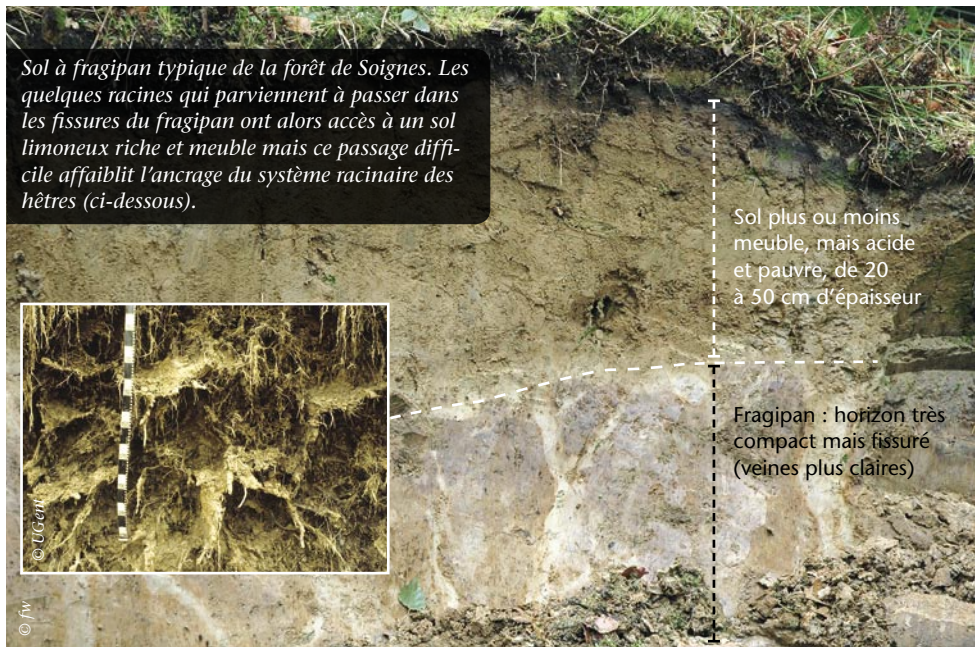
indigénat est mis en doute⁵⁴ et ses détracteurs le rendent responsable de la dégradation des sols soniens^{19, 54}. Plus tard, les études palynologiques et l'analyse fouillée des archives de l'époque autrichienne prouveront que les hêtres plantés en Soignes étaient bien d'origine locale⁴², tandis que LANGOHR et CUYCKENS³³ et LANGOHR et SANDERS³⁴ démontreront que les causes de ladite dégradation des sols soniens ne se trouvent pas au niveau du couvert forestier mais bien dans l'impact de la période glaciaire sur le sol limoneux.

FRAGILE FORÊT DE SOIGNES

Une relation particulière à son sol

Un sol à fragipan contraignant

Globalement, on peut considérer que le sol à fragipan de la forêt de Soignes se



compose de trois compartiments superposés plus ou moins indépendants : un sol acide et pauvre (sol lessivé depuis plusieurs millénaires) d'une épaisseur de 20 à 50 cm selon la topographie, reposant sur un horizon très compact mais fissuré, d'environ un mètre d'épaisseur (le fragipan) ; sous cet ensemble, plusieurs mètres de limon riche et meuble s'offrent aux racines qui y accèdent par les fissures du fragipan³².

Cet horizon profond explique la forte productivité des stations de la forêt de Soignes. Pour les hêtres dont le système racinaire a pu traverser le fragipan, d'importantes réserves d'eau et d'éléments minéraux²¹ deviennent accessibles et permettent aux arbres de maintenir leur croissance malgré les sécheresses estivales⁵⁶. Ce constat a été mis en évidence lors d'une expérience d'assèchement d'une durée de deux ans^{35, 36}. Malheureusement, les racines qui pénètrent dans les fissures étroites du fragipan finissent, au cours de leur développement, par occuper tout l'espace disponible. Selon LANGOHR³², elles rencontrent alors une résistance latérale de plus en plus forte. Certaines racines sont progressivement asphyxiées et finissent par être « étranglées » et mourir, perdant ainsi toute efficacité pour l'alimentation hydrique et minérale des hêtres. À partir d'un certain âge, un déséquilibre s'installe entre le houppier et les racines, accentuant la sensibilité des vieux hêtres aux vents. De

surcroît, à l'inverse du limon profond contenant une réserve d'eau considérable, le sol de surface, peu profond et séparé du loess par le fragipan, ne possède qu'une réserve hydrique limitée. Celle-ci peut être épuisée par les arbres lorsque se manifeste un déficit prolongé des précipitations estivales. Il arrive donc régulièrement que le sol soit sec en cours d'été, d'autant plus sévèrement qu'il a été tassé, et sa réserve en eau ainsi réduite.

En surface, un sol lessivé fragile...

En surface, le sol qui repose sur le fragipan subit un lessivage depuis plusieurs milliers d'années. En conséquence, il est très acide et offre de mauvaises conditions de vie à la pédofaune fousseuse comme les vers de terre endogés (actifs dans les dix premiers centimètres du sol) ou anéciques (présents plus bas), ainsi que les taupes, qui sont quasiment absents en hêtraie soignienne, mais dont l'activité est nécessaire au maintien de la fertilité du sol. L'humification de la litière est dès lors plus difficile et produit un humus de type moder, lui-même acidifiant. Le hêtre, par la litière peu décomposable qu'il produit, accentue ce phénomène (son rapport carbone sur azote est parmi les plus élevés des essences feuillues européennes²³).

... et exposé au tassement

Pour couronner le tout, le sol limoneux de Soignes est sensible au tassement que la forêt subit depuis le Moyen Âge suite à son exploitation et aux nombreuses activités humaines qui s'y déroulent*. Plus récemment, l'utilisation inadaptée de lourds engins d'exploitation et la fréquentation non contrôlée des cavaliers et piétons ont progressivement tassé certains secteurs entiers de la forêt de Soignes, particulièrement en hêtraie cathédrale où la

* Dans le cadre de carottages réalisés sur un site néolithique, VANMONFORT *et al.*⁶¹ ont mis en évidence les restes d'un *traffic pan* : couche de compaction du sol sur 5 cm d'épaisseur, situé à une profondeur de 10 à 40 cm sous la surface actuelle, trahissant la présence d'anciens chemins.

L'exploitation des bois, tout comme la forte fréquentation de piétons et cavaliers tasse, les sols et affaiblit les racines de surface qui sont pourtant fondamentales dans l'alimentation des arbres.



pénétration par le public est plus aisée^{9, 61}. L'impact négatif de ce tassement sur l'écosystème a été mis en évidence à plusieurs reprises, qu'il s'agisse du dépérissement de certains peuplements suite à la sécheresse estivale de 1976^{14, 65, 18, 61} ou de la réduction de la réserve en eau du sol, évaluée à 25 %^{22, 28}.

Ces sols sont ainsi rendus inhospitaliers pour les racines des essences sensibles à l'anaérobiose, en particulier pour le hê-

tre. Ce processus ouvre alors la porte aux risques de dépérissement des arbres en place⁴⁴. De même, les conditions de surface ne sont pas favorables au développement des semis (manque de porosité, sécheresse, accumulation de litière, acidité, concurrence hydrique du peuplement). Elles justifient, en partie, le déficit actuel de régénération du hêtre dont la semence est assez sensible à ces conditions contraignantes.

Ces constats ont amené le service forestier bruxellois, depuis près de 10 ans, à n'autoriser la circulation des machines d'exploitation forestière que dans les cloisonnements, tandis que la circulation des piétons et cavaliers a été strictement réglementée. Cependant, la lente décompaction du sol est tributaire de l'activité des vers de terre et autres fouisseurs capables de restaurer une bonne porosité au sol limoneux, gage du bon fonctionnement des processus biologiques qui soutiennent la fertilité des sols. On comprendra donc que, dans le contexte des sols soniens, acides et couverts d'un humus de moindre qualité, la restauration des conditions de la fertilité des sols ne peut s'envisager qu'à très long terme et en parallèle avec des modifications sylvicoles majeures. NANSON⁴⁶ propose d'ailleurs des interventions de restauration radicales par un travail profond du sol.

Une pression continue du hêtre

Depuis deux siècles, le hêtre lui-même, par sa fane acidifiante et le pédoclimat sec et sombre que ses peuplements denses produisent, limite l'activité biologique des sols. Le recyclage des éléments minéraux contenus dans les litières est lui aussi limité, alors que des essences « améliorantes » comme le frêne, l'érable

ou le tilleul développeraient un humus de type mull et un horizon héli-organique épais^{9, 15, 27, 55, 60}, garants d'une meilleure fertilité des sols. Dans le contexte des sols soniens, l'effet de la continuité du hêtre s'ajoute donc aux contraintes de surface déjà présentes.

Des géants aux pieds d'argile

Malgré une productivité exceptionnelle, la hêtraie cathédrale est en relative difficulté sur les sols soniens, comme pourraient l'être beaucoup d'autres peuplements en raison des contraintes que représentent à la fois le fragipan et les dommages liés au tassement. Mais la sylviculture passée porte aussi sa part de responsabilité dans la fragilité de la hêtraie actuelle. Sous la pression d'un public sensible aux considérations paysagères, les sylviculteurs du

XX^e siècle ont progressivement amené les peuplements dans une situation d'instabilité, mesurable par la forme de leurs arbres : hauts de plus de 40 mètres avec une cime réduite, ils se situent largement dans les conditions de risque de chablis élevé définies par BOCK *et al.*⁴ pour des sols comparables à ceux de la forêt de Soignes. Les magnifiques hêtres élancés de la forêt de Soignes ne sont donc que des géants aux pieds d'argile. Et plus ces arbres vieillissent, plus l'ancrage racinaire limité par le fragipan et affaibli par l'âge devient insuffisant.

Dans ces conditions, la météorologie devient un acteur imprévisible de la gestion des peuplements : le vent se charge périodiquement de basculer ce qu'une gestion normale aurait dû prélever. C'est le cas



Dans les vieux peuplements, le sol, la sylviculture et l'âge des arbres forment un cocktail instable prêt à exploser au moindre aléa météorologique.

entre autres des tempêtes de 1922, 1940, 1944, 1988 et 1990 qui ont mis à terre plusieurs dizaines d'hectares de vieux peuplements de hêtre qui auraient dû être régénérés bien avant. Évoquant les chablis occasionnés suite aux tempêtes du 14 novembre 1940, BOUDRU⁶ prend position sur cette sylviculture conservatrice : « *Chez les gros hêtres, vénérables ancêtres laissés sur pied par considération sentimentale ou esthétique, les ravages de l'ouragan par suite de pourritures diverses sont très importants. On peut dire que la tempête s'est souvent chargée, un peu brutalement peut-être, d'une vaste opération sanitaire devant laquelle les hommes avaient reculé* ». Et lors de la dernière tempête de janvier 2007, mille deux cents arbres ont été renversés par un vent n'atteignant qu'environ 100 km/h⁶⁴. Ainsi, dans les vieux peuplements, le sol, la sylviculture et l'âge des arbres forment un cocktail instable prêt à exploser au moindre aléa météorologique. Les chablis sont donc inévitables, ils sont le prix à payer pour obtenir une « hêtraie cathédrale » haute et majestueuse dont les arbres approchent de la sénescence.

De surcroît, le dispositif permanent mis en place pour estimer l'état sanitaire de la forêt de Soignes bruxelloise⁷, révèle un net déficit de vitalité sur l'ensemble du massif. Il indique aussi que la défoliation augmente significativement avec l'âge ou la circonférence des arbres à hauteur d'homme⁵³.

En fait, la réouverture du couvert des plus vieux peuplements suite aux chablis de nombreux arbres affaiblis par l'âge évoque clairement le stade d'effondrement caractéristique du cycle sylvigénésique qui régit l'évolution naturelle des forêts. Il n'y a

pas d'autre solution que de régénérer activement la forêt ou de la laisser se rajeunir dans une structure et selon un calendrier que seule la nature décidera. Ainsi, si les régénérations d'érable, de bouleau et de frêne ont toujours été observées, elles sont devenues plus abondantes. Et les régénérations naturelles de hêtre, rares dans un passé récent, commencent à se manifester de plus en plus, de même que celle du charme, du chêne et de certains résineux comme le pin noir et parfois le mélèze.

UN AVENIR INCERTAIN...

La « hêtraie cathédrale » apparaît donc comme un monument fragile. Peut-être justement parce qu'on l'a considérée comme une cathédrale du XVIII^e siècle alors qu'elle est en vérité un écosystème vivant dans un environnement changeant. Cette vision objective et dynamique de l'écologie doit désormais compter dans les décisions car elle permet d'anticiper la crise qui se prépare et peut-être même de l'éviter.

Ainsi, face à l'affaiblissement des peuplements vieillissants et dans le cadre des changements climatiques, un nouveau débat secoue la hêtraie sonienne. Comment le hêtre pourra-t-il résister aux changements annoncés ? Et tenant compte de ces risques, quelle place lui laisser en Soignes ? Comment gérer les vieux peuplements hérités de Zinner ? Comment régénérer les zones qu'il faut inévitablement exploiter en raison de leur effondrement ?

En matière de gestion forestière, les choix opérés aujourd'hui produiront leurs répercussions durant un à deux siècles, comme ce fut le cas de ceux de Zinner en 1790.



Les régénérations naturelles de hêtre, rares dans un passé récent, commencent à se manifester de plus en plus depuis quelques années sans que l'on ait pu en identifier les causes. L'éclaircissement du couvert, ainsi que des conditions climatiques plus favorables aux fainées contribuent à l'expliquer. Sans garantie qu'elles arriveront à former une majestueuse hêtraie en 2150.

Mais contrairement à l'époque où l'on misait sur une relative stabilité des conditions écologiques et socio-économiques, nous savons que les changements globaux sont désormais rapides et qu'ils impacteront inévitablement et fortement les peuplements qui sont installés maintenant. Parmi ces changements, ceux du climat ne peuvent être éludés.

Au moment de réviser une nouvelle fois le plan de gestion de la forêt, il est plus que jamais nécessaire de se référer aux éléments objectifs, documentés par les multiples études qui ont été menées en forêt de Soignes, afin de ne pas baser exclusivement les décisions déterminantes pour la forêt future sur un attachement, certes légitime mais sans doute devenu risqué, à la forêt sonienne telle qu'elle est en ce début de XXI^e siècle.

Quelle est la sensibilité de la hêtraie sonienne face aux changements climatiques ?

Pour prévoir de manière précise et irréfutable l'évolution future de la hêtraie sonienne, il faudrait notamment que les changements climatiques à venir soient connus précisément à l'échelle régionale voire locale. Ce n'est pas le cas, mais la communauté scientifique s'accorde sur le sens de l'évolution climatique en Europe au cours du XXI^e siècle, ainsi que sur l'ampleur minimale des changements. On observe une augmentation progressive de la température globale qui se traduit déjà depuis plus d'un demi-siècle par un allongement de la période de végétation et l'on s'attend à une augmentation de l'occurrence des épisodes chauds et secs en période de végétation, couplée à une augmentation des précipitations hivernales²⁹. Même si l'am-

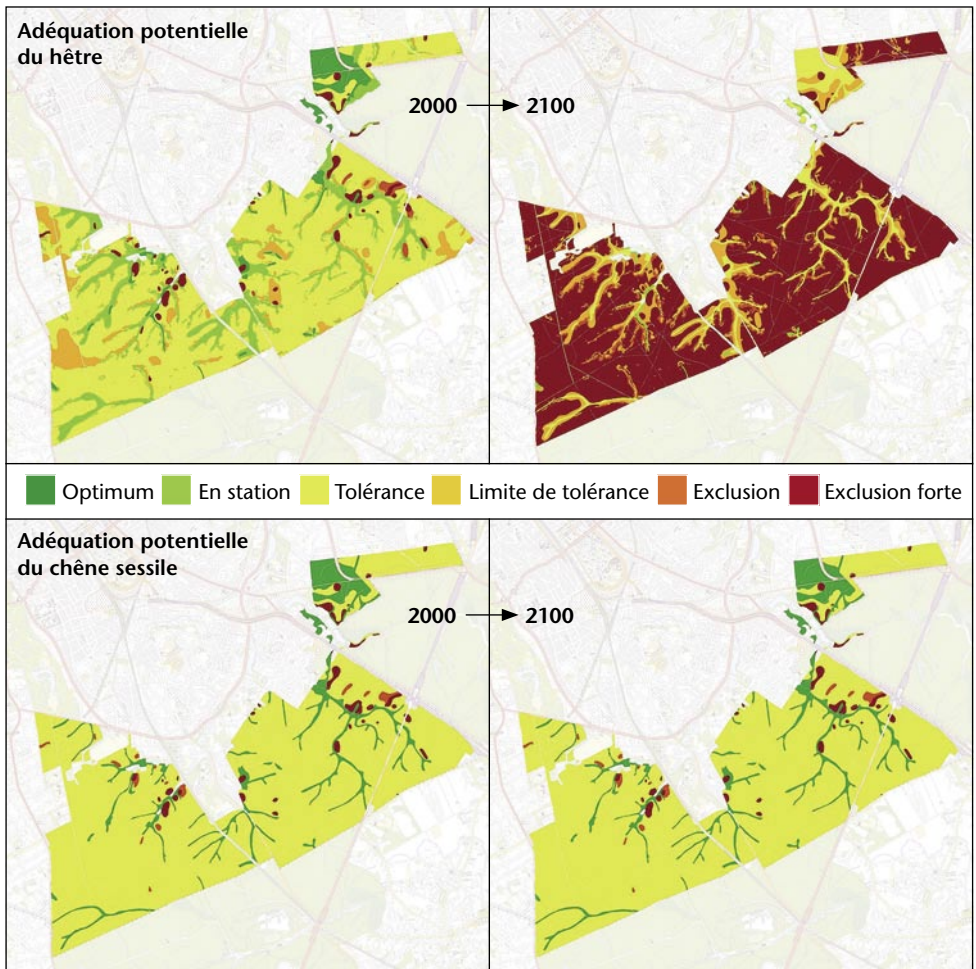
plitude exacte de ces changements est inconnue, cette tendance est déjà suffisante pour réfléchir à l'avenir du hêtre et orienter la gestion forestière^{10, 37, 38} et en particulier celle de la forêt de Soignes.

Difficultés du hêtre lors d'épisodes xériques

Si l'on se réfère aux modélisations menées en France portant sur l'adéquation climat-essence à la fin de ce siècle^{1, 2}, par analogie

aux plaines du nord de la France dont le climat et les conditions écologiques sont comparables, les stations qui conviendraient au hêtre deviendraient marginales en Basse Belgique. En particulier, si l'on considère les exigences écologiques de l'espèce, qui est liée aux climats plutôt frais et humides (montagnes, Europe moyenne), deux facteurs lui seraient particulièrement défavorables¹³ : le déficit de saturation de

Figure 1 – Adéquations potentielle et future du hêtre et du chêne sessile en forêt de Soignes¹³.



l'air et les températures maximales atteintes lors des canicules. En effet, même si le sol profond reste pourvu en eau, une forte sécheresse climatique induisant des dégâts au système conducteur en eau des arbres, couplée à des températures élevées altérant la machinerie photosynthétique peuvent avoir des effets très négatifs. Ce fut le cas par exemple lors de l'évènement climatique extrême de 1976, qui a provoqué une perte de croissance très significative en 1976 et durant les années qui ont suivi, du moins pour les arbres de plus de 80 ans⁵⁰.

Nuances stationnelles locales

Dans le contexte local de la forêt de Soignes, on peut affiner l'analyse bioclimatique globale grâce à une connaissance détaillée des stations. Selon DAISE *et al.*¹³, quelques stations de vallon pourraient ainsi être protégées de la chaleur et moins directement affectées par le fragipan, mais elles sont marginales au niveau du massif majoritairement constitué de plateaux soumis au mésoclimat de la région. Quant aux stations de plateau à sols tassés, elles pourraient souffrir d'un engorgement printanier suite à l'augmentation des précipitations hivernales, engorgement qui serait de nature à affaiblir davantage le système racinaire des hêtres peu tolérants à l'anoxie racinaire^{13, 18, 35, 36}.

Risque de chablis accru ?

Un troisième élément, et non des moindres, est à considérer en relation avec la faiblesse de la stabilité des vieux hêtres en forêt de Soignes : il semblerait qu'à l'avenir, la fréquence des tempêtes puisse augmenter, provoquant davantage de dégâts du au vent³⁷, spécifiquement dans les hêtraies cathédrales dont la structure et la hauteur des arbres accentuent la sensibilité aux chablis.

Quelle capacité d'adaptation ?

D'une manière générale, le hêtre est connu pour être sensible au déficit pluviométrique cumulé des mois de juin et juillet¹, tandis que, plus localement, les pluies du mois de mai semblent déterminantes en forêt de Soignes⁴⁹. Mais manifestement, sur les épais limons de Soignes, le hêtre peut, dans une certaine mesure, adapter son architecture racinaire pour accéder à des ressources hydriques profondes³⁵.

En ce qui concerne la chaleur, on peut espérer que dans un premier temps, la variabilité génétique du hêtre vis-à-vis de la tolérance à la chaleur permette à la population de Soignes de s'adapter au changement. Il y a forcément des individus plus résistants que d'autres aux températures caniculaires, qu'il est possible de favoriser par la sélection comme le propose NANSON⁴⁶ dans son dispositif de sélection continue. Mais si cette solution paraît séduisante, l'intensité et la rapidité des changements (en moins d'une génération de hêtre) risquent bien d'anéantir les possibilités d'adaptation de l'espèce. Même si la variabilité génétique du hêtre est indéniable⁴¹, chaque espèce possède néanmoins une amplitude physiologique qui n'est pas illimitée. Dans le territoire biogéographique du plateau limoneux, la tolérance du hêtre aux nouvelles conditions climatiques risque d'être dépassée à la fin de ce siècle. En outre, il est démontré que les stress abiotiques fréquents affaiblissent les arbres, limitant leur capacité de réaction et de résistance aux agents biotiques de tout genre⁴⁵.

Dans le même ordre d'idées, on pourrait imaginer importer des provenances se développant actuellement dans le climat plus xérique du sud de l'Europe. Cette

solution est catégoriquement rejetée par les généticiens forestiers pour qui le phénotype de la forêt de Soignes constitue un patrimoine génétique unique dont il convient d'éviter toute contamination par une autre provenance⁴⁶. De plus, rien ne garantit que la forme de ces hêtres soit apte à produire une hêtraie cathédrale sous le futur climat sonien. Les forestiers connaissent bien l'échec que fut l'introduction de provenances roumaines en Belgique, caractérisées par des fûts tortueux et bas-fourchus⁴⁶, contrairement à la bonne rectitude qu'ils possèdent dans leur territoire d'origine. Dans cet objectif, il serait intéressant d'installer des tests comparatifs de provenance^{41, 46}, mais là aussi, la rapidité des changements ne permettra pas d'en tirer des conclusions dans les temps impartis.

La solution la plus plausible pour maintenir le hêtre serait offerte par la structure écologique du territoire sonien. Certaines stations, par leur situation topographique favorable en versant nord ou dans les vallons, seront moins exposées à la chaleur, tout en étant moins fortement affectées par les problèmes liés au fragipan¹³. Mais ce repli dans les zones favorables, nettement plus marginales, n'autorise plus le développement de grandes étendues homogènes de hêtraies nécessaires au faciès de « hêtraie cathédrale » dans lesquelles le regard peut voyager au loin.

QUELS SCÉNARIOS DE GESTION POUR LA HÊTRAIE CATHÉDRALE ?

Il est clair que l'état sanitaire actuel de la hêtraie cathédrale ne découle que partiellement des conditions stationnelles. Mais au moment où il faut inévitablement en-

gager de grands pans de la forêt de Soignes dans une régénération, au vu de son âge et de son instabilité, les prévisions de changements climatiques jettent le trouble sur le futur de la hêtraie dans la grande majorité des stations où elle se trouve actuellement. Dès lors, quelles recommandations de gestion peut-on faire pour la hêtraie cathédrale ? Quelques pistes volontairement tranchées sont proposées ci-après sur base des éléments qui ont été présentés jusqu'ici.

La voie risquée

D'un point de vue objectif, il est clair qu'aussi belle qu'elle puisse être, la hêtraie cathédrale, qui forme l'essentiel des peuplements anciens, cumule des handicaps qui la rendent particulièrement sensible aux aléas climatiques. Maintenir la hêtraie cathédrale jusqu'au XXII^e siècle, c'est-à-dire replanter du hêtre en peuplement pur et équienne maintenant, implique un risque de perte de stabilité et de dégradation de l'état sanitaire à la suite d'épisodes climatiques défavorables (quelques étés caniculaires successifs, par exemple). S'il était question de l'envisager dans un but patrimonial, au risque de la faire courir à sa perte, il est clair qu'il serait impératif de limiter les surfaces concernées. On notera toutefois que les dégâts de tempête, en activant les processus sylvigénésiques, auraient un effet favorable sur la biodiversité. Mais ce n'est qu'un aspect limité des choses.

Une alternative serait d'adopter une sylviculture plus dynamique (éclaircies fortes) de manière à raccourcir drastiquement la durée de vie des hêtres. Cela limiterait la durée de la prise de risque et donnerait un maximum d'espace aux individus pour qu'ils se développent avec le moins de

contraintes possible, tant au niveau du sol qu'à celui des houppiers.

Mais il faut bien considérer qu'une sylviculture dynamique et une révolution courte formeront des hêtres plus trapus qui ne produiront pas le même effet majestueux. Au sein du massif, il ne sera pas non plus envisageable de proposer la même proportion de hêtraie cathédrale puisque le stade « cathédrale » ne sera vraiment effectif que quelques décennies. En effet, avec la sylviculture actuelle, la phase cathédrale typique n'apparaît que vers 130 ans !

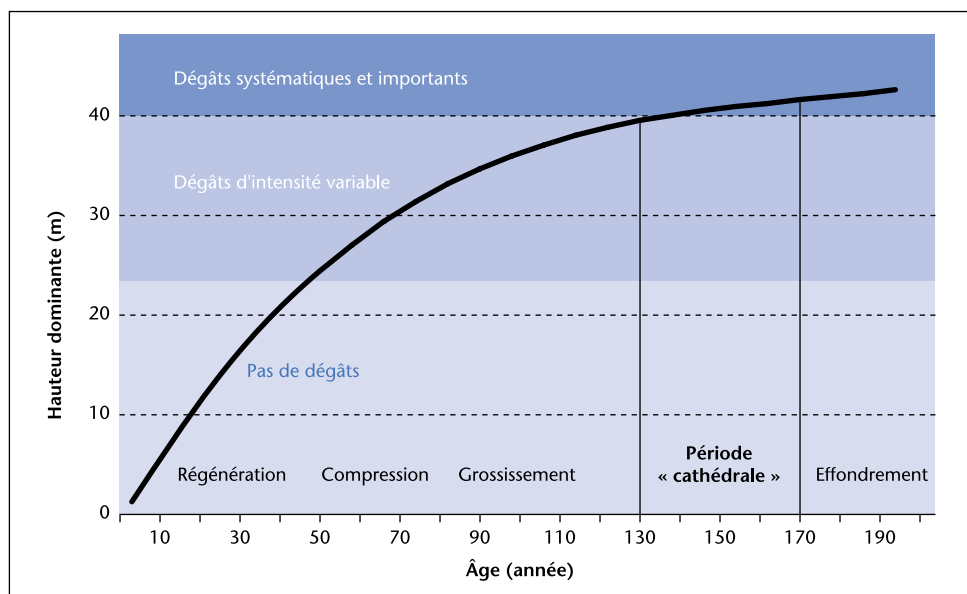
Enfin, pour placer toutes les chances de son côté, au moment de la plantation, il serait opportun de travailler le sol compacté pour en restaurer la structure²⁴, soit des travaux lourds et coûteux qui

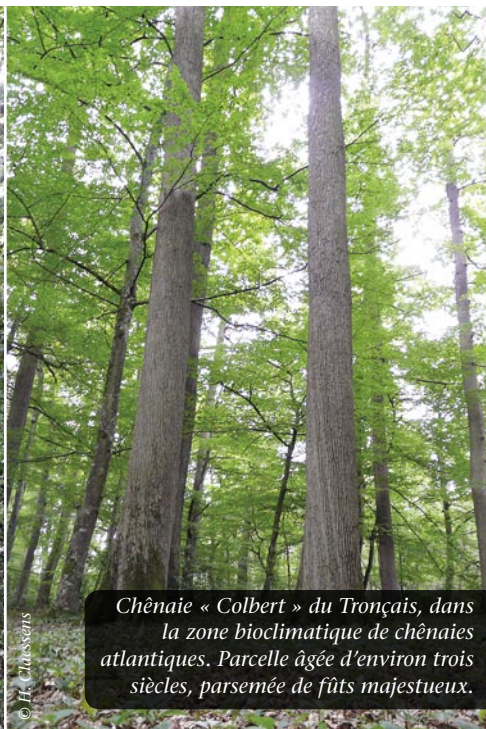
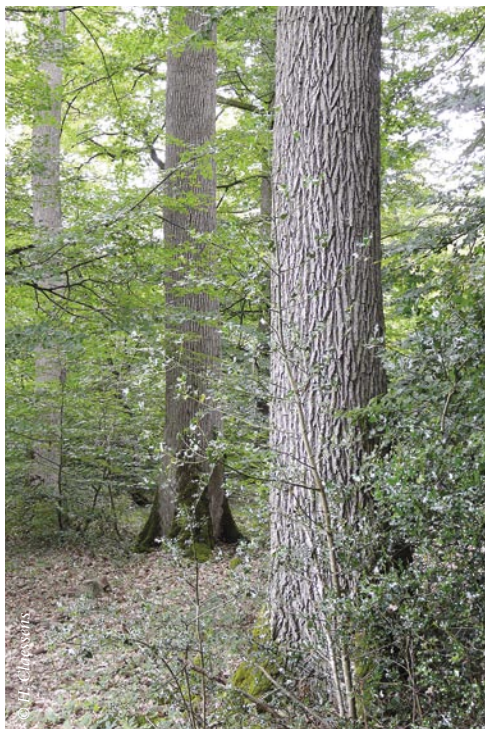
entameraient le patrimoine pédologique unique de la forêt de Soignes.

Initier une voie parallèle

N'est-ce pas plutôt le moment de lever les tabous face aux défis qui nous attendent ? Puisque des alternatives au hêtre existent¹³, le plus sage serait de modifier la composition de la forêt en introduisant dès maintenant, seules ou en mélange, des essences plus souples face au changement climatique, comme le chêne sessile et le tilleul à petites feuilles, déjà présents dans certains peuplements. Si l'on se projette dans le climat plus chaud du bassin parisien ou de la Loire, on y trouve de très belles chênaies cathédrales, comme la réputée « chênaie Colbert » de Tronçais. En Europe centrale, les futaies de tilleul possèdent aussi leur charme particulier.

Figure 2 – Évolution du risque de chablis selon l'âge et le stade sylvicole de la hêtraie en cas de vents dépassant 120 km/h. On remarque que selon le mode de gestion qui a prévalu jusqu'ici, le faciès de hêtraie cathédrale est soumis pendant plusieurs décennies au risque le plus élevé (d'après les données de BOCK et al.⁴ et TIMAL et VANWIJNSBERGHE⁵⁹).





Chênaie « Colbert » du Tronçais, dans la zone bioclimatique de chênaies atlantiques. Parcelle âgée d'environ trois siècles, parsemée de fûts majestueux.

En élargissant encore notre angle de vue, et au risque de choquer certains, une autre piste d'adaptation pourrait être, à plus long terme, d'envisager la sylviculture d'essences exotiques, comme le châtaignier, le cèdre ou des pins méridionaux déjà présents en Soignes, afin de maintenir un faciès forestier adapté à un climat futur potentiellement plus sec. Cette option n'est toutefois pas sans risques, notamment durant la période de transition climatique. Elle n'est donc pas (encore ?) d'actualité.

Et si de l'Escaille avait eu raison ?

Même s'il n'est pas exclu de former de très belles chênaies cathédrales, l'idée même de la « cathédrale » pourrait être

abandonnée au profit de la mise en place progressive d'une structure plus étagée, issue de mélanges d'essences, et ainsi plus dynamique et plus résiliente aux accidents. En effet, une structure étagée bien menée se caractérise par une régénération naturelle permanente qui assure la restauration de la forêt en cas de catastrophe, d'autant plus si les peuplements sont constitués de plusieurs essences, hêtre y compris²⁰. Elle ne se met toutefois pas en place instantanément, mais au gré des plantations et des régénérations naturelles qui se produisent ponctuellement et localement.

Dans les scénarios d'adaptation de la forêt européenne aux changements clima-

tiques, cette approche résolument différente est clairement mise en avant par la communauté scientifique et les gestionnaires forestiers^{10, 37, 38}. En effet, le mélange d'essences diminue généralement la sensibilité globale des peuplements aux risques biotiques et abiotiques^{26, 30}. Par ailleurs, si la compétition entre les espèces est bien gérée par le sylviculteur, les peuplements mélangés utilisent plus efficacement les ressources disponibles, notamment par le processus de facilitation qui permet, dans certains cas, d'augmenter l'apport d'une ressource limitante⁵². Dans ce contexte, l'introduction d'essences à fane plus facilement décomposable, comme l'érable, le tilleul ou dans une moindre mesure le chêne, est susceptible de promouvoir l'activité biologique des sols qui fait défaut en forêt de Soignes.

À ce sujet, il reste toujours aussi opportun de travailler superficiellement (5-8 cm) le sol à l'endroit des enrichissements en essences diverses pour tenter de restaurer des conditions de porosité favorables à l'humification, voire à la pédofaune fouis-seuse.

Une gestion adaptative et multi-acteurs

Du point de vue de l'écologie, parmi les quelques orientations de gestion contrastées qui ont été présentées plus haut, certaines sont plus raisonnables que d'autres, mais la décision n'appartient qu'aux Bruxellois. S'il était trop difficile de trouver un consensus sur la gestion de la forêt de Soignes, peut-être sera-t-il nécessaire d'organiser une concertation entre tous les acteurs. Cette démarche a déjà été appliquée avec un certain succès dans le cadre du plan de gestion intégré du massif de Saint-Hubert. Différentes catégories d'utilisateurs (propriétaires, chas-

seurs, naturalistes, promeneurs, sylviculteurs...) qui s'opposaient sur la vision de la forêt au point d'empêcher l'acceptation du plan de gestion, avaient été impliquées dans la définition de lignes directrices de la gestion forestière de leur massif. Chacun avait proposé des critères et indicateurs d'évaluation de la gestion selon sa conception des rôles de la forêt. Sur cette base, plusieurs scénarios avaient été proposés et avaient fait l'objet d'une analyse multicritères. Dans la foulée, des plans d'aménagement forestier avaient pu être élaborés³⁹.

La gestion de la hêtraie cathédrale implique une indispensable prise de décisions, dans un environnement marqué à la fois par le changement et l'incertitude. À l'évidence, la forêt de Soignes constitue un exemple emblématique des casse-tête qui s'offrent aux gestionnaires forestiers qui se doivent d'anticiper les conditions futures tout en accordant leurs forêts aux conditions actuelles. Pareille situation est pourtant amenée à se rencontrer de plus en plus souvent dans le futur. Dans ce contexte, la mise en œuvre d'une gestion adaptative, définie comme « *une approche de gestion des systèmes naturels qui s'appuie sur l'apprentissage – qu'il provienne du bon sens, de l'expérience, de l'expérimentation, du suivi – en adaptant les pratiques en fonction de ce qui a été appris* »⁵ revêt un intérêt tout particulier. Selon CORDONNIER et GOSSELIN¹¹, il ne s'agit pas seulement d'une gestion réactive à des événements extérieurs à celle-ci, mais d'une démarche impliquant en elle-même l'acquisition de connaissances et leur utilisation en vue d'adapter les actes de gestion. Elle s'appuie le plus souvent sur une série de scénarios élaborés selon une démarche collective. ■

BIBLIOGRAPHIE

- ¹ BADEAU V. (coord.) [2004]. *Modélisation et cartographie de l'aire climatique potentielle des grandes essences forestières françaises. Rapport final, Carbofor. Séquestration de carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France. Quantification, spatialisation, vulnérabilité et impacts de différents scénarios climatiques et sylvicoles. Volet D1. Programme GICC, INRA Bordeaux*, p. 101-111.
- ² BADEAU V., LEGAY M. [2012]. Hêtraies de France, changement climatique et adaptation : regards croisés de la recherche et de la gestion. *Soignes-Zoniën* n° spécial : 65-67.
- ³ BASTIN B. [1964]. Recherches sur les relations entre la végétation actuelle et le spectre pollinique récent de la forêt de Soignes (Belgique). *Agricoltura* 12(2) : 341-373.
- ⁴ BOCK J., VINKLER I., DUPLAT P., RENAUD J.-P. [2004]. Stabilité au vent des hêtraies : les enseignements de la tempête de 1999. *Forêt-entreprise* 156 : 34-38.
- ⁵ BORMANN B.T., MARTIN J.R., WAGNER F.H., WOOD G.W., ALEGRIA J., CUNNINGHAM P.G., BROOKES M.H., FRIESEMA P., BERG J., HENSHAW J.R. [1999]. Adaptive Management. In SEXTON W.T., MALK A.J., SZARO R.C., JOHNSON, N.C. (eds). *Ecological Stewardship: A Common Reference for Ecosystem Management. Volume 3*. Elsevier Science Ltd., Oxford, UK, p. 505-534.
- ⁶ BOUDRU M. [1946]. La tempête du 14 novembre 1940 en forêt de Soignes. *Bulletin Société centrale forestière de Belgique*, 56 p.
- ⁷ BRAEM S., JONARD M., VANWIJNSBERGHE S., DEFOURNY P., PONETTE Q. [2010]. Bilan de santé de la forêt de Soignes bruxelloise. *Forêt Wallonne* 105 : 15-25.
- ⁸ BRANQUART É., LIÉGEAIS S. [2005]. *Normes de gestion pour favoriser la biodiversité dans les bois soumis au régime forestier*. Ministère de la Région Wallonne, DGRNE, Jambes, 84 p.
- ⁹ CHERLET M. [1983]. *Opbouw van een karteringslegende in verband met de bodemgeschiktheid voor bosaanplantingen in het noordelijk deel van het Zoniënbos*. Thèse de post-graduat, non publiée, Université de Gand, 150 p.
- ¹⁰ Commission européenne [2010]. *Livre vert concernant la protection des forêts et l'information sur les forêts dans l'Union Européenne: préparer les forêts au changement climatique*. Bruxelles, 25 p.
- ¹¹ CORDONNIER T., GOSSELIN F. [2009]. La gestion forestière adaptative : intégrer l'acquisition de connaissances parmi les objectifs de gestion. *Revue Forestière Française* 61 : 131-144.
- ¹² CORVOL [1995] Une forêt politique : Soignes (1830-1930). *Arbres actuels* 16 : 38-43.
- ¹³ DAISE J., VANWIJNSBERGHE S., CLAESSENS H. [2011]. Analyse de l'adéquation actuelle et future des arbres à leurs stations en forêt de Soignes bruxelloise. *Forêt Wallonne* 110 : 3-21.
- ¹⁴ DE BRUYCKER P. [1983]. *Invloed van betreding en recreatie in het gebied van Zoniën*. Thèse d'Ingénieur, non-publiée, Université de Gand, 116 p.
- ¹⁵ DE KEERSMAKER L., BAETE H., VAN DE KERCKHOVE P., CHRISTIAENS B., ESPRIT M., VANDEKERCKHOVE K. [2003]. *Bosreservaat Kersseleerspleyn (Zoniënwoud). Bodemrapport. Bodemkundige beschrijving en bespreking van processen die de bodemkwaliteit bepalen*. Rapport IBW.Bb.R.2003.011, Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer, 36 p.
- ¹⁶ DELEVOY [1949]. *Note sur l'éclaircie des hêtraies en Forêt de Soignes*. Station de recherche de Groenendaël, Travaux série B, n° 4, 94 p.
- ¹⁷ DELVAUX J. [1964]. *À propos de l'éclaircie des hêtraies en forêt de Soignes*. Station de recherche des Eaux et Forêts, Travaux série B, n° 30, 70 p.
- ¹⁸ DE MEYER H., LANGOHR R. [1984]. *Het Zoniënbos, of de menselijke invloed op de natuur*. Wielewaal 50, p. 357-365.

- ¹⁹ DESENFANTS R. [1949]. *Forêt domaniale de Soignes. Etude écologique et aménagement de la série de Saint-Hubert*. Thèse non publiée, Gembloux, 124 p.
- ²⁰ DHÔTE J.-F., CORDONNIER T., DREYFUS P., LE GOFF N. [2005]. Quelques enjeux autour des forêts hétérogènes tempérées. *Rendez-vous techniques* **10** : 22-29.
- ²¹ DROUET T. [2005]. *Étude de l'origine du calcium dans les écosystèmes forestiers par les méthodes de géochimie et de dendrochimie isotopiques du strontium*. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 151 p.
- ²² EL BAYAD J. [1996]. *Dégradation hydromorphe des sols limoneux acides sous monoculture de hêtre en Forêt de Soignes, contribution à l'étude des conséquences édaphiques du compactage des sols par l'exploitation forestière mécanisée*. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 191 p.
- ²³ ELLENBERG H.H. [2009]. *Vegetation Ecology of Central Europe, 4th Edition*. Cambridge University Press, 756 p.
- ²⁴ Fondation Roi Baudouin [2001-2003]. *Rapports (1-6) du projet « Régénération naturelle de la Forêt de Soignes »*. Fonds Société Générale de Belgique pour la Forêt de Soignes.
- ²⁵ GALOUX A., REGINSTER P. [1953]. *L'inventaire des peuplements à graines de Belgique*. Station de recherche de Groenendael, Travaux série B, n° 15, 31 p.
- ²⁶ GRÉGOIRE J.-C. [2010]. Résistance et résilience des peuplements mélangés vis-à-vis des stress (a)biotiques. *Forêt Wallonne* **106** : 43-48.
- ²⁷ GUNSETT V. [1980]. *Contribution à l'étude phytogéochimique de la Forêt de Soignes. Relations entre la strate arborée, la strate au sol et les types d'humus*. Thèse de licence non-publée, Université Libre de Bruxelles, 115 p.
- ²⁸ HERBAUTS J., EL BAYAD J., GRUBER W. [1996]. Influence of logging traffic on the hydromorphic degradation of acid forest soils developed on loessic loam in middle Belgium. *Forest Ecology and Management* **87** : 193-207.
- ²⁹ IPCC [2007]. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. In : PARRY M.L., CANZIANI O.F., PALUTIKOF J.P., VAN DER LINDEN P.J., HANSON C.E. (Eds). *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 p.
- ³⁰ JACTEL H., BROCKERHOFF E., DUELLI P. [2005]. A test of the biodiversity-stability theory : meta-analysis of tree species diversity effects on insect pest infestations. In : SCHERER-LORENZEN M. et al. (Eds). *Forest diversity and function*. Springer, Ecological studies 176 : 235-262.
- ³¹ LANGOHR R. [2009]. La forêt de Soignes, site unique pour les sciences de la terre et l'archéologie. In : *La forêt de Soignes, Connaissances nouvelles pour un patrimoine d'avenir*. Mardaga, Wavre, 181-195.
- ³² LANGOHR R. [2010]. Quelques facteurs édaphiques dans l'écosystème Forêt de Soignes. *Forêt Wallonne* **105** : 3-14.
- ³³ LANGOHR R., CUYCKENS G. [1986]. Une forêt aux pieds de « limon » ; sol et relief en Forêt de Soignes: des témoins uniques ! *Réserves Naturelles* **3** : 51-58.
- ³⁴ LANGOHR R., SANDERS J. [1987]. Les sols dégradés en Forêt de Soignes un héritage autrichien ? In : DE MULDER K. (Eds). *La Forêt de Soignes, Art et Histoire des origines au XVIII^{ème} siècle*. Royale Belge, p. 99-103.
- ³⁵ LA SPINA S. [2011]. *Étude du déclin soudain du hêtre : effets de stress climatiques sur la sensibilité des arbres aux attaques de scolytes*. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 351 p. (disponible sur theses.ulb.ac.be/ETD-db/collection/available/ULBetd-01062012-120418/).
- ³⁶ LA SPINA S., GRÉGOIRE J.-C., DE CANNIÈRE C. [2012]. Épidémies de scolytes sur le hêtre : le rôle du climat étudié par voie expérimentale. *Forêt Wallonne* **117** : 3-12.

- ³⁷ LAURENT C., PERRIN D., BEMELMANS D., CARNOL M., CLAESSENS H., DE CANNIÈRE C., FRANÇOIS L., GÉRARD É., GRÉGOIRE J.-C., HERMAN M., MARBAIX P., PONETTE Q., QUÉVY B., SÉRUSIAUX É., VINCKE C. [2009]. *Le changement climatique et ses impacts sur les forêts wallonnes. Recommandations aux décideurs et aux propriétaires et gestionnaires*. Rapport de recherche externe, Ministère de l'Agriculture, de la ruralité, de l'environnement et du tourisme.
- ³⁸ LEGAY M., MORTIER F., MENGIN-LECREULX P., CORDONNIER T. [2008]. La gestion forestière face aux changements climatiques : tirons les premiers enseignements. *Rendez-vous techniques*, hors série 3, reproduit dans *Forêt Wallonne* **96** : 16-27.
- ³⁹ LEJEUNE P., CLAESSENS H., ALDERWEIRELD M., RONDEUX J. [2007]. Vers une gestion intégrée et participative de la forêt ? L'exemple de la commune de Nassogne. *Forêt Wallonne* **86** : 11-23.
- ⁴⁰ LIÉNARD [1971] in Delvaux [1983]. Forêt de Soignes. Propos d'un iconoclaste. *Les Naturalistes belges* **65** : 1-45.
- ⁴¹ MERTENS P., PEREZ A., ROBERT A., RIBOUX A., BAY É. [2011]. L'adaptation biologique et écologique des hêtraies européennes et wallonnes aux changements climatiques : état de la situation. *Forêt Wallonne* **111** : 33-56.
- ⁴² MISSON R. [1963]. Regard dans le passé de la Forêt de Soignes. *Bulletin de la Société Royale Forestière de Belgique* : 549-566.
- ⁴³ MUNAUT A.V. [1967]. Recherches paléo-écologiques en basse et moyenne Belgique. *Acta Geografica Lovaniensia* **6**, 191 p.
- ⁴⁴ NAGELEISEN L.-M. [1993]. Le point sur le dépérissement du hêtre. In : *La santé des forêts (France) en 1992*. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DERF-DSF), p. 23-26.
- ⁴⁵ NAGELEISEN L.-M., PIOUS D., SAINTONGE F.-X. [2010]. *La santé des forêts*. IDF, Paris, 608 p.
- ⁴⁶ NANSON A. (2012). Le hêtre : génétique et capacités d'adaptation. *Silva Belgica* **119** : 30-38.
- ⁴⁷ NEURAY G. [1982]. *Des paysages pour qui ? Pourquoi ? Comment ?* Les presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, 589 p.
- ⁴⁸ NOIRFALISE A. (1985). L'identité écologique de la forêt de Soignes. In : *Avec Charles Quint en Soignes d'après les tapisseries des chasses dites de Maximilien*. Conseil de Trois Fontaines, 1985, p. 42-46.
- ⁴⁹ PENNINGCKX V. [2001]. *Utilisation du hêtre (Fagus sylvatica L.) et du chêne pédonculé (Quercus robur L.) en tant que bioindicateurs de l'évolution de l'environnement forestier. Approche dendroécologique et dendrochimique*. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 285 p.
- ⁵⁰ PENNINGCKX V., MEERTS P., HERBAUTS J., GRUBER W. [1999]. Ring width and element concentrations in beech (*Fagus sylvatica* L.) from a periurban forest in central Belgium. *Forest Ecology and Management* **113** : 23-33.
- ⁵¹ PIERRON S. [1935-1936]. *Histoire illustrée de la forêt de Soignes*. Trois volumes. La Pensée Belge, Bruxelles, 420 + 592 + 562 p.
- ⁵² PONETTE Q. [2010]. Effets de la diversité des essences forestières sur la décomposition des litières et le cycle des éléments. *Forêt Wallonne* **106** : 33-42.
- ⁵³ PONETTE Q., BRAEM S., VANWIJNSBERGHE S., JONARD M. [À paraître]. Un inventaire permanent de l'état sanitaire en forêt de Soignes bruxelloise.
- ⁵⁴ ROCHE E. [1973]. Soignes, la plus belle hêtraie d'Europe ? *Les Naturalistes belges* **54** : 57-87.
- ⁵⁵ ROELANDT B. [2011]. *Een vegetatieanalyse van het Zoniënwoud*. Agentschap voor Natuur en Bos, Brussel, 133 p.
- ⁵⁶ SAUGIER B. [2010]. *Un ascenseur hydraulique : les racines profondes sur sol sec*. Académie d'Agriculture de France, séance du 2 juin 2010, 2 p.
- ⁵⁷ SEINGRY G.F. (coord.) [1983]. La plus belle hêtraie du monde – la Forêt de Soignes. In : *Les plus beaux sites de Belgique*. Reader's Digest, Bruxelles, p.195-196.

- ⁵⁸ TANGHE M. [1985]. Botanique. *In : Avec Charles Quint en Soignes d'après les tapisseries des chasses dites de Maximilien*. Conseil de Trois Fontaines, 1985, p. 24-41.
- ⁵⁹ TIMAL G., VANWIJNSBERGHE S. [2009]. La sylviculture de la forêt de Soignes. *In : La forêt de Soignes, Connaissances nouvelles pour un patrimoine d'avenir*. Mardaga, Wavre, 105-114.
- ⁶⁰ VAN GEFFEL J. [1983]. *Influence de la composition du peuplement ligneux sur celle de la strate herbacée et la qualité de l'humus forestier dans une plantation expérimentale en forêt de Soignes (Hoeilaart-Groenendael)*. Thèse de Licence, non-publiée, Université Libre de Bruxelles, 113 p.
- ⁶¹ VAN MIDDELEN Y. [1984]. *De bodemverrichtingsproblematiek in het Zoniënbos, meer bepaald in verband met de bosexploitatie*. Thèse d'Ingénieur, non-publiée, Université de Gand, 142 p.
- ⁶² VANMONTFORT B., MEIRSMAN E., LANGOHR R. [2011]. *Archeologische evaluatie van de neolithische site Bosvoorde-Vijvers*. Directie Monumenten en Landschappen, Brussels Hoofdstedelijk Gewest, 149 p.
- ⁶³ VANWIJNSBERGHE S. [2003]. *Plan de gestion de la Forêt de Soignes (partie de Bruxelles-Capitale)*. BE-IBGE, 163 p. + 18 annexes.
- ⁶⁴ VANWIJNSBERGHE S., HUVENNE P., PLUMIER J.-F. [2007]. Tempête du 18 janvier 2007. Bilan et conséquences sur la forêt. *Soignes-Zoniën 2* : 3 et 8-10.
- ⁶⁵ VERBOVEN W. [1982]. *Verband tussen bodemkenmerken en de kruidlaag onder beukenbestanden in het westelijk deel van het Zoniënbos*. Thèse de post-graduat, non-publiée, Université de Gand, 94 p.

HUGUES CLAESSENS

hugues.claessens@ulg.ac.be
Gembloux Agro-Bio-Tech, ULg
Passage des Déportés, 2
B-5030 Gembloux

ROGER LANGOHR

roger.langohr@skynet.be
Laboratoire des sols, UGent,
Association pour la diffusion
des sciences (ASDIS asbl)
Avenue des Tourterelles, 20 A
B-1150 Bruxelles

THOMAS DROUET

tdrouetd@ulb.ac.be
Écologie végétale et Biogéochimie, ULB
Campus de la Plaine CP244
Boulevard du Triomphe
B-1050 Bruxelles

SYLVIE LA SPINA

slaspina@gmail.com

MATHIEU JONARD

Mathieu.Jonard@uclouvain.be

CAROLINE VINCKE

caroline.vincke@uclouvain.be

QUENTIN PONETTE

quentin.ponette@uclouvain.be
Earth and Life Institute, UCL
Croix du Sud, 2 bte L7.05.09
B-1348 Louvain-la-Neuve

STÉPHANE VANWIJNSBERGHE

svanwijnsberghe@environnement.irisnet.be
Bruxelles Environnement - IBGE
Gulledelle, 100
B-1200 Bruxelles