

# 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](http://foretnature.be)

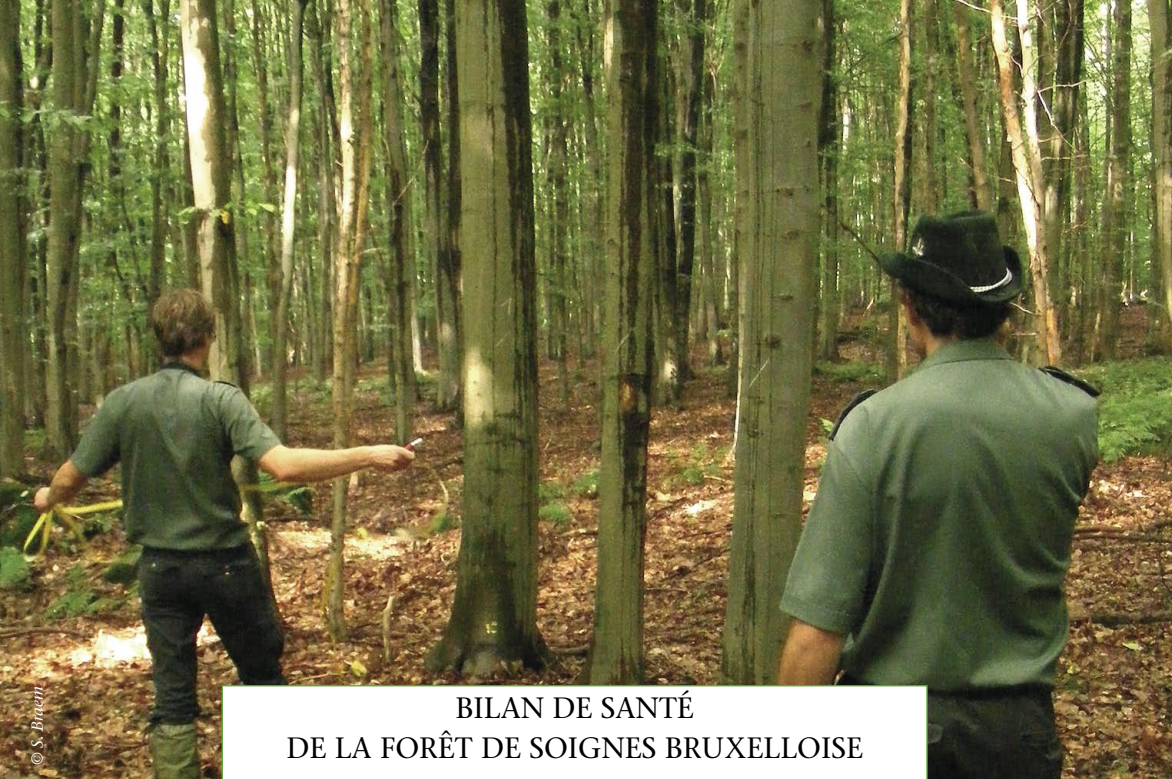
**Rédaction** : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. [info@foretnature.be](mailto:info@foretnature.be). T +32 (0)84 22 35 70

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**



## BILAN DE SANTÉ DE LA FORÊT DE SOIGNES BRUXELLOISE

STEVE BRAEM – MATHIEU JONARD – STÉPHANE VANWIJNSBERGHE  
PIERRE DEFOURNY – QUENTIN PONETTE

*La Région de Bruxelles-Capitale s'est dotée récemment d'un outil lui permettant de suivre l'état sanitaire des abres en forêt de Soignes (partie bruxelloise). Il est basé sur les recommandations internationales en la matière. Après une saison de mesures, l'article propose de faire le point sur l'état de santé de ce massif.*

## Contrairement

à la Wallonie et à la Flandre, qui disposent d'un système de suivi à long terme des écosystèmes forestiers depuis une dizaine d'années, la Région bruxelloise n'avait pas, jusqu'il y a peu, de système d'observation permanent de la vitalité de ses peuplements. Or, la forêt de Soignes présente une certaine vulnérabilité du fait de la proximité de Bruxelles (pollution atmosphérique, fréquentation importante), de conditions édaphiques particulières (fragipan) et de la nature des peuplements

forestiers eux-mêmes (hêtre dominant, âge d'exploitabilité élevé, capital sur pied important).

Dans le contexte de changements environnementaux (pollution et climat), il est apparu nécessaire de suivre l'évolution de la vitalité de la forêt de Soignes, dans le temps et dans l'espace. La mise en place d'un système de suivi sanitaire permet, d'une part, de connaître l'état de vitalité actuel des peuplements et, d'autre part, par la répétition des campagnes d'ob-

servation, de dégager des tendances d'évolution. De plus, en cas de dépérissement, il devient possible de donner rapidement l'alerte, de localiser les dégâts et de mettre en place une gestion pro-active.

## OBJECTIFS

Le suivi permanent de l'état sanitaire en forêt de Soignes est effectué en mettant en œuvre une double approche : l'observation visuelle à partir du sol et l'observation par télédétection (images aériennes et satellitaires).

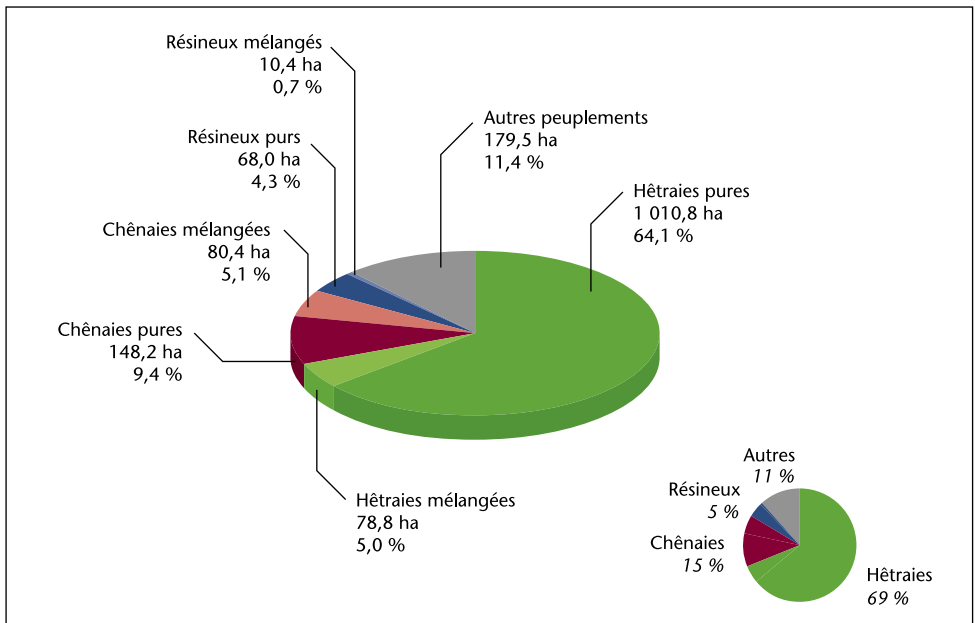
L'observation visuelle au sol donne une indication de l'état de santé des hêtres et des chênes indigènes de la forêt de Soignes bruxelloise selon une méthode visuelle

standardisée. Cette méthode sera ensuite répétée annuellement, de façon à dégager des tendances d'évolution.

L'approche par analyse d'images aériennes ou satellitaires présente l'avantage potentiel de fournir des informations sur la répartition spatiale et l'évolution temporelle des dommages sanitaires, d'assurer une grande homogénéité des mesures (pas d'effet observateur), d'étudier rétrospectivement l'évolution temporelle de l'état sanitaire et d'apporter des éléments d'information intéressants pour la compréhension des processus à l'origine du dépérissement.

Cet article présente la méthodologie mise en œuvre pour évaluer l'état sanitaire par observation des houppiers depuis le sol,

Figure 1 – Proportions des types de peuplements en forêt de Soignes bruxelloise<sup>8</sup>.



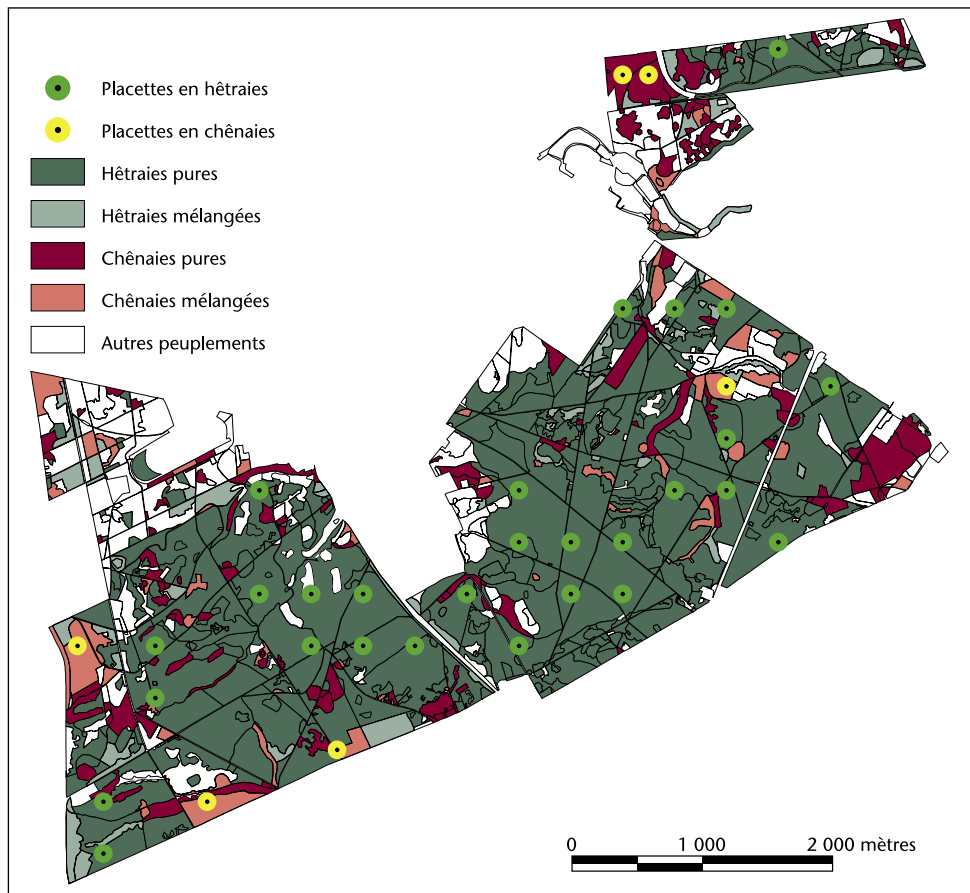


Figure 2 – Carte des types de peuplements en forêt de Soignes bruxelloise et placettes de l'échantillonnage<sup>8</sup>.

ainsi que les résultats issus de la première campagne d'observations conduite en été 2009.

---

### DESCRIPTION DE LA FORÊT DE SOIGNES BRUXELLOISE

---

La forêt de Soignes est située en Moyenne Belgique, sur le plateau brabançon limoneux. Le relief est vallonné, avec une altitude comprise entre 60 et 120 mètres.

Les sols de la forêt de Soignes se sont développés sur une roche-mère composée essentiellement de loess carbonaté du Quaternaire ainsi que de sables du Tertiaire, apparents sur les pentes les plus abruptes. Neuf dixièmes de la forêt de Soignes bruxelloise se trouvent sur un sol limoneux<sup>10</sup>.

La fertilité chimique du sol est très faible en surface (pH-eau de l'ordre de 3,5 à 4,5). Elle est plus importante au niveau du limon, situé entre 2 et 4 mètres sous la

surface (le pH-eau y atteint des valeurs de l'ordre de 5 à 7). Sur toute la surface de la forêt, à des profondeurs variables selon les endroits (de l'ordre de 40 cm), on retrouve un horizon induré appelé fragipan, constitué de veines claires plus meubles et formant un réseau de « polygones emboîtés », grands d'une dizaine de centimètres<sup>6</sup>. Cet horizon peut descendre jusqu'à 120 cm de profondeur. Les polygones résultent d'un dessèchement intensif du sol avec formation de fissures de rétrécissement, qui s'est produit il y a plus de 10 000 ans. Au-dessus du fragipan (de 0 à 40 cm de profondeur), on trouve une grande densité de racines vivantes. Au niveau du fragipan (de 40 à 120 cm de profondeur), les racines ne peuvent pénétrer que par les interstices. Les racines qui passent par ces veines claires sont très peu ramifiées (manque d'espace). Celles qui ont réussi à dépasser la couche indurée (au-delà de 120 cm) se ramifient à nouveau. C'est dans cette couche profonde que les hêtres viennent puiser l'eau et les éléments nutritifs nécessaires, ce qui explique la grande productivité (classe de productivité 1 supérieure) de la forêt de Soignes<sup>10-6</sup>. L'opinion généralement admise selon laquelle les hêtres de la forêt de Soignes n'ont qu'un enracinement de surface, est donc réfutable : les hêtres trouvent leurs nutriments dans les couches les plus basses du sol, grâce aux racines profondes<sup>6</sup>.

La hêtraie pure domine largement les différents faciès (deux tiers de la surface totale), suivie de loin par la chênaie pure (un dixième). Les chênaies mélangées et les hêtraies mélangées représentent chacune un vingtième de la surface totale. Ensemble, les hêtraies et chênaies au sens large (mélanges compris) forment donc 84 % de la forêt de Soignes bruxelloise. Parmi

les 16 % restant, 5 sont des résineux. Quant à la distribution des classes d'âges, on constate, en hêtraie, une représentation plus forte de la classe 120-180 ans et une représentation plus faible de la classe 60-120 ans<sup>2</sup> (figures 1 et 2). La majorité des chênes ont moins de 120 ans.

---

## MÉTHODES

---

Les observations sanitaires sont réalisées au sein de placettes. Afin d'optimiser la collecte d'information, ces placettes ont été sélectionnées parmi celles de « l'Inventaire Permanent » (inventaire dendrométrique) qui sont réparties selon une grille systématique dont la maille est de 200 mètres sur 200 mètres<sup>1</sup>. Pour l'observation de l'état sanitaire, seule une placette sur quatre a été retenue (maille de 400 mètres sur 400 mètres) si elle était située dans un peuplement de plus de 60 ans dominé par le hêtre ou le chêne. Les autres types de peuplements, très peu représentés en forêt de Soignes, n'ont pas été pris en compte. Les jeunes peuplements (moins de 60 ans) n'ont pas non plus fait l'objet d'observations : les houppiers des arbres qui les composent sont imbriqués les uns dans les autres, ce qui rend les observations quasiment impossibles. Au final, trente-quatre placettes ont été retenues.

Pour chacune des placettes, un rayon de prospection autour du centre a été fixé afin d'englober dix arbres observables (dominant ou codominant, circonférence supérieure à 80 cm), le rayon maximum étant de 18 mètres.

La prise des données a été effectuée par les adjoints forestiers de Bruxelles Environnement (IBGE) et s'est déroulée

du 13 juillet au 28 août 2009. Deux cent vingt-trois arbres ont été décrits (21 chênes et 202 hêtres). Cependant, l'observation de certains critères (défoliation, fructification) était parfois rendue difficile par le manque de visibilité. Pour ces critères, le nombre d'arbres analysés est moindre.

Le protocole d'observation s'inspire directement de celui mis au point dans le cadre du programme international concerté sur les forêts (*ICP Forests*)<sup>9</sup>. Ce programme a été lancé en 1985 dans le cadre de la convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière (LRTAP/UNECE) et a pour mission le suivi de l'état sanitaire des écosystèmes forestiers en Europe. Un comité d'experts révisé régulièrement la méthodologie à suivre.

Le principe de la méthode est de coter divers critères (défoliation, décoloration, abondance de la fructification, dommages et symptômes...) à observer à l'œil nu ou aux jumelles, en été. Des intercalibrations internationales régulières assurent la cohérence, dans le temps et dans l'espace, des données recueillies. L'arbre est décrit en trois étapes : description des conditions d'observation, évaluation proprement dite de l'état du houppier, et bilan des dommages et symptômes. Le protocole prévoit une série de critères d'évaluation pour chaque étape, sous forme de choix multiples. Chaque option porte un numéro (« code »). Les options de chaque critère sont reprises dans un aide-mémoire de terrain préparé à cet effet, et les codes sont inscrits sur une fiche de terrain spéciale.

Parmi les critères observés, la défoliation est le plus important. La défoliation est définie comme la perte foliaire par comparaison avec un arbre idéal de référence. Il s'agit



*Hêtres défoliés à 25 % (au-dessus)  
et 65 % (en dessous).*





*Exemple d'un houppier présentant une simplification importante. En périphérie, on distingue les « doigts de la Mort » : des rameaux sommitaux très courts et tordus du même côté.*

© S. Bruère

d'un indice révélateur des stress actuels et passés subis par l'arbre. La défoliation est évaluée par intervalles de 5 %. Un autre critère important est la structure du houppier, qui est l'architecture des organes aériens de l'arbre. La perte de vitalité se traduit par une simplification progressive de la ramification, il est donc utile de la décrire<sup>9</sup>.

L'ensemble des données recueillies au cours de la campagne ont été soumises à une première analyse (graphiques et statistiques de base). Ensuite, les relations entre la défoliation et certaines variables explicatives ont été testées.

---

## ÉVALUATION VISUELLE DES HOUPPIERS

---

### Première analyse

La défoliation de 145 hêtres et de 15 chênes a été estimée. La défoliation moyenne pour le hêtre est de 37 %. Elle est de 30 % pour les

chênes indigènes (figure 3). Suivant les niveaux de défoliation définis par le manuel *ICP Forests* (tableau 1 et figure 4), plus des deux tiers des hêtres observés présentent un « dépérissement net ». À titre indicatif, en 2009, les défoliations moyennes notées en Wallonie dans le réseau de surveillance intensive (en Ardenne) sont de 14 % pour le chêne (une placette) et 19 % pour le hêtre (quatre placettes)<sup>5</sup>. En Flandre, en 2008, les défoliations moyennes s'élevaient à 21 % pour le chêne (trente-deux placettes) et à 14 % pour le hêtre (onze placettes)<sup>7</sup>. Il faut toutefois bien garder à l'esprit que les conditions stationnelles sont très variables entre régions ; ces chiffres doivent donc être comparés avec grande prudence et sont plutôt donnés à titre indicatif.

### Relations entre la défoliation et certaines variables

Le stade de développement de l'arbre, estimé sur base de sa dimension en circonfé-

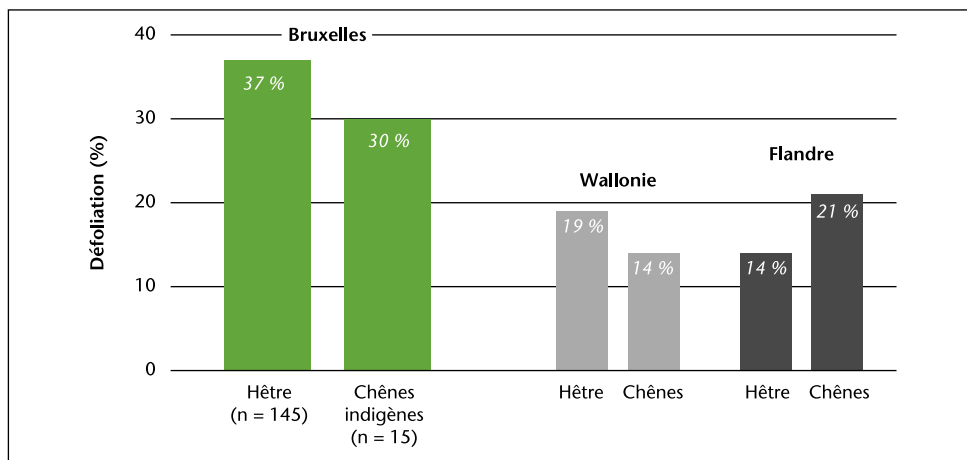
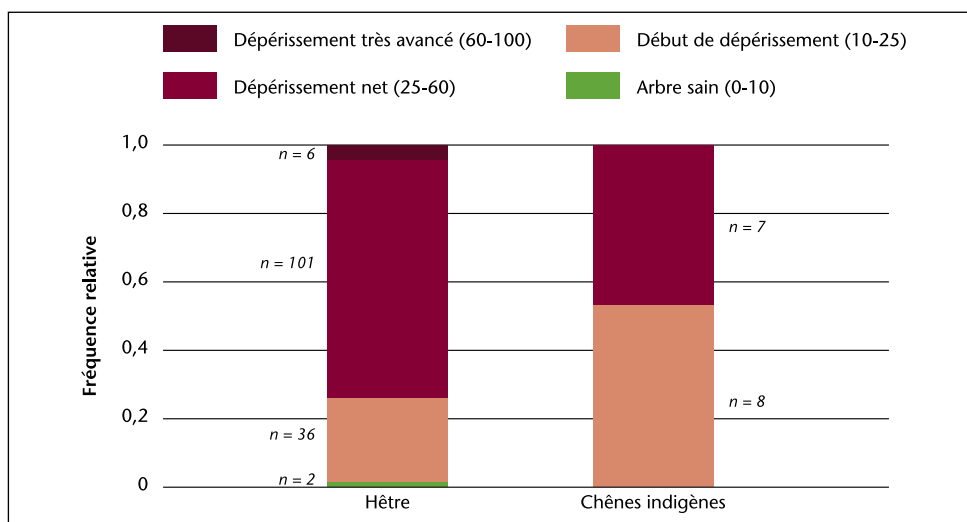


Figure 3 – Défoliations moyennes par essence, à l'été 2009, pour la partie bruxelloise de la forêt de Soignes. Les chiffres pour la Wallonie et la Flandre sont donnés à titre purement indicatif (conditions stationnelles très variables entre régions, échantillons de taille différente).

Tableau 1 – Classes de défoliation<sup>o</sup>.

Pourcentage de défoliation	Degré de défoliation	Degré de dépérissement
0-9 %	Aucune	Arbre sain
10-25 %	Légère	Début de dépérissement
26-59 %	Modérée	Dépérissement net
60-99 %	Sévère	Dépérissement très avancé
100 %	Arbre mort	Arbre mort sur pied

Figure 4 – Distribution des arbres échantonnés selon les classes de défoliation (cf. tableau 1) pour la partie bruxelloise de la forêt de Soignes.





rence a un effet significatif sur la défoliation du hêtre (figure 5A). Chez le hêtre, la défoliation est d'autant plus élevée que la circonférence est importante. Il y a donc sans doute un effet positif de l'âge sur la défoliation qui n'a toutefois pas pu être mis en évidence, étant donné les incertitudes quant à l'estimation de l'âge des arbres. Pour les chênes, aucun effet net n'est observé.

Un des critères prévus par le protocole *ICP Forests* est la concurrence, ou voisinage (*crown shading*). La concurrence est définie comme l'espace disponible pour le houppier et se mesure en cinq niveaux (de « croissance libre » à « houppier touché sur quatre côtés »). C'est le reflet de la densité du peuplement, du point de vue de l'arbre. Aucune relation entre la concurrence et la défoliation n'a été observée pour les chênes. Pour le hêtre, en revanche, la défoliation semble d'autant plus grande que les houppiers disposent d'un espace de croissance important, quoique l'effet reste léger (figure 5B). Si l'espace disponible autour des houppiers reflète la concurrence subie par l'arbre, cette observation pourrait indiquer que les arbres moins concurrencés sont davantage soumis aux facteurs du milieu ; alternatively, une augmentation de l'espace disponible autour des houppiers pourrait traduire un stade de développement des peuplements ou des arbres plus avancé.

Les hêtres ne présentent globalement qu'une décoloration légère ou inexistante, alors qu'un peu moins d'un tiers des chênes sont visiblement décolorés. Toutefois, aucun effet de la décoloration sur la défoliation n'a été décelé pour les chênes. Pour le hêtre, la décoloration sévère s'accompagne d'une défoliation importante, quoique l'effetif (deux arbres) invite à la précaution.

Plus des deux tiers des hêtres et des chênes analysés présentaient une simplification plus ou moins importante de leur couronne. Chez le hêtre, la relation entre défoliation et structure du houppier est très nette (figure 5C). Il paraît effectivement assez évident que la simplification progressive de la ramification s'accompagne d'une augmentation de la défoliation.

Alors que deux tiers des hêtres ont une production de faînes abondante, aucune fructification importante n'est observée sur les chênes. Aucun effet manifeste de la fructification sur la défoliation n'a été mis en évidence pour les chênes. Pour le hêtre, au contraire, la défoliation augmente avec le volume de fructification (figure 5D). Le processus d'allocation des ressources (répartition des réserves de carbone et d'énergie dans les organes de l'arbre) peut en partie expliquer cette observation.

Les symptômes et dommages diffèrent sensiblement d'une essence à l'autre. Les feuilles décolorées constituent le symptôme le plus couramment rencontré sur les chênes, tandis que ce sont les rameaux et branches morts qui sont principalement observés sur le hêtre. Les premières manifestations liées à la descente de cime (*dieback*, etc.) sont notées, essentiellement sur les hêtres. Quant au tronc, les blessures (plaies diverses, etc.) sont les dégâts les plus fréquents, devant les nécroses ou les déformations.

---

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

---

Le bilan de santé de la forêt de Soignes bruxelloise montre qu'une proportion élevée de hêtres, supérieure à deux tiers, présente des symptômes traduisant un dé-

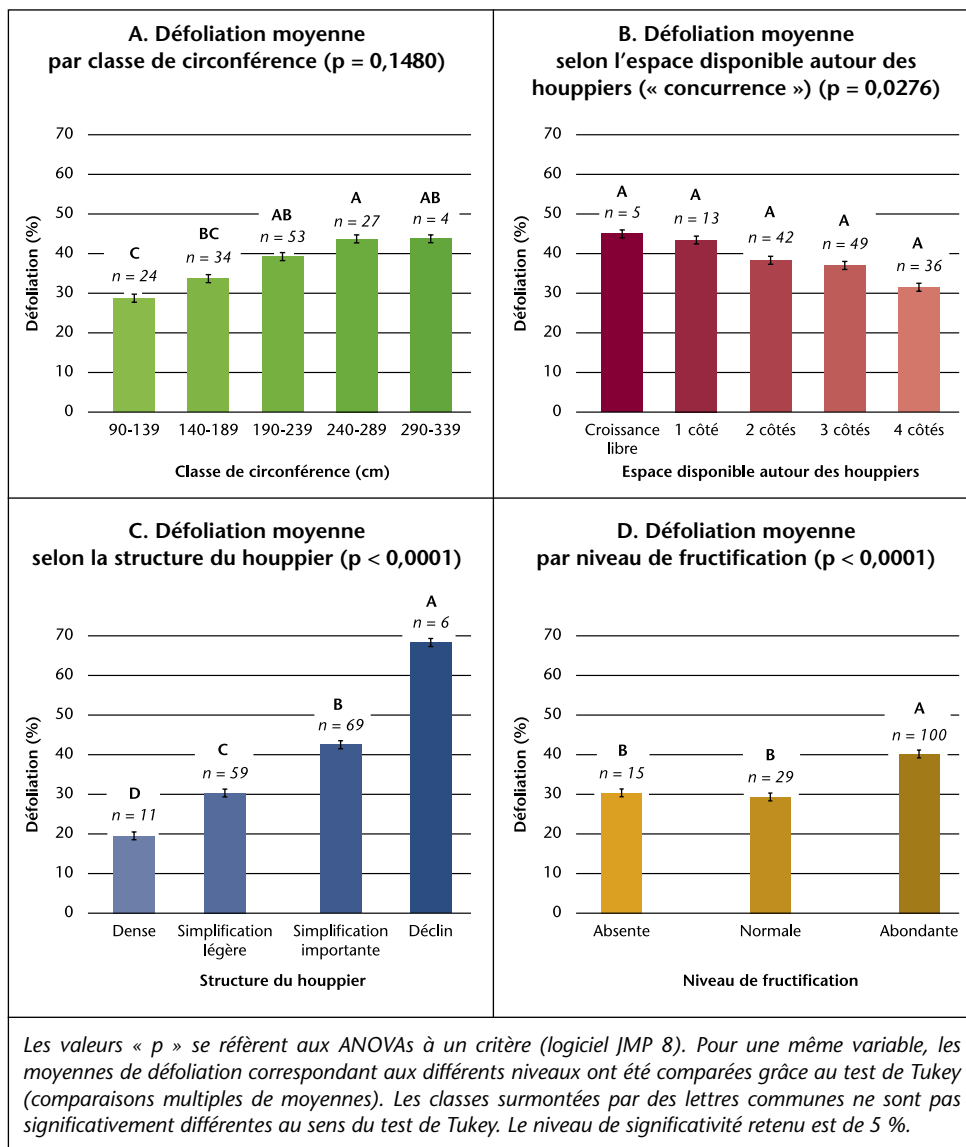


Figure 5 – Relations entre le pourcentage de défoliation et le niveau de certains facteurs pour le hêtre en forêt de Soignes bruxelloise. Le nombre d'arbres étudiés peut varier, compte tenu des difficultés d'observation selon les facteurs.

périssément net. Avec un niveau moyen de 37 %, la défoliation importante de la hêtraie invite à analyser de façon plus approfondie la contribution des différents facteurs de dépérissement potentiels

– qu'ils relèvent des sols (hydromorphie, podzolisation, dégradation physique, etc.), de la pollution atmosphérique (dépôts azotés, etc.), des changements globaux (augmentation des températures

générales, modification du régime des précipitations et de la fréquence des sécheresses, etc.), des traitements sylvicoles ou de l'exploitation forestière (compactage des sols, etc.) – et à prendre les mesures de gestion qui s'imposent. Dans ce contexte, l'augmentation de la défoliation moyenne avec la dimension des arbres suggère, par exemple, de réduire l'âge d'exploitabilité des peuplements. Une autre piste consiste à diversifier la hêtraie, tout en réduisant la densité des peuplements.

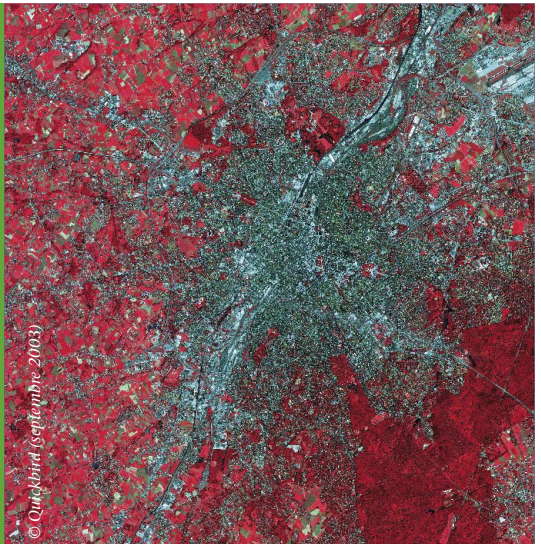
En ce qui concerne les chênes, les résultats obtenus sont limités par l'effectif réduit d'arbres échantillonnés (vingt et un individus). Pour améliorer le diagnostic, il conviendrait d'augmenter les effectifs observés, en veillant à distinguer les deux espèces indigènes compte-tenu de leurs caractéristiques écologiques contrastées.

Comme indiqué précédemment, le deuxième volet de cette étude consistera en une évaluation de l'état sanitaire par té-

lédétection. Une première banque d'images est constituée à ce jour. Elle comporte des images aériennes (images infrarouges, orthophotoplans) et des images satellitaires (Ikonos [2003], Quickbird [2003], GeoEye 1 [2009]). Les images de résolution spatiale suffisamment fine seront photo-interprétées à l'aide de clefs d'interprétation (clef d'évaluation de l'état sanitaire de HILDEBRANDT<sup>4</sup>). Pour l'année 2009, les observations faites à partir du sol seront comparées à celles obtenues par photo-interprétation des mêmes arbres. Parallèlement, les opérations de base de l'analyse d'images (classifications, calculs d'indices, etc.) seront effectuées. Le cas échéant, des méthodes plus élaborées seront testées.

Les deux approches, au sol et par télédétection, sont complémentaires. À côté des inventaires de terrain, les images aériennes et satellitaires permettent la récolte instantanée d'informations sur de grandes étendues en s'affranchissant de « l'effet observateur ». Dans le cadre du

*Image multispectrale Quickbird (septembre 2003) de la Région Bruxelloise. La forêt de Soignes se trouve en bas à droite.*



suiwi de l'état sanitaire, la télédétection peut servir à cerner la répartition spatiale des dommages et leur évolution temporelle notamment par une analyse rétrospective via des archives. La comparaison des clichés pris à des dates différentes peut aussi aider à déceler des zones où les arbres subissent un stress non encore visible à l'œil nu grâce aux observations dans le proche infrarouge, et affiner ainsi le réseau de surveillance et d'alerte pour le gestionnaire. ■

---

## BIBLIOGRAPHIE

---

- <sup>1</sup> ALDERWEIRELD M. [2007]. *Étude sur la mise en place d'inventaires du patrimoine forestier de la Région Bruxelles-Capitale : guide méthodologique*. Convention FUSAGx-IBGE 2007, 108 p.
- <sup>2</sup> BALLEUX P., TIMAL G. [2005]. *Étude des critères dendrométriques qui doivent permettre d'assurer le suivi des peuplements de hêtres orientés vers l'objectif de « maintien de la Hêtraie Cathédrale »*. Quatre rapports de convention CDAF-IBGE 2003-2005.
- <sup>3</sup> FABIÁNEK J. (ed.) [2004]. *Forest Condition Monitoring in the Czech Republic, 1984-2003*. Ministère de l'Agriculture de la République Tchèque, Institut de la Foresterie et de la Chasse, Prague, 431 p.
- <sup>4</sup> HILDEBRANDT G. (ed.) [1992]. *Applications de la télédétection à l'observation de l'état sanitaire des forêts*. Commission des Communautés Européennes, Direction Générale de l'Agriculture, 109 p.
- <sup>5</sup> JONARD M., HARDY F., PONETTE Q. [2009]. *Suivi des placettes régionales du réseau d'observation intensive et continue des écosystèmes forestiers*. Rapport intermédiaire, Convention UCL-DNE, 24 p.
- <sup>6</sup> LANGHOR R. [2001]. *L'anthropisation du paysage pédologique agricole de la Belgique depuis le Néolithique ancien*. Apports

de l'archéopédologie. *Étude et Gestion des Sols* 8(2) : 103-118.

- <sup>7</sup> SIOEN G., ROSKAMS P., COENEN S. [2009]. *Bosvitaliteitsinventaris 2008. Resultaten van de kroonbeoordelingen in het bosvitaliteitsmeetnet*. Rapport de l'Institut voor Natuur- en Bosonderzoek 2009, INBO, Bruxelles, 70 p.
- <sup>8</sup> TIMAL G. [2006]. *Mise à jour de la carte des peuplements*. Document annexe de la convention CDAF-IBGE 2003-2005, 5 p.
- <sup>9</sup> UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) [2006]. *Manuel on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, part II : visual assessment of crown condition (ICP forests)*. 69 p.
- <sup>10</sup> VANWIJNSBERGHE S. [2003]. *Plan de gestion de la Forêt de Soignes, partie de Bruxelles-Capitale*. IBGE, Bruxelles, 162 p.

*Ce projet a été financé par Bruxelles Environnement (IBGE) et a bénéficié de l'aide des adjoints forestiers de Bruxelles Environnement (IBGE), que nous remercions.*

STEVE BRAEM

steve.braem@uclouvain.be

MATHIEU JONARD

PIERRE DEFOURNY

QUENTIN PONETTE

Earth and Life Institute (ELI),  
Université catholique de Louvain

Place Croix du Sud, 2 bte 9  
B-1348 Louvain-la-Neuve

STÉPHANE VANWIJNSBERGHE

Bruxelles Environnement (IBGE)

Gulledelle, 100  
B-1200 Bruxelles