

# édito

**Le** 2 février dernier, l'Assemblée générale de l'ONU déclarait 2011 « Année internationale des forêts ». Concrètement, cette année est l'occasion de mettre les forêts à l'honneur, principalement à travers l'organisation de nombreux événements. Plusieurs manifestations sont déjà prévues à travers le monde, aux niveaux régionaux, nationaux et locaux, y compris dans notre pays. Le calendrier devrait se remplir au fil des mois. N'hésitez donc pas à faire régulièrement un petit tour sur notre site internet ([www.foretwallonne.be](http://www.foretwallonne.be)) pour vous tenir au courant des événements les plus marquants de l'année, s'adressant au passionné de gestion forestière que vous êtes.

Année internationale de la forêt ou non, ce numéro de votre revue aborde déjà quelques-uns des enjeux majeurs qui touchent à la gestion des forêts dans notre région et pour les décennies à venir.

Pour commencer, l'évolution de l'adéquation essences-stations en forêt de Soignes, en fonction des prévisions de changement climatique, laisse à penser que les forestiers ont du pain sur la planche s'ils veulent maintenir une forêt en bonne santé sur ces sols si particuliers.

Ensuite, une étude de l'impact des cervidés sur la végétation forestière donne un point de vue objectif et neutre sur la question, permettant ainsi, pour une fois, de

mettre de côté la passion du débat opposant certains chasseurs et les gestionnaires forestiers.

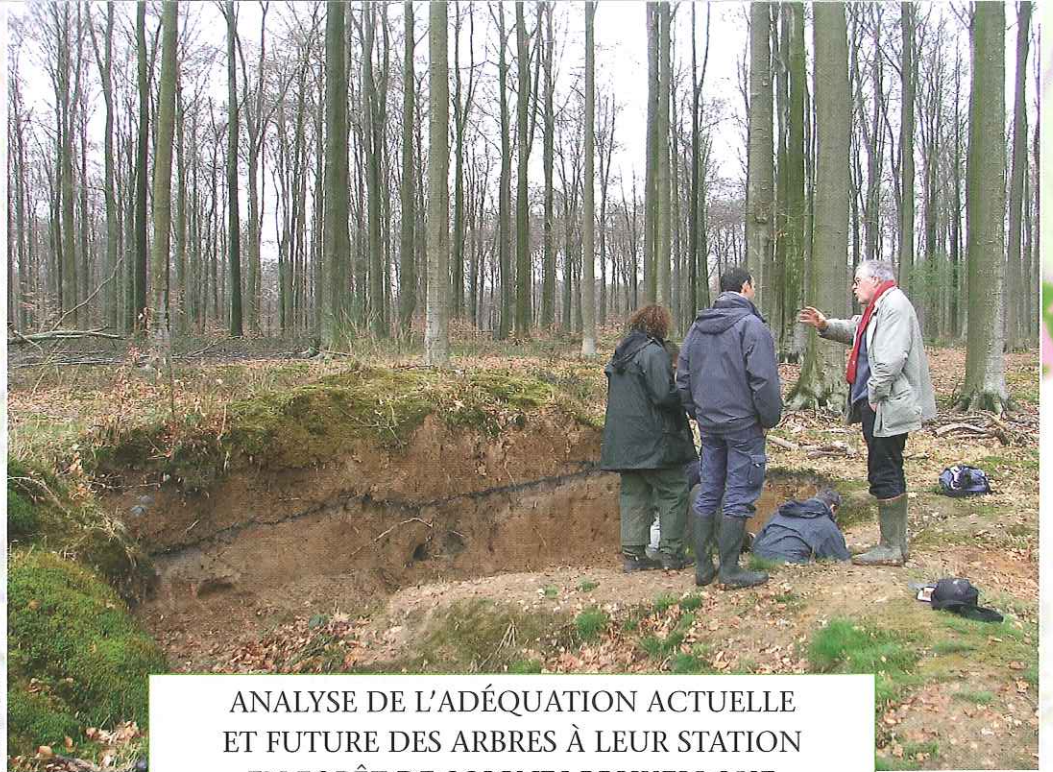
Pour continuer, la sylviculture d'arbres-objectif est à l'honneur, avec des données concrètes permettant de mieux cerner la particularité de cette technique, appliquée à l'essence intéressante et très souvent négligée qu'est le bouleau verruqueux.

Enfin, une nouvelle plateforme surgit dans le paysage forestier institutionnel wallon : l'Observatoire wallon de la santé des forêts. Qu'est-ce ? Qui cela regroupe-t-il ? Quelles sont ses missions ? Voilà quelques questions que vous vous posez sûrement et auxquelles vous trouverez des réponses en fin de numéro.

Bonne lecture !

Delphine Arnal

© X. Légrain



## ANALYSE DE L'ADÉQUATION ACTUELLE ET FUTURE DES ARBRES À LEUR STATION EN FORÊT DE SOIGNES BRUXELLOISE

JULIEN DAISE – STÉPHANE VANWIJNSBERGHE – HUGUES CLAESSENS

Qui ne connaît pas la forêt de Soignes de réputation ou pour l'avoir traversée ou s'y être promené ? Cette cathédrale d'arbres, véritable patrimoine dont les Bruxellois ne sont pas peu fiers, est pourtant en pleine crise. En cause, son grand âge, sa sylviculture, son sol et... les changements climatiques en cours. Cet article tente d'évaluer l'impact des changements climatiques sur l'adéquation des essences forestières à leur milieu, avec une attention particulière au hêtre et aux chênes, qui constituent ensemble 90 % de la forêt de Soignes.

**Les** forestiers ont été parmi les premiers à se préoccuper des changements climatiques en cours et à en mesurer les effets. En effet, alors que pour la plupart d'entre nous, l'année 2100 ne représente qu'un futur éloigné et impalpable, le sylviculteur est forcé d'y projeter sa forêt en raison de la longévité des arbres, dont la mesure de référence est plutôt le siècle. Ce contexte des changements

climatiques est donc une nouvelle donnée à intégrer dans la gestion forestière. Et elle est d'autant plus essentielle lorsqu'il s'agit de régénérer des forêts mûres ou vieillissantes. À la fin de ce siècle, les chênes ou les hêtres qui viennent de sortir de graine cette année ne seront encore que de jeunes adultes soumis aux aléas d'un climat bien différent et agressif que celui de leurs parents. En effet, leur durée

de vie, proposée en 2003 dans le plan de gestion de la forêt de Soignes, est respectivement de deux et trois siècles pour les hêtres et les chênes<sup>17</sup>.

Ainsi, en raison de l'engagement à long terme que constituent les décisions de la gestion forestière, et face aux incertitudes sur le comportement des forêts dans le climat futur, les recommandations vont toutes dans le même sens<sup>6, 11, 12</sup> : placer les arbres dans les meilleures conditions de croissance actuelles qui soient (recherche d'adéquation essence-station, donner aux arbres un grand espace vital...) et ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier, c'est-à-dire, diversifier la composition spécifique de la forêt.

C'est empreint de cet état d'esprit, avec la volonté de transmettre une forêt en bonne santé, capable de résister aux changements annoncés, que les forestiers de la forêt de Soignes cherchent la meilleure manière de régénérer leur hêtraie vieillissante. Mais la tâche n'est pas simple car les plus vieux peuplements sont en train de littéralement s'écrouler sous le poids de l'âge et les coups de boutoir du climat de ces deux dernières décennies. Leur régénération est particulièrement délicate car elle concerne de grandes étendues de majestueuses « hêtraies cathédrales » (les deux tiers de la forêt de Soignes bruxelloise) qui ont fait l'objet d'une résolution du Parlement de la Région de Bruxelles-Capitale, demandant de les inscrire au patrimoine mondial de l'UNESCO en raison de leur valeur patrimoniale et paysagère inestimable<sup>15</sup>. Une proposition de résolution en ce sens a également été déposée au Parlement Flamand. Elle ne porte quand à elle que sur le classement de la Forêt de Soignes (et non sur la Hêtraie cathédrale)<sup>18</sup>.

Cet article vient en renfort des diverses informations nécessaires pour mener à bien la gestion forestière. Il se focalise sur l'évaluation de l'adéquation des essences à leur milieu, et en particulier du hêtre et des chênes. Il part de l'adéquation actuelle, que de nombreux outils existants permettent d'estimer valablement, pour tenter de la projeter à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, dans un contexte climatique assez différent de celui, doux et humide, dont bénéficient actuellement les arbres de la forêt de Soignes.

**MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE**

La méthodologie générale mise en œuvre pour évaluer l'impact des changements climatiques sur les essences de la forêt de Soignes repose sur le concept de catalogue de stations<sup>4, 5, 7</sup>. Celui-ci postule l'identification de situations écologiques types : les types de station. Ceux-ci sont des entités homogènes des points de vue climat, topographie et sol, caractérisées par une combinaison particulière de variables écologiques. Le catalogue de stations est un ouvrage de synthèse qui décrit l'ensemble de ces types de station pour une région écologique donnée. Son principal atout réside dans son échelle de perception qui est celle du forestier de terrain. En effet, les types de station décrivent des situations concrètement à partir de leur connaissance du terrain, de telle sorte qu'ils puissent aisément s'approprier l'outil catalogue et en faire une référence de travail.

En quelque sorte, la synthèse phytosociologique de NOIRFALISE<sup>14</sup> est une forme de catalogue de stations, mais ses critères de description des stations, basés largement sur la flore, sont plus difficile-

ment accessibles que ceux des catalogues plus vulgarisés des forestiers français.

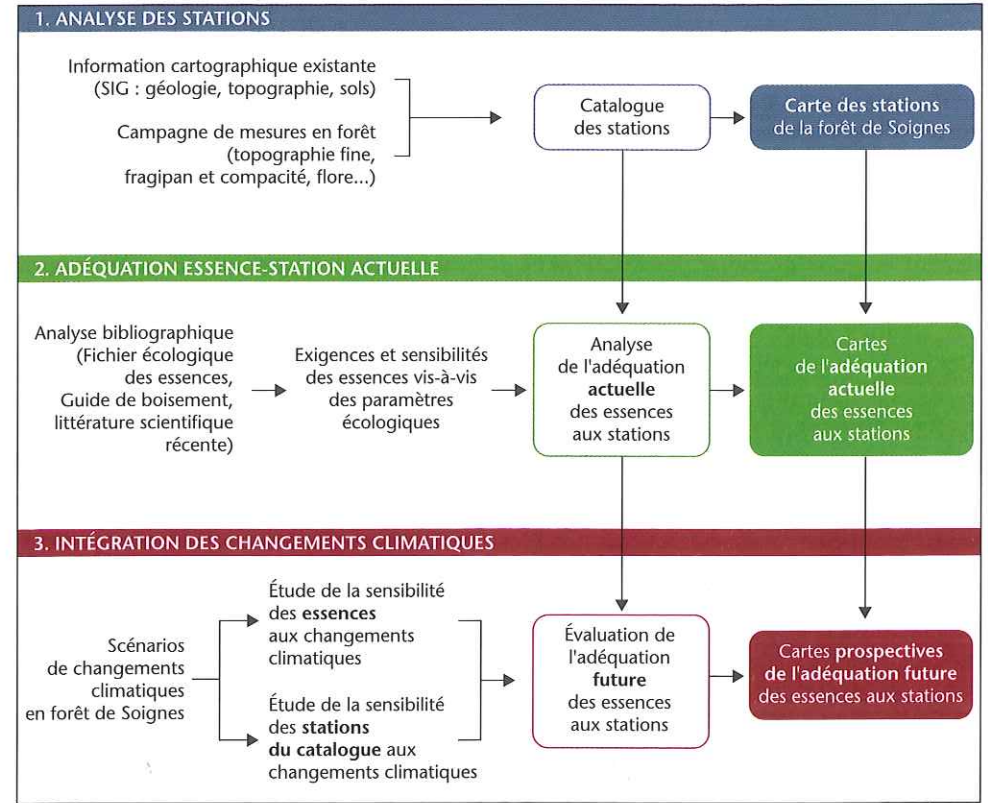
L'outil catalogue, relativement confidentiel en Belgique, est par contre largement utilisé en France pour établir les plans de gestion et référencer les techniques de sylviculture. C'est cet outil que nous avons développé pour interpréter et cartographier les conditions écologiques de la forêt de Soignes (étapes en bleu sur la figure 1).

Par ailleurs, la littérature scientifique et les outils existants (Guide de boisement<sup>20</sup>, Fichier écologique des essences<sup>19</sup>, Flore fores-

tière française<sup>16</sup>...) permettent d'établir les exigences et sensibilités des essences vis-à-vis de différents paramètres écologiques. Ces derniers étant définis pour chaque type de station, il est possible d'établir l'adéquation actuelle des essences aux stations (étape en vert dans la figure 1) et de produire des cartes d'adéquation, encore nommées cartes d'aptitude ou de potentialités.

Pour établir l'adéquation future des essences aux stations (étape en rouge dans la figure 1), il faut d'abord identifier, à partir de la littérature existante, l'impact des changements globaux sur le climat de la

Figure 1 – Méthodologie générale de l'étude.



forêt de Soignes et les sensibilités intrinsèques des stations à ces changements. Ensuite, les sensibilités des essences à l'évolution des paramètres climatiques et locaux peuvent être déduites de la littérature et des outils d'interprétation existants.

Cette double analyse permet d'établir un glissement de l'adéquation des essences aux stations, d'une manière empirique, par interprétation. Il s'agit donc essentiellement d'une démarche d'expertise, qui est grandement facilitée par l'outil « catalogue de stations ».

Lors de l'utilisation des résultats de ce type d'analyse dans la gestion forestière, il faut donc garder en tête leur valeur de tendance, issue d'une démarche empirique. Ainsi, si les tendances évolutives de l'adéquation des essences aux stations à l'échelle de la vie des arbres (le siècle) sont certaines, l'intensité de l'impact des changements climatiques sur cette adéquation est plus relative. Néanmoins, dans l'état actuel des connaissances, il n'existe pas de modèles suffisamment précis du comportement écophysologique des essences et de l'évolution des paramètres écologiques des stations pour procéder de manière plus exacte à une échelle locale. L'échelle régionale a toutefois bien montré que l'évolution du climat aura une grande incidence sur l'aptitude des essences et en particulier du hêtre dans la zone des plaines atlantiques<sup>1</sup>.

**ANALYSE DU MILIEU  
ET ÉLABORATION  
D'UN CATALOGUE DES STATIONS**

La richesse de l'information sur la forêt de Soignes permet d'emblée d'identifier gros-

sièrement le contexte écologique à partir de quelques cartes. Ainsi, les figures 2 à 4 présentent les contextes topographique, géologique et pédologique de la partie bruxelloise du massif sonien. En croisant ces différentes informations, il est déjà possible de se faire une idée du découpage de la forêt de Soignes en entités écologiques homogènes caractérisées par des combinaisons spécifiques de ces paramètres (pré-catalogue théorique fait d'unités géomorphopédologiques).

Une deuxième étape de terrain permet alors de récolter des informations plus précises ou indisponibles et d'évaluer la qualité du pré-catalogue. Dans le contexte très particulier de la forêt de Soignes, l'analyse de terrain a été focalisée sur :

- des relevés phytosociologiques qui nous ont renseignés sur les niveaux trophiques et hydriques via le caractère indicateur de la flore ;
- la présence d'une compaction superficielle des sols ou d'un fragipan plus en profondeur, phénomènes fréquents mais non clairement cartographiés, auxquels les essences forestières sont sensibles (en particulier le hêtre<sup>10</sup>).

Ces informations ont été relevées sur un échantillonnage de cent cinquante-huit stations établi de manière à assurer la représentativité des différents types de sol (au nombre de trente-cinq), de géologie (quatre) et de topographie (quatre), en utilisant notamment le réseau de placettes de l'inventaire de la forêt de Soignes<sup>13</sup>.

Dans une troisième étape, l'analyse conjointe du pré-catalogue et des caractéristiques écologiques relevées sur le terrain a permis de définir, pour la forêt de Soignes bruxelloise, dix-huit types de station

distincts, possédant leurs caractéristiques propres. Ce nombre, sans doute un peu trop élevé pour une gestion courante, a été retenu pour l'analyse fine de l'adéquation essence-station. Une clef de détermination des types de station est présentée à la figure 5. Grâce à leurs critères de définition disponibles au sein d'un système d'information cartographique (cartes géologique, topographique et pédologique), il a été possible d'établir une carte des types de station de la forêt de Soignes à l'échelle 1/20 000<sup>ème</sup> (figure 6).

**ADÉQUATION ACTUELLE  
DES ESSENCES AUX STATIONS**

Pour définir l'adéquation actuelle des essences aux types de station, nous avons suivi la méthode du Guide de boisement des stations forestières de Wallonie<sup>20</sup>. En effet les paramètres écologiques qui sont à la base de la construction du catalogue

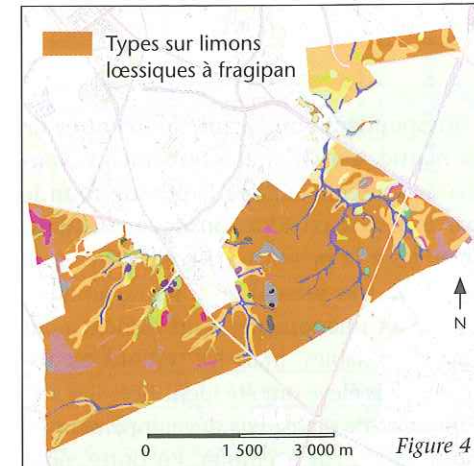
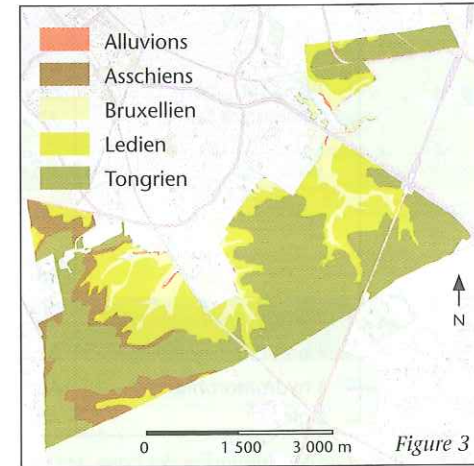
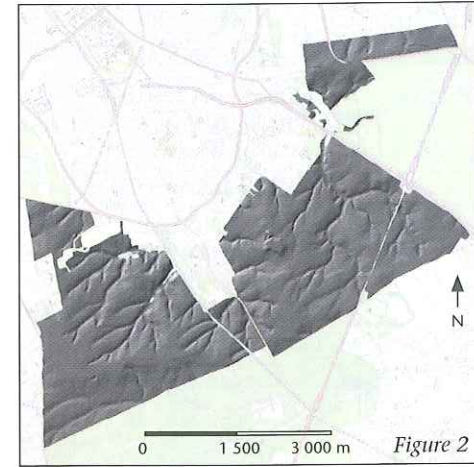


Figure 2 – Relief de la forêt de Soignes bruxelloise (source : BE-IBGE).

Figure 3 – Roche-mère géologique de la forêt de Soignes bruxelloise (présente sous le limon éolien). Les teintes jaunes représentent les assises à dominance sableuse (source : carte géologique de la Belgique ; numérisation : BE-IBGE).

Figure 4 – Carte des sols de la forêt de Soignes bruxelloise montrant clairement le type de sol largement dominant (type Abc de la carte des sols) que l'on peut interpréter, en simplifiant, comme un sol limoneux à fragipan (source : carte des sols de la Belgique ; numérisation : BE-IBGE).

Description	Critères déterminants				Numéro	
	Sol*					
Podzols et sols podzoliques sableux à drainage excessif	GAX, ZAF, Zag, SAF				1	
Sols filtrants pauvres	Sbf, Zbx				18	
	sLba, sLbc, sAbc, sAba, gLbc, gLbx, gAbc				15	
Sols frais	wAbc, xLba, wLbx, uAbc				16	
	uADc, uLDC, ADc, LDC, gADc				14	
	wAAx, sAAx				17	
Pentes et plateaux	Sol*	Géologie	Forme de relief	Exposition		
	Types sur limons loessiques à fragipan	Abc, Aba(b)	Substrat sableux	Plateau		6
				Pente	Chaude	7
					Froide	8
			Concavité	9		
			Substrat argileux	Plateau		10
				Pente	Chaude	11
	Froide	12				
	Concavité	13				
	Fonds de vallon	Sol*				
		Limon sans fragipan				5
		à bon drainage				3
		à hydromorphie				2
à gley				4		

Figure 5 – Clef de détermination des types de station de la forêt de Soignes bruxelloise (\* codifications des types de sol selon la carte des sols de la Belgique).

correspondent aux paramètres d'entrée de la matrice du Guide de boisement. Nous avons toutefois adapté l'aptitude fournie par le Guide en fonction des indications relatives à la présence de compacité et de fragipan, très présent en forêt de Soignes. Ces deux phénomènes sont difficilement cartographiables, mais les stations au risque le plus élevé ont été identifiées (les sols limoneux de plateaux à développement de profil « c », par exemple). En outre, pour

certaines essences, nous avons aussi tenu compte des études récentes en autécologie au travers d'une revue de la littérature scientifique (plus de quatre cents articles).

L'analyse a donc pu déboucher sur une cartographie de l'adéquation des stations, définie de la manière la plus fine possible en six catégories :

1. Optimum : situation optimale pour l'essence, où tout porte à espérer une

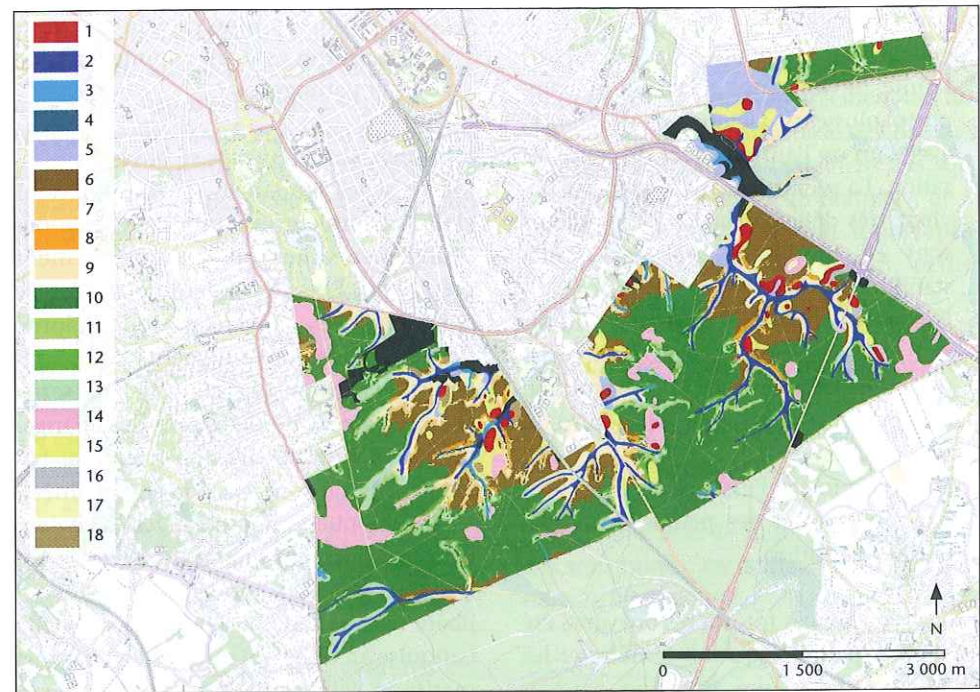


Figure 6 – Carte des stations de la forêt de Soignes bruxelloise.

Tableau 1 – Surface des différents types de station de la forêt de Soignes.

Type de station	Surface (ha)	Proportion (%)
1	29,8	1,8
2	7,9	0,5
3	11,5	0,7
4	1,5	0,1
5	56,7	3,4
6	207,5	12,6
7	34,1	2,1
8	19,5	1,2
9	100,4	6,1
10	749,4	45,5
11	36,3	2,2
12	22,6	1,4
13	73,3	4,5
14	92,3	5,6
15	47,1	2,9
16	6,9	0,4
17	4,8	0,3
18	7,6	0,5
Total*	1 646	

\* Surface totale différente de la somme des surfaces : sols non cartographiés (remblais...).

bonne stabilité et une productivité élevée ;  
 2. En station : l'essence est en bonne adéquation avec la station et s'y développe sans contrainte majeure ;  
 3. Tolérance : la station comporte un facteur limitant que l'essence peut tolérer (le fragipan pour le hêtre, par exemple). Il est important de considérer cette faiblesse dans la gestion des peuplements (dans le même exemple, cela se traduira

Sols à fragipan : 75,5%

par la limitation du facteur d'élanement et de l'âge d'exploitation des arbres) ;

4. Limite de tolérance : la station comporte plusieurs facteurs de tolérance, avec l'un ou l'autre facteur de compensation. La sylviculture de l'essence y devient très délicate car les peuplements sont en conditions précaires (santé, stabilité...);
5. Exclusion : plusieurs facteurs limitants sont tolérés, sans aucune compensation. Quelle que soit la sylviculture, l'essence n'est plus apte à produire du bois de qualité ;
6. Exclusion forte : l'essence n'est plus capable de former des peuplements viables sur la station.

Vingt-six essences forestières ont ainsi été analysées, parmi lesquelles le hêtre et les chênes ont reçu une attention particulière. Des exemples de cartes d'adéquation essence-station sont présentés plus loin.

### IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'ADÉQUATION ESSENCE-STATION

Cette étape est beaucoup plus difficile à mener car de nombreuses questions se posent encore, face auxquelles il faudra faire des hypothèses simplificatrices :

- Quels seront précisément les changements climatiques à venir ?
- Quelle sera la sensibilité des stations vis-à-vis de ces changements ?
- Comment se comporteront les essences forestières dans ce nouveau contexte ? Quelles sont leurs limites de tolérance et dans quelle mesure des prédispositions génétiques pourraient permettre à des individus d'émerger dans ce nouveau contexte ?

- Quels seront les nouvelles interactions avec les autres espèces, comme les ravageurs et pathogènes ?

#### Sur quels changements se baser ?

Même si les tendances d'évolution sont claires, l'ampleur exacte et la vitesse des changements ne sont pas précisément prévisibles. Elles dépendent de la prise de conscience des citoyens et de la volonté d'agir de leurs gouvernements pour limiter les émissions de gaz à effet de serre. D'autre part, la modélisation des changements climatiques n'est pas simple. Les évolutions ne sont pas forcément linéaires car des phénomènes peuvent s'enclencher brusquement quand des paliers sont franchis, comme la fonte des sols gelés qui libère du méthane ou la disparition de la banquise arctique qui modifie les courants marins et l'albédo de la terre. Toutefois, à l'échelle de la vie des arbres, qui est forcément celle qui nous occupe, les scénarios du GIEC ont tout leur sens. Nous prendrons pour hypothèse le scénario A1B<sup>9</sup>, le plus souvent pris en exemple, qui n'est ni alarmiste, ni optimiste, et qui a été décliné à l'échelle de la Belgique<sup>11</sup>. Selon ce scénario, pour la région de la forêt de Soignes, à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle :

- le réchauffement serait de l'ordre de 3 °C pour la température annuelle moyenne et de l'ordre de 4 °C pour la période chaude de juin à août ;
- le régime des précipitations serait modifié, avec une augmentation des pluies l'hiver (environ + 20 %) et une diminution assez nette en été (environ - 25 % de juin à août).

Cette combinaison de modifications est particulièrement défavorable à la végétation dans le sens où une augmentation de température en période de végétation se

traduit par une augmentation de la consommation en eau par les arbres, alors que les apports en eau diminuent. De plus, il est prévu que les épisodes de pluie soient plus rares, donc avec des pluies plus intenses qui sont moins efficaces pour la végétation que de petites pluies régulières.

Dans ces conditions, le climat de la forêt de Soignes se rapprocherait de celui du sud de la Loire (Nantes), une zone bioclimatique dominée par les chênes où le hêtre est exceptionnel<sup>1</sup>.

Par ailleurs, avec moins de certitude, une série de scénarios prévoient aussi une augmentation de la fréquence des tempêtes susceptibles de déstabiliser les peuplements.

#### Quel sera l'impact des changements sur la qualité des stations pour la sylviculture ?

Toutes les stations ne sont pas égales face au réchauffement. Certaines, ombragées et bien alimentées en eau, devraient être moins sensibles, au moins à court terme, que d'autres, fortement drainées et déjà exposées sur des versants chauds. En suivant le raisonnement de GAUDIN<sup>8</sup>, nous avons attribué un facteur de risque variable selon les stations, considérant que les stations de haute fertilité actuelle risquent plus de perdre de leur valeur sylvicole que celles qui sont déjà marginales pour la plupart des essences. Dans cette démarche, une attention particulière a été apportée au régime hydrique des sols.

Ensuite, nous avons tenu compte de facteurs propres à la station qui peuvent les sensibiliser au climat futur, à savoir :

- l'exposition par rapport à la source de lumière qui modulerait l'impact des canicules ;

- la mauvaise percolation de l'eau dans le sol (compacité, fragipan), qui augmenterait les problèmes d'engorgement des horizons superficiels à la sortie de l'hiver ;
- la sensibilité au dessèchement des sols, appréhendée à partir du drainage, de la texture, et de la position topographique (position dans le transect, pente, exposition).

Nous avons ensuite établi la sensibilité de chaque type de station par rapport à ces facteurs, en adoptant un système empirique de comptabilisation. Bien qu'approximative, cette procédure nous permet d'objectiver la nature et les niveaux des sensibilités. La démarche est détaillée dans la figure 7.

Utilisation du pénétromètre afin de quantifier la compaction du fragipan, ainsi que sa profondeur d'apparition.



## Quels sont les sensibilités des essences aux changements climatiques ?

Chaque essence possède ses limites en termes de température minimale, maximale, de sensibilité aux gelées tardives et hâtives, etc. Les unes sont plus consommatrices d'eau (frêne, aulne) ou régulent plus efficacement leur transpiration (chêne) ; au niveau des enracinements, certaines supportent moins que d'autres les excès d'eau

(hêtre, merisier) ou d'autres ont accès à des réserves en eau profondes grâce à un enracinement très développé (chêne). Toutes ces caractéristiques doivent être compilées pour identifier les sensibilités des essences aux modifications de leurs stations, qu'il s'agisse du climat proprement dit ou de son impact sur la disponibilité hydrique des sols ou sur les capacités d'enracinement. La sensibilité des essences est donc

un phénomène complexe, dépendant de leur biologie, que nous avons tenté d'approcher par les trois paramètres suivants :

- l'effet de la température en tant que telle, sans considérer son impact sur la xéricité des stations ;
- la tolérance aux épisodes secs et chauds de l'été ;
- la sensibilité à l'engorgement temporaire des horizons superficiels du sol au début du printemps.

Pour chacun de ces paramètres, les essences ont reçu un coefficient de sensibilité variant de + 2 à - 3 (tableau 2).

### Estimation de l'adéquation future

L'adéquation des couples essence-station à l'horizon 2100 est évaluée à partir de l'aptitude actuelle, laquelle est corrigée en fonction des facteurs de risque de la station (R) et des sensibilités des essences (S) s'y rapportant. L'algorithme utilisé est purement empirique ; il assiste l'opérateur pour objectiver ses évaluations, en confrontant tous les critères de la station et de l'essence.

Le facteur sensibilité de l'essence (S) est multiplié par le risque lié à la station (R), ce qui donne la valeur (S\*R) pour chaque

Figure 7 – Procédure empirique de détermination des niveaux de risque (R) des types de stations aux changements climatiques. Le risque augmente avec la valeur du chiffre.

Description	Risque sylvicole	Critères déterminants	Numéro	Risque spécifique				
				Température	Sécheresse	Engorgement		
Pentes et plateaux	1	Podzols et sols podzoliques sableux à drainage excessif	1		1			
		2	Sols filtrants pauvres	18				
	sableux		15		2			
	3	Sols frais						
		à substrat argileux	16					
		à hydromorphie	14		3			
		Complexes limoneux	17					
	4	Substrat sableux	Plateau	6	4	5	5	
			Pente	Chaude	7	5	6	4
				Froide	8	3	4	4
		Concavité	9	3	4	5		
		Substrat argileux	Plateau	10	4	6	6	
			Pente	Chaude	11	5	7	5
Froide				12	3	5	5	
Concavité	13		3	5	6			
Limons sans fragipan	3		5	3				
Fonds de vallon	2	à bon drainage	3					
		à hydromorphie	2		2			
	à gley	1	4		1			

Tableau 2 – Facteurs de sensibilité (S) des différentes essences aux paramètres température (T°), épisodes secs (ES) et engorgement (P°).  
Échelle de sensibilité : de peu sensible (0) à extrêmement sensible (3) ; le signe indique le caractère favorable (-) ou défavorable (+) de l'impact.

Essences	Facteur de sensibilité (S)		
	T°	ES	P°
Bouleau verruqueux <i>Betula pendula</i>	0	+1	+1
Charme <i>Carpinus betulus</i>	0	0	+1
Châtaignier <i>Castanea sativa</i>	-1	0	+2
Chêne pédonculé <i>Quercus robur</i>	0	1	0
Chêne sessile <i>Quercus petraea</i>	0	0	0
Chêne rouge <i>Quercus rubra</i>	-1	0	+2
Érable sycomore <i>Acer pseudoplatanus</i>	+1	+1	+1
Frêne <i>Fraxinus excelsior</i>	+1	+1	+1
Hêtre <i>Fagus sylvatica</i>	+2	+2	+2
Merisier <i>Prunus avium</i>	0	+1	+1
Noyer commun <i>Juglans regia</i>	-1	+1	+2
Noyer hybride <i>Juglans intermedia</i>	-1	+1	+2
Noyer noir <i>Juglans nigra</i>	-1	+1	+1
Robinier <i>Robinia pseudoacacia</i>	-1	0	+2
Tilleul à grandes feuilles <i>Tilia platyphyllos</i>	0	0	0
Tilleul à petites feuilles <i>Tilia cordata</i>	0	0	0
Cèdre de l'Atlas <i>Cedrus atlantica</i>	-3	0	+2
Cèdre de l'Himalaya <i>Cedrus deodora</i>	-3	0	+2
Cèdre du Liban <i>Cedrus libani</i>	-3	0	+2
Mélèze d'Europe <i>Larix decidua</i>	0	0	+2
Mélèze du Japon <i>Larix kaempferi</i>	0	+2	+1
Mélèze hybride <i>Larix x eurolepis</i>	0	+1	+1
Pin de Koekelare <i>Pinus nigra koekelare</i>	0	0	+2
Pin laricio de Corse <i>Pinus nigra laricio</i>	0	0	+2
Pin noir d'Autriche <i>Pinus nigra nigra</i>	0	0	+2
Pin sylvestre <i>Pinus sylvestris</i>	0	0	0

paramètre : augmentation de la température, épisodes secs et engorgement estival (figure 8). Ensuite, pour passer de l'aptitude actuelle à l'aptitude 2100, les facteurs de risque climatique ont été additionnés avec une pondération qui reflète l'importance relative du paramètre pour la croissance et le développement des arbres dans le contexte de changement écologique de la forêt de Soignes : 3 pour l'augmentation des épisodes secs, 2 pour l'augmentation de température, et 0,5 pour l'augmentation des précipitations hivernales (figure 8).

La gamme de valeurs obtenue pour l'ensemble des couples (essence-station) s'étale de -25 à +68. Les valeurs négatives correspondent à une amélioration de l'aptitude sylvicole et les valeurs positives à une régression de cette dernière. Pour évaluer l'aptitude en 2100, ces valeurs ont été transformées en un coefficient correcteur de l'aptitude (figure 8).

La dernière étape pour déduire l'aptitude sylvicole en 2100 consiste donc à appliquer le coefficient correcteur à l'aptitude sylvicole actuelle (figure 8).

### QUELQUES EXEMPLES MARQUANTS DE RÉSULTATS

L'attribution d'une aptitude actuelle et future pour chaque station permet d'établir des « cartes de potentialités » que l'on peut comparer (encart pages suivantes). Compte tenu des approximations qui ont conduit à la détermination d'une aptitude dans le climat futur (tant au niveau des scénarios de changement climatique qu'à celui de la méthodologie empirique et itérative d'évaluation des aptitudes), ces cartes doivent être considérées comme un support à la réflexion, à utiliser en paires, indiquant le sens de l'évolution des potentialités des essences de la forêt de Soignes par rapport à la situation ac-

tuelle, assortie d'une estimation de son ampleur.

Excepté pour les essences robustes (pins, bouleau verruqueux), l'aptitude des essences n'est pas excellente en forêt de Soignes ; principalement en raison de la présence du fragipan qui limite l'enracinement et les remontées capillaires et contribue à l'acidité de surface<sup>10</sup>. Dans le cadre du réchauffement climatique, cette situation n'est pas favorable puisqu'elle risque d'accentuer les sécheresses de surface et les engorgements de sol au printemps. Les essences qui seront les plus touchées sont celles qui de surcroît sont affectées par la chaleur : en particulier le hêtre, l'érable sycomore et le mélèze

du Japon, à caractère sub-montagnard. Une série d'essences semblent par contre peu sensibles : les chênes sessile et rouge d'Amérique, le robinier, le tilleul à petites feuilles, le bouleau verruqueux et les pins. Des essences plus thermophiles, rares ou inexistantes en forêt de Soignes ont aussi été envisagées : les cèdres et le châtaigner, qui pourraient posséder un potentiel de développement à plus long terme, mais encore une fois, le fragipan ne leur serait pas favorable.

Toutefois, pour se faire une idée de l'ampleur de l'impact des changements climatiques à l'échelle de la forêt, il importe de considérer conjointement les modifications d'aptitude et les surfaces respecti-

Figure 8 - Schéma du calcul intermédiaire effectué pour passer de l'aptitude sylvicole actuelle à l'aptitude sylvicole en 2100 (cas du hêtre sur le type de station Abc ou Aba(c) sur plateau à géologie sableuse).

Essences	Aptitude actuelle	Augmentation T°		Épisodes secs		P° hivernales		Risque total		Aptitude 2100			
		S	R	S x R	S	R	S x R	S	R		S x R		
Feuillus <i>Fagus sylvatica</i>		2	4	8	2	5	10	2	5	10	51	+3	6

Classe de risque	Coefficient correcteur de l'aptitude
De -25 à -10	-1
De -11 à +10	0
De +11 à +30	+1
De +31 à +50	+2
+51 et +	+3

$(S \times R) \times 2 + (S \times R) \times 3 + (S \times R) \times 0,5 = \text{Risque total a}$   
 $8 \times 2 + 10 \times 3 + 10 \times 0,5 = 51$

*Définition du coefficient correcteur de l'aptitude en fonction de la classe de risque.*

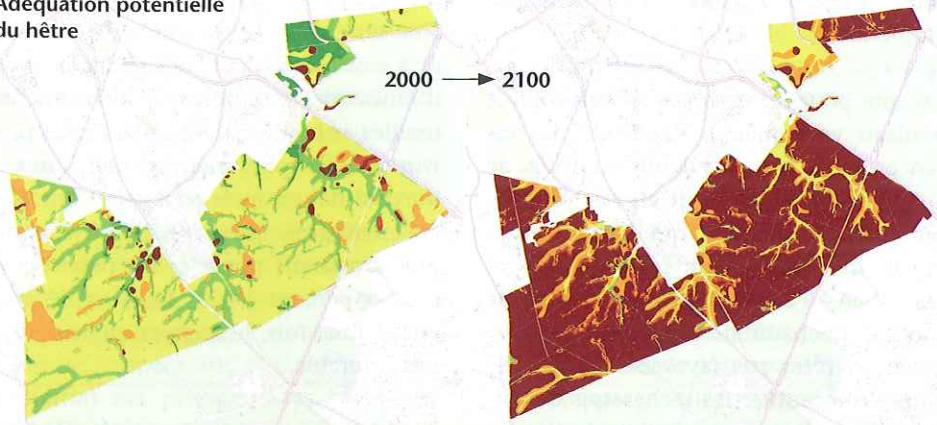
### ADÉQUATION DES ESSENCES AUX STATIONS FORESTIÈRES DE LA FORÊT DE SOIGNES BRUXELLOISE DANS LE CONTEXTE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES : SITUATIONS 2000 ET 2100

#### Légende détaillée de l'adéquation

- Optimum** Situation écologique optimale pour l'essence, où tout porte à espérer de surcroît une bonne stabilité et une productivité élevée.
- En station** L'essence est en bonne adéquation avec la station et s'y développe sans contrainte majeure.
- Tolérance** La station comporte un facteur limitant que l'essence peut tolérer (par exemple : fragipan pour le hêtre ou le chêne sessile). Il est important de considérer cette faiblesse dans la gestion des peuplements (dans le même exemple, cela se traduira pour le hêtre en des mesures visant à optimiser la stabilité des arbres en limitant leur élancement et leur âge à l'exploitation).
- Limite de tolérance** La station comporte plusieurs facteurs de tolérance, avec l'un ou l'autre facteur de compensation. La sylviculture y devient très délicate car les peuplements sont en conditions instables.
- Exclusion** Plusieurs facteurs limitants sont tolérés, sans aucune compensation, prédisposant les peuplements aux phénomènes de dépérissement. Quelle que soit la sylviculture, l'essence n'est pas apte à produire du bois de qualité.
- Exclusion forte** L'essence n'est pas capable de former des peuplements viables sur la station.

Adéquation potentielle  
du hêtre

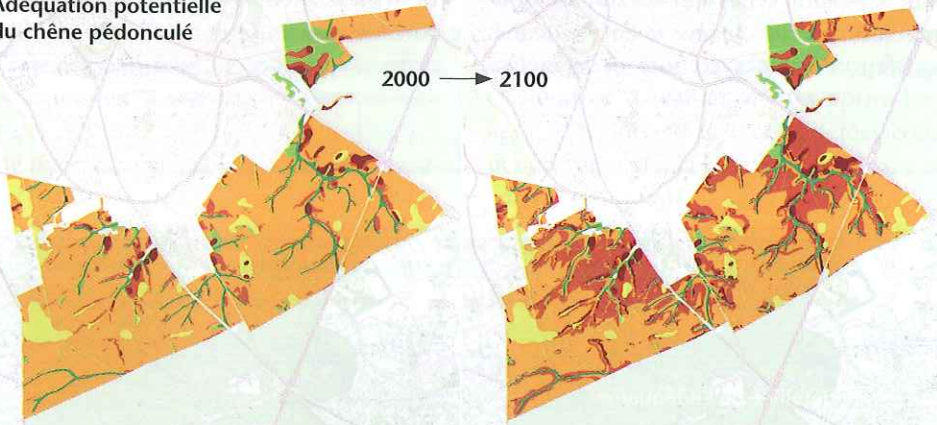
2000 → 2100



Optimum En station Tolérance Limite de tolérance Exclusion Exclusion forte

Adéquation potentielle  
du chêne pédonculé

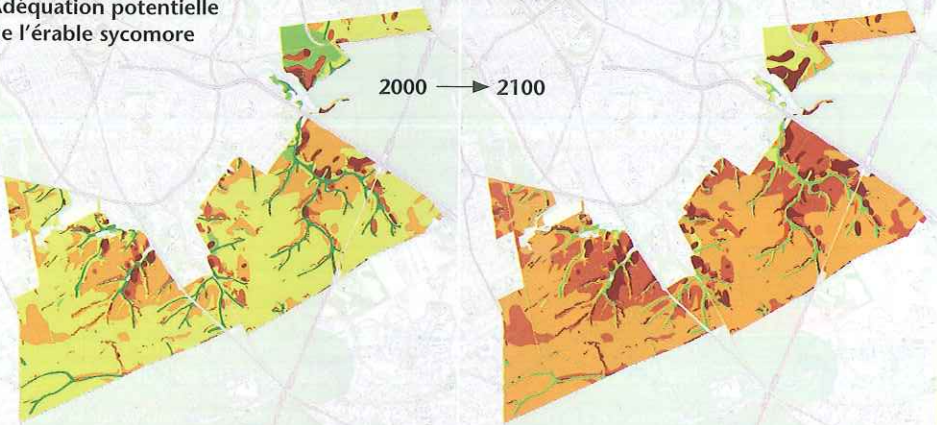
2000 → 2100



Optimum En station Tolérance Limite de tolérance Exclusion Exclusion forte

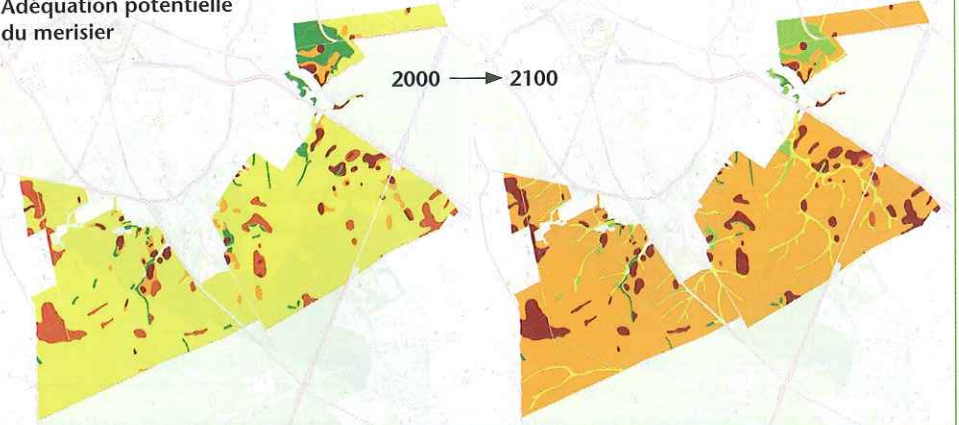
Adéquation potentielle  
de l'érable sycomore

2000 → 2100



Adéquation potentielle  
du merisier

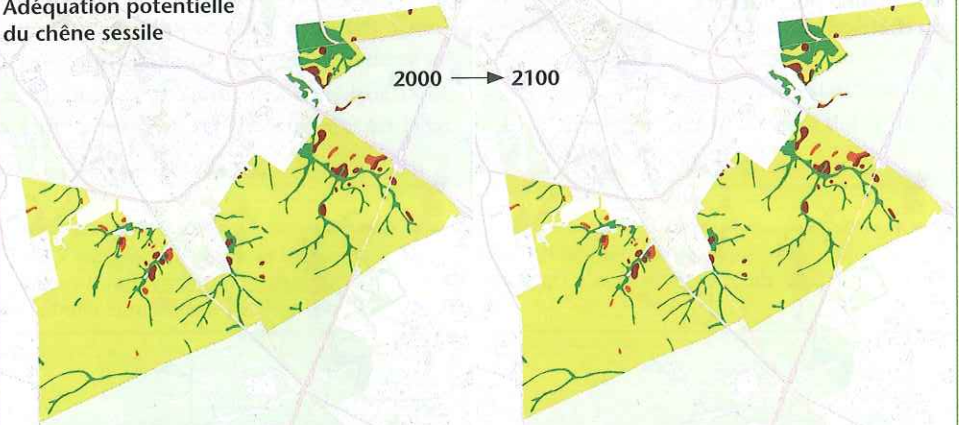
2000 → 2100



Optimum En station Tolérance Limite de tolérance Exclusion Exclusion forte

Adéquation potentielle  
du chêne sessile

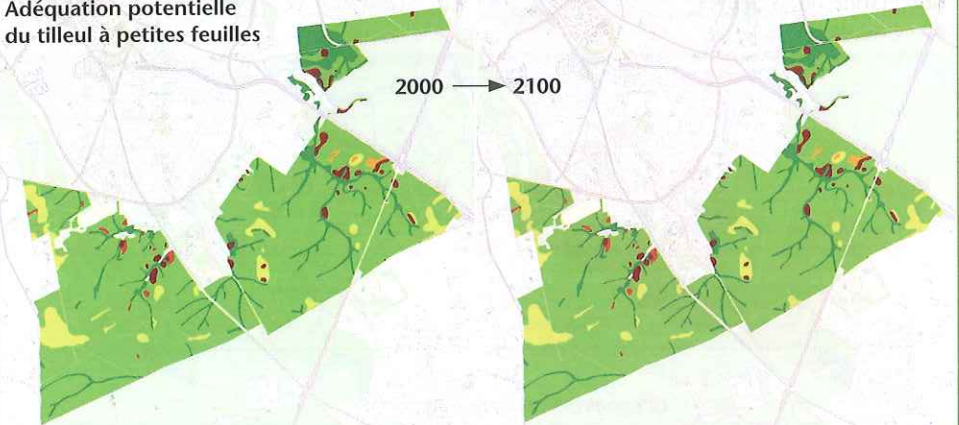
2000 → 2100



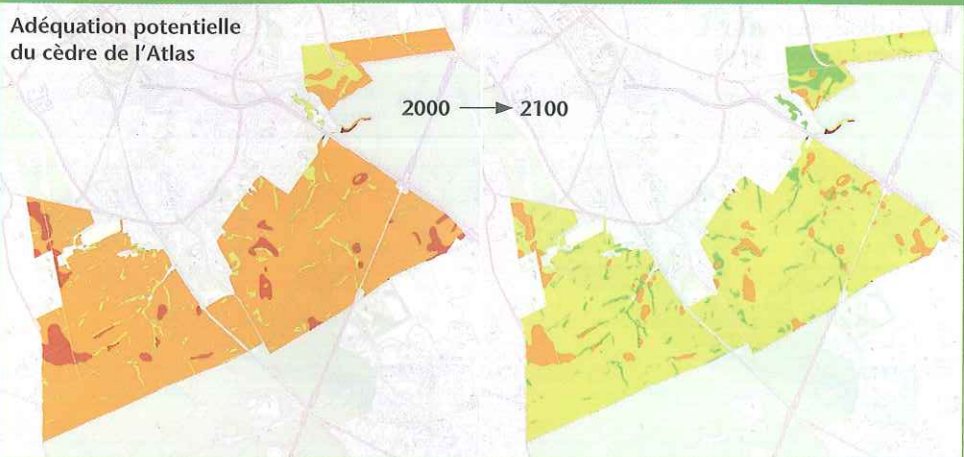
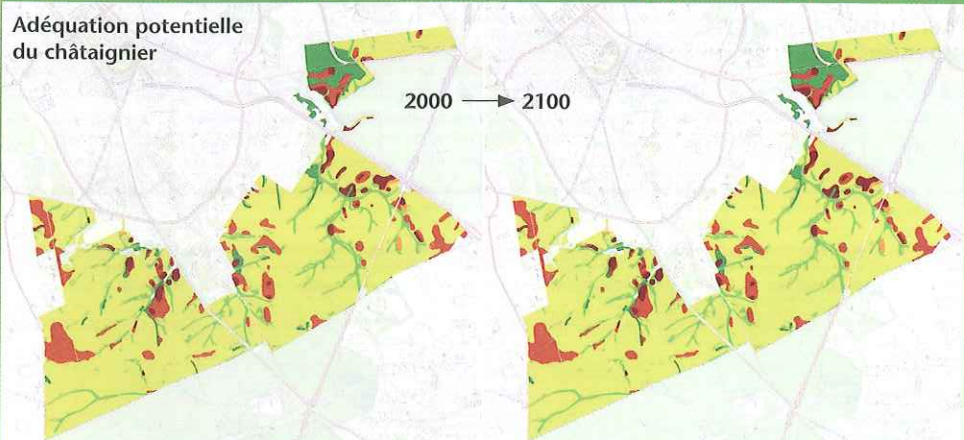
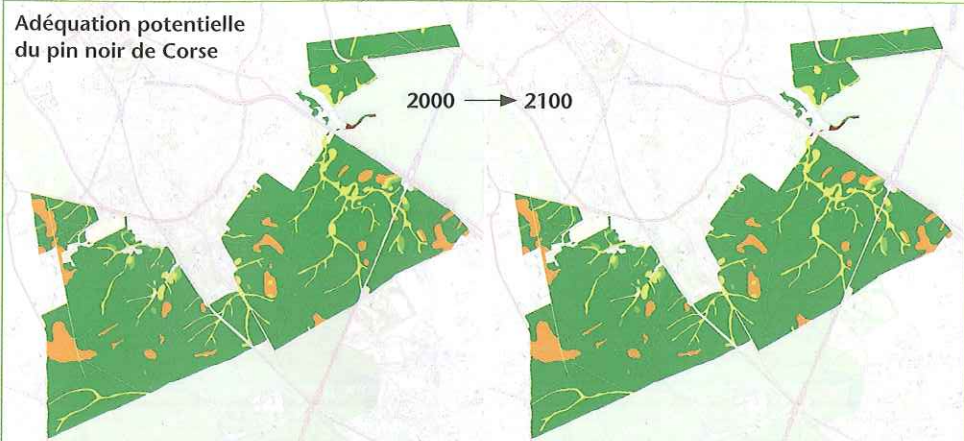
Optimum En station Tolérance Limite de tolérance Exclusion Exclusion forte

Adéquation potentielle  
du tilleul à petites feuilles

2000 → 2100







ves des différents couples essence-station pondérées par la surface totale de la forêt. Cette démarche met en évidence que le problème de loin le plus préoccupant concerne le hêtre et le chêne pédonculé, dont l'évolution de l'aptitude est nettement affectée sur des surfaces considérables, alors qu'il s'agit des essences de base de la forêt de Soignes.

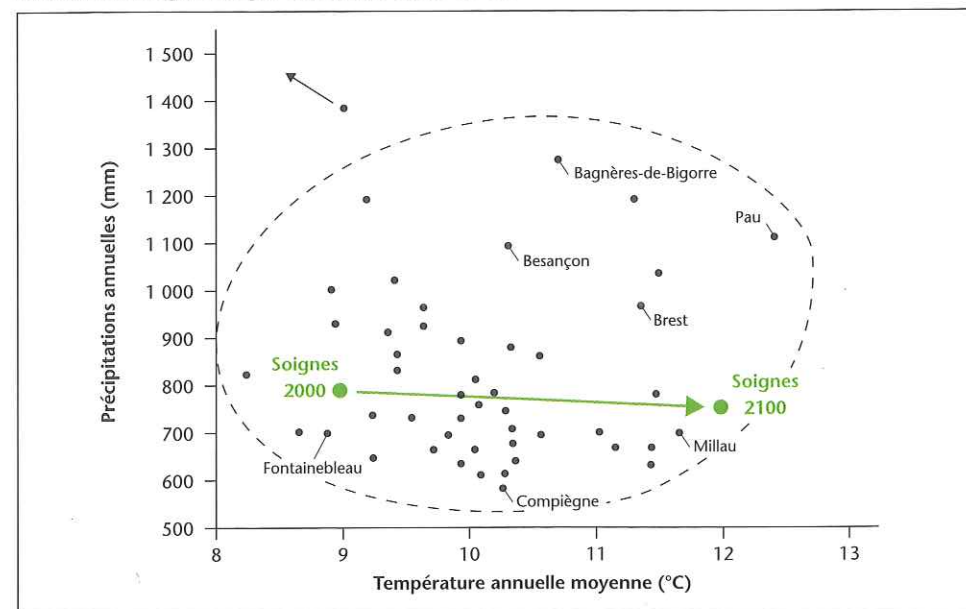
### CONCLUSION

Les résultats montrent que les modifications climatiques de la forêt de Soignes devraient avoir un effet majeur sur l'aptitude de la plupart des essences forestières commerciales. Si l'on s'en tient au hêtre, qui occupe près des trois quarts de la surface de la forêt de Soignes, on peut

observer une évolution très négative de l'adéquation aux stations, qui s'explique par la sensibilité de l'espèce à plusieurs paramètres qui évoluent conjointement dans un sens qui lui est défavorable. Les plus marquants concernent l'élévation de la température estivale et de la probabilité d'épisodes secs et chauds. À ce titre, la figure 9, issue d'une analyse climatique des hêtraies de plaine<sup>2</sup>, montre que, si la hêtraie sonienne est maintenue, elle se retrouvera dans un climat nettement plus chaud et sec, inédit pour les hêtraies de plaine, qui présentent déjà dans leur ensemble des conditions climatiques relativement chaudes et peu arrosées par rapport à l'aire submontagnarde de l'espèce.

En outre, ce changement est d'une telle ampleur, et si rapide à l'échelle de la vie

Figure 9 – Évolution du climat sonien dans le diagramme ombrothermique de quelques localités de hêtre de basse altitude en France (d'après le diagramme de BECKER<sup>2</sup>). Ces localités se distinguent de la majorité des hêtraies européennes par leur climat moins arrosé.



d'un arbre, qu'il est difficilement concevable que les capacités d'adaptation spontanée d'individus et de populations soient suffisantes pour qu'un peuplement de hêtres tolérants puisse émerger dans le même temps.

À côté de ce tableau négatif, l'analyse montre aussi qu'il existe des alternatives parmi les essences forestières déjà présentes en forêt de Soignes comme le chêne sessile, les pins ou le tilleul à petites feuilles, voire le châtaigner ou le cèdre. Toutefois, anticiper plus résolument les changements climatiques par la plantation d'essences thermophiles comme le pin maritime ou les chênes méditerranéens n'est pas à l'ordre du jour puisque celles-ci ne résisteraient pas aux rigueurs hivernales du climat actuel. De surcroît, cela supposerait un réchauffement de grande ampleur à très long terme au niveau de l'Europe moyenne, une hypothèse qui n'est pas vraiment à l'ordre du jour car elle dépasse les capacités actuelles de prévision des modèles climatiques.

Devant toutes ces incertitudes, on ne peut que conseiller aux forestiers de la forêt de Soignes de diversifier leurs réponses face aux changements climatiques en cours et à venir. À l'occasion des régénérations, seule une diversification des essences garantira une souplesse maximale qui permette de faire évoluer la forêt au mieux, en fonction des évolutions avérées du climat et de la réaction des essences aux changements climatiques.

Une recommandation si simple, mais dont l'application sera sans doute plus complexe qu'il n'y paraît dans ce contexte si particulier de forêt périurbaine et de hêtraie cathédrale, où il s'agit autant de

gérer l'aspect affectif des paysages ou du cadre de vie, que celui, plus objectif, de la dynamique d'un écosystème forestier ou de la production de bois de qualité. Mais en aucun cas, on ne peut éluder le risque d'une crise sanitaire majeure, certainement plus dommageable pour le patrimoine sonien que l'évolution progressive et adaptative de la forêt que l'on est en mesure d'initier dès aujourd'hui. ■

### BIBLIOGRAPHIE

- <sup>1</sup> BADEAU V., DUPOUEY J.-L., CLUZEAU C., DRAPIER J., LE BAS C. [2004]. *Modélisation et cartographie de l'aire climatique potentielle des grandes essences forestières françaises*. Rapport final, Rep. 4154B, INRA Nancy.
- <sup>2</sup> BECKER M. [1981]. Caractérisation climatique de la hêtraie. In TEISSIER DU CROS E. [1981]. *Le hêtre*. INRA, Paris, 71-77.
- <sup>3</sup> BECKER M. [1985]. *Démarche méthodologique préconisée pour la typologie des stations forestières*. Colloques phytosociologiques n° 14, 299-311.
- <sup>4</sup> BRÊTHES A. [1989]. La typologie des stations forestières : recommandations méthodologiques. *Revue forestière française* 41(1) : 2-27.
- <sup>5</sup> CLAESSENS H., LEJEUNE P., CUVELIER M., DIERSTEIN A., RONDEUX J. [2002]. Mise au point d'un modèle cartographique pour la description des stations forestières en Ardenne belge. *Base* 6(4) : 209-220.
- <sup>6</sup> 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.
- <sup>8</sup> FORÊT M., DUMÉ G. [2006]. *Les outils d'aide à la reconnaissance des stations forestières et au choix des essences. Méthodes et recommandations pratiques ou Guide-âne*. IFN, 224 p.

- <sup>9</sup> GAUDIN S. [2007]. *Prise en compte du changement climatique dans les guides des catalogues de stations : première approche*. CRPF Champagne-Ardenne, 16 p.
- <sup>10</sup> GIEC [2007]. *Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse*. IPCC, 114 p.
- <sup>11</sup> LANGHOR R. [2010]. Quelques facteurs édaphiques dans l'écosystème forêt de Soignes. *Forêt Wallonne* 105 : 3-14.
- <sup>12</sup> LAURENT *et al.* [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.
- <sup>13</sup> 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 n° 3.
- <sup>14</sup> LEJEUNE P., ALDERWEIRELD M., RONDEUX J. [2009]. L'apport d'un inventaire forestier par échantillonnage à la gestion de la forêt de Soignes. In *Les amis de la forêt de Soignes* [2009]. *La forêt de Soignes. Connaissances nouvelles pour un patrimoine d'avenir*. Éd. Mardaga, p. 115-120.
- <sup>15</sup> NOIRFALISE A. [1984]. *Forêts et stations forestières en Belgique*. Éd. Les Presses Agronomiques de Gembloux, 234 p.
- <sup>16</sup> Parlement de la Région de Bruxelles-Capitale [2010]. *Résolution visant à soumettre à l'UNESCO la proposition d'inscription sur la liste du Patrimoine mondial de l'humanité de la Forêt de Soignes et de la hêtraie cathédrale*. Séance du 2 juillet.
- <sup>17</sup> RAMEAU J.-C., MANSION D., DUMÉ G. [1989]. *Flore Forestière Française. Tome 1*. IDF, Paris, 1 785 p.
- <sup>18</sup> VANWIJNSBERGHE S. [2003]. *Plan de gestion de la Forêt de Soignes partie de Bruxelles-Capitale*. BE-IBGE, 163p + 18 annexes.
- <sup>19</sup> Vlaams Parlement [2010]. *Voorstel van resolutie betreffende het voorstel aan de UNESCO om het Zoniënwoud in te schrijven op de lijst*

- <sup>20</sup> WEISSEN F. [1991]. *Fichier écologique des essences. Tomes 1 et 2*. Ministère de la Région Wallonne, Namur, 45 + 190 p.
- <sup>21</sup> WEISSEN F., BRONCHART L., PIRET A. [1994]. *Le guide de boisement des stations forestières de Wallonie*. Ministère de la Région Wallonne, Namur, 175 p.

Cet article a été rédigé dans le cadre d'une recherche financée par Bruxelles Environnement-IBGE, avec l'appui de l'Accord-cadre de recherche et de vulgarisation forestières (SPW, DGO3, DNF). Les auteurs remercient Cédric Geerts et Alain Monseur, de l'équipe technique de l'Unité de gestion des ressources forestières et des milieux naturels (ULg, Gx-ABT), ainsi que le personnel forestier de Bruxelles Environnement, qui a apporté son expérience à cette étude, principalement pour l'élaboration du catalogue des stations.

JULIEN DAISE

daisejulien@gmail.com

HUGUES CLAESSENS

hugues.claessens@ulg.ac.be

Unité de gestion des ressources  
forestières et des milieux naturels,  
Gx-ABT, ULg

2, Passage des Déportés  
B-5030 Gembloux

STÉPHANE VANWIJNSBERGHE

svn@ibgebim.be

Bruxelles Environnement (IBGE)

Gulledelle, 100  
B-1200 Bruxelles