



**Conseil économique  
et social**

Distr.  
GÉNÉRALE

ECE/EB.AIR/WG.1/2009/6  
7 juillet 2009

FRANÇAIS  
Original: ANGLAIS

---

**COMMISSION ÉCONOMIQUE POUR L'EUROPE**

ORGANE EXÉCUTIF DE LA CONVENTION  
SUR LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE  
TRANSFRONTIÈRE À LONGUE DISTANCE

Groupe de travail des effets

Vingt-huitième session  
Genève, 23-25 septembre 2009  
Point 5 de l'ordre du jour provisoire

**DERNIERS RÉSULTATS ET ÉTAT ACTUEL DES CONNAISSANCES  
SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES**

**RÉSULTATS POUR 2009 DE LA SURVEILLANCE  
DE L'ÉTAT DES FORÊTS EN EUROPE**

Rapport établi par le Centre de coordination du Programme international concerté  
d'évaluation et de surveillance des effets de la  
pollution atmosphérique sur les forêts

**I. INTRODUCTION**

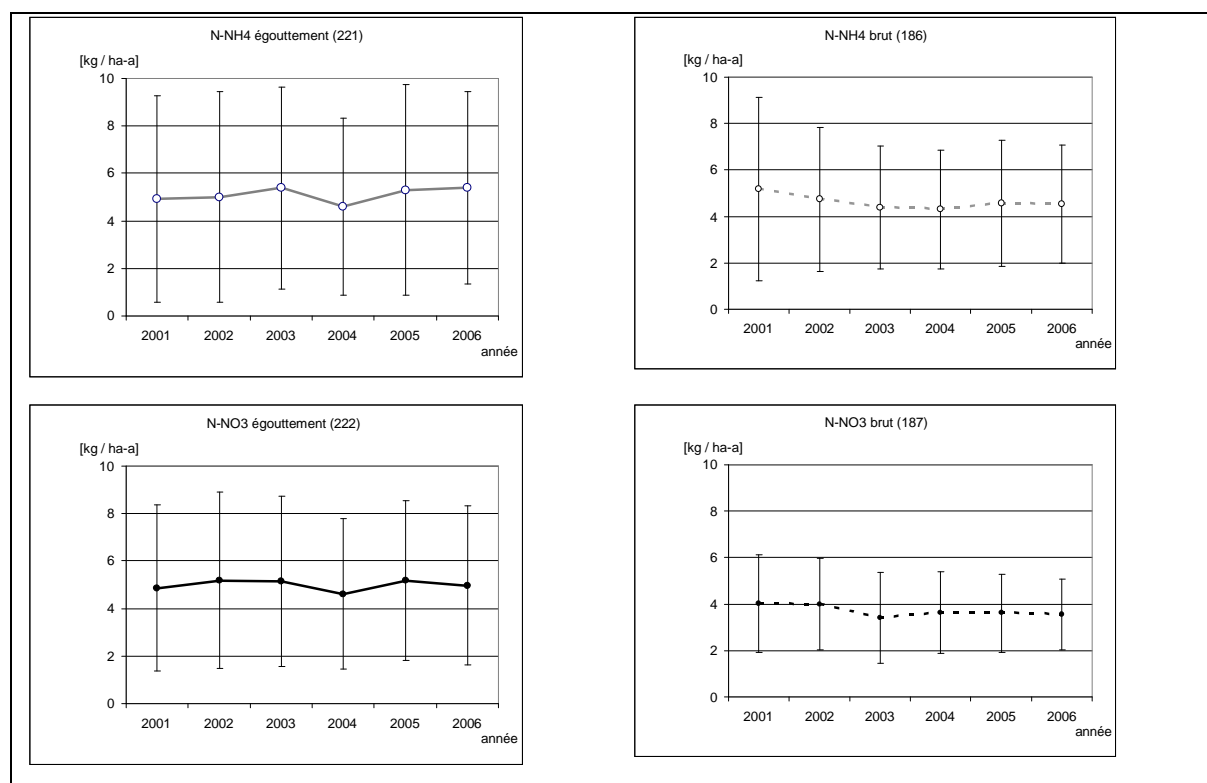
1. En 2009, le Programme international concerté d'évaluation et de surveillance des effets de la pollution atmosphérique sur les forêts (PIC-Forêts) a poursuivi sa surveillance à grande échelle et son observation intensive de l'état des forêts. Des résultats sont disponibles pour 5 002 placettes de degré I (évaluation de 2008) et 308 placettes de degré II (évaluation de 2006). Les paramètres suivis étaient l'état du houppier, la chimie foliaire, la chimie du sol et la chimie de la solution du sol, la croissance des arbres, la végétation au sol, les dépôts atmosphériques, la qualité de l'air ambiant, la météorologie, la phénologie et la litière morte (Lorenz *et al.*, 2009, Fischer *et al.*, 2009). Les résultats de cette surveillance sont présentés ici conformément à l'élément 3.4 du plan de travail de la Convention pour 2009 (ECE/EB.AIR/96/Add.2), adopté par l'Organe exécutif à sa vingt-sixième session en décembre 2008.

## II. VARIATION DES DÉPÔTS DANS L'ESPACE ET DANS LE TEMPS

2. On disposait depuis la seconde moitié des années 90 de données sur les dépôts bruts et sur les dépôts par égouttement de la frondaison pour à peu près 500 placettes de degré II. L'analyse récente a porté sur les sites qui avaient été opérationnels pendant toute la période 2001-2006, avec une marge d'un mois par an au maximum de données manquantes. Celles-ci ont été calculées à partir du dépôt journalier moyen du reste de l'année. Pour tenir compte de la variabilité des dépôts, on a évalué le dépôt moyen pour chaque placette sur une période de trois ans (2004-2006) au lieu d'une seule année. On a calculé les pentes des droites de régression sur trois ans pour chaque placette et contrôlé si elles permettaient de chiffrer l'évolution dans le temps.

3. Mesurés pour quelque 220 placettes situées en Europe, les dépôts moyens d'azote (N) par égouttement allaient de 8,9 à 10,2 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> (fig. 1), avec des fluctuations d'une année sur l'autre, les dépôts d'ammonium (NH<sub>4</sub>), de 4,6 à 5,4 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>, et les dépôts de nitrate (NO<sub>3</sub>), de 4,6 à 5,2 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>. Il ressortait des évaluations par placette que, sur 90 % d'entre elles, les dépôts d'azote par égouttement n'avaient accusé aucun changement significatif. Les placettes où les dépôts avaient augmenté étaient légèrement plus nombreuses que celles où ils avaient diminué (5,0 % pour le NH<sub>4</sub> et 4,5 % pour le NO<sub>3</sub>). Les dépôts sur les placettes étaient généralement plus importants en Europe centrale que dans les régions des Alpes, d'Europe septentrionale et d'Europe méridionale.

**Figure 1. Valeurs annuelles moyennes des dépôts bruts et des dépôts par égouttement de sulfate (S-SO<sub>4</sub>), nitrate (N-NO<sub>3</sub>) et ammonium (N-NH<sub>4</sub>) dans la période 2001-2006**



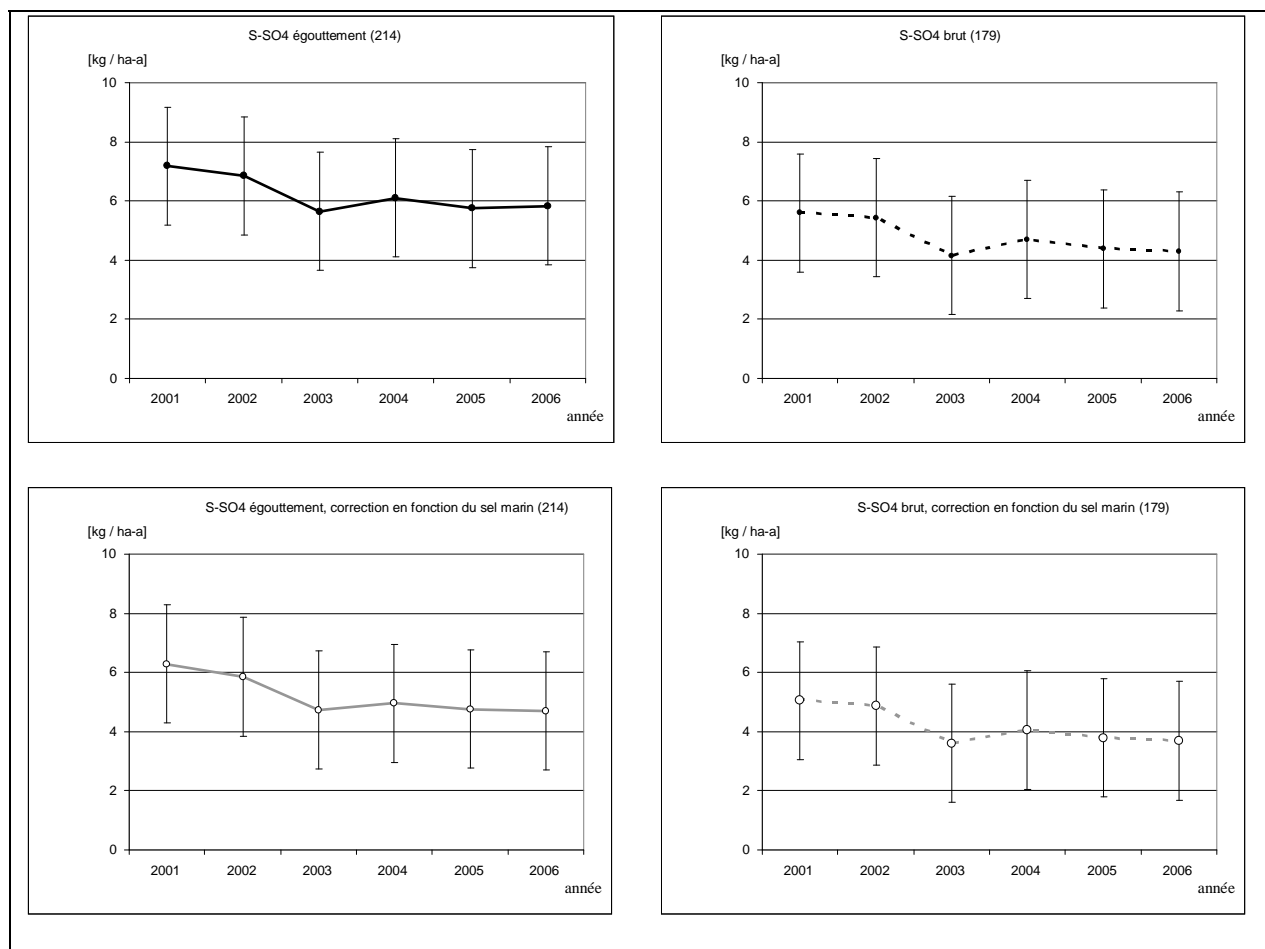
Note: Le nombre de placettes est indiqué entre parenthèses.

4. Sur 186 placettes, les dépôts bruts moyens d'ammonium avaient augmenté, passant de 4,3 à 5,2 kg N ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>. Une augmentation générale était observée sur 4 % des placettes, et une baisse sur 3 % des placettes. Les apports bruts moyens de NO<sub>3</sub> étaient tombés de 4,0 à 3,5 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>. On a observé une diminution appréciable sur 8 % des placettes, et une hausse notable sur 2 % des placettes.

5. Les apports moyens de sulfate (SO<sub>4</sub>) par égouttement étaient passés de 7,2 à 5,8 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> (fig. 2). Les apports de soufre (S) étaient en nette diminution sur 9 % des placettes et n'enregistraient de hausse sur aucune placette. Des dépôts de SO<sub>4</sub> par égouttement relativement faibles ont été mesurés sur les placettes situées dans la région des Alpes, en Scandinavie et dans la péninsule ibérique. Les dépôts bruts moyens de SO<sub>4</sub> ont baissé, tombant de 5,6 à 4,6 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>.

6. On a déduit des apports totaux moyens de SO<sub>4</sub> la part provenant des sels marins, pour déterminer les apports d'origine humaine. La correction en fonction du sel marin a touché des placettes situées près des zones côtières. Les apports moyens de SO<sub>4</sub> par égouttement, corrigés en fonction du sel marin, étaient tombés de 6,3 à 4,7 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> (fig. 2). Les dépôts bruts moyens de SO<sub>4</sub> corrigés en fonction du sel marin étaient passés de 5,1 à 3,7 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>.

**Figure 2. Valeurs annuelles moyennes des dépôts de sulfate (S-SO<sub>4</sub>), bruts et par égouttement, avec un écart type, pour la période 2001-2006**



Note: Le nombre de placettes est indiqué entre parenthèses.

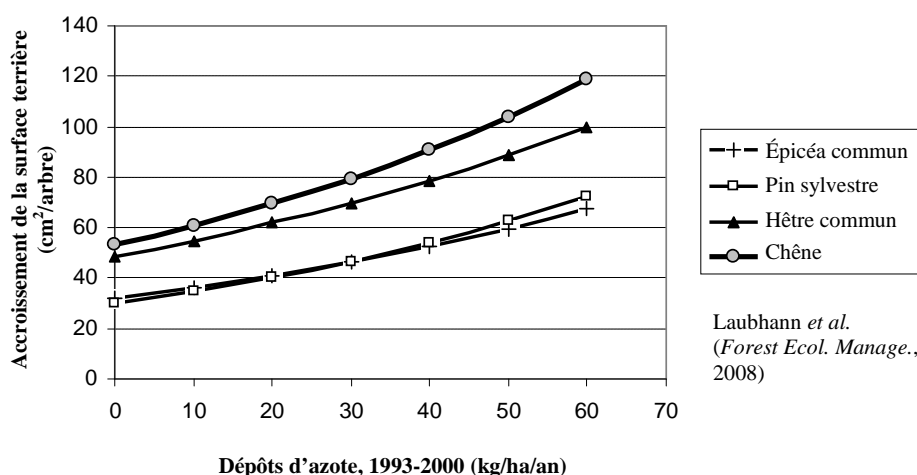
### III. EFFETS DES DÉPÔTS ET DE LA TEMPÉRATURE SUR LA CROISSANCE DES ESSENCES FORESTIÈRES

7. L'incidence des dépôts d'azote et de soufre ainsi que d'autres effets environnementaux sur la croissance des essences forestières et plus précisément sur l'augmentation de la surface terrière ont été évalués au moyen de données provenant de 382 placettes de degré II situées dans 18 pays pour la période 1995-2000. Les évaluations ont porté sur *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Fagus sylvatica*, et *Quercus robur* et *petraea*. Une modélisation de la croissance des arbres fondée sur l'individu a été utilisée pour expliquer l'augmentation de la surface terrière. Ce modèle mettait en jeu des variables relatives à la taille des arbres (diamètre à hauteur de poitrine), à la concurrence entre les arbres (surface terrière des grands arbres et indice de densité du peuplement), à des facteurs liés à la localisation (rapport carbone/azote du sol, température), et à des facteurs environnementaux (notamment l'évolution de la température par rapport à la moyenne à long terme, les dépôts d'azote et de soufre).

8. La température moyenne annuelle était en corrélation positive avec la croissance des essences *Quercus* et *Pinus sylvestris*. Pour *Fagus sylvatica*, la différence entre la température moyenne annuelle à long terme et la température moyenne annuelle avait un rapport clair avec la croissance des arbres. Cette corrélation positive entre la température et la croissance pouvait être considérée comme une réaction indirecte aux changements climatiques. L'augmentation de la surface terrière de *Picea abies* n'apparaissait pas comme liée à l'accroissement de la température.

9. Le seul facteur de changement environnemental affectant la croissance des quatre essences était le dépôt d'azote (fig. 3). La progression de la croissance par kg supplémentaire de dépôt d'azote par hectare variait de 1,2 à 1,5 %, selon l'essence, les autres facteurs déterminants étant constants. Sur les sols ayant déjà une bonne teneur en azote, l'effet était moins important. Les dépôts de soufre et les dépôts acides n'avaient pas d'effet négatif sur la croissance de la forêt. On estimait que leurs incidences négatives étaient contrebalancées par l'effet positif des dépôts d'azote en raison de la colinéarité de ces variables.

**Figure 3. Accroissement de la surface terrière de quatre essences, calculé en fonction des dépôts d'azote, selon le modèle de la croissance individuelle des arbres**



#### IV. ÉTAT DU HOUPPIER

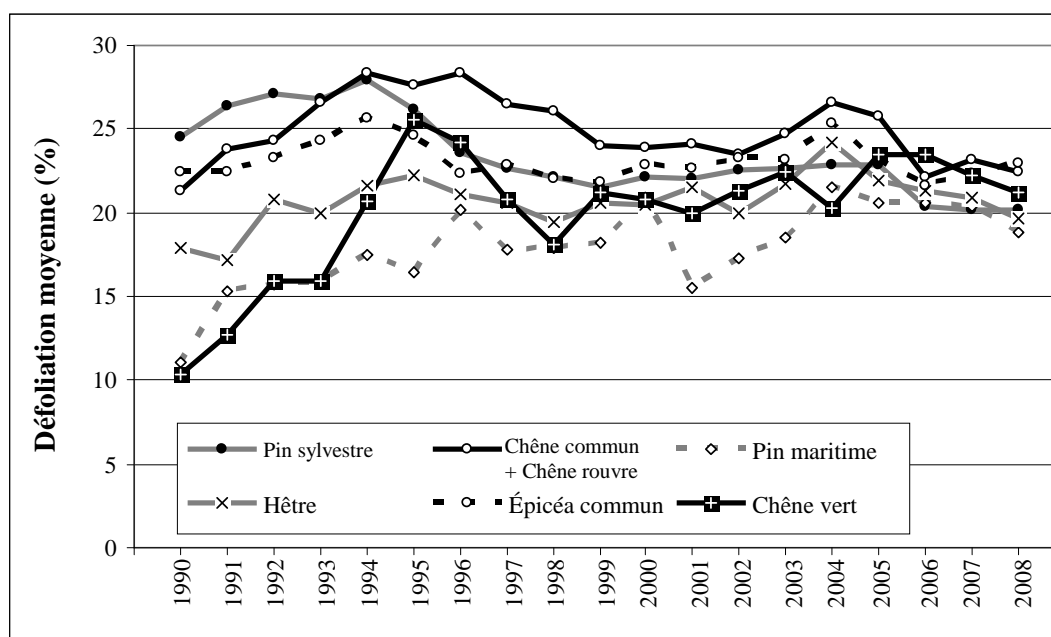
10. Les forêts constituant des écosystèmes complexes dans lesquels différents facteurs de contrainte interagissaient, l'incidence de la pollution atmosphérique sur les forêts européennes devait être évaluée avec l'état de santé général des forêts et les facteurs de contrainte supplémentaires. Pour surveiller la santé des forêts sur de grandes superficies, on étudiait la défoliation du houppier des arbres. Dans cette étude, les arbres ayant conservé toutes leurs feuilles étaient classés comme non atteints. Le taux de défoliation indiquait la proportion, en pourcentage, d'aiguilles ou de feuilles perdues par rapport à un arbre de référence ayant conservé toutes ses aiguilles ou toutes ses feuilles.

11. En 2008, l'étude transnationale de l'état du houppier, effectuée sur 5 002 placettes situées dans 25 pays, a porté sur 111 560 arbres: 21,1 % d'entre eux avaient perdu plus de 25 % de leurs aiguilles ou de leurs feuilles et ont donc été classés comme atteints ou morts, contre 21,8 % en 2007. En 2008, parmi les essences les plus courantes, c'étaient le chêne commun et le chêne rouvre qui accusaient la plus forte proportion d'arbres atteints ou morts, à savoir 34,2 %.

12. La progression à long terme de la défoliation a été calculée à partir des données communiquées chaque année depuis 1990 sans interruption par les pays qui surveillaient la situation (fig. 4). Parmi les principales essences, *Pinus sylvestris* a connu une nette réduction de la défoliation. Le pin sylvestre étant moins sensible à la sécheresse, sa défoliation n'avait pas augmenté même après l'été très sec de 2003. En moyenne, pour l'ensemble des placettes évaluées, la défoliation de *Picea abies* a varié au cours de la période d'observation. Des records ont été atteints pour la défoliation moyenne au milieu des années 90 et après l'été chaud et sec de 2003. *Fagus sylvatica* a enregistré un accroissement constant de la défoliation moyenne de la fin des années 90 jusqu'à 2004. On a expliqué le niveau record atteint en 2004 par une réaction à la sécheresse que l'Europe centrale avait subie en 2003. Depuis lors, on a observé une amélioration constante. L'évolution de *Quercus robur* et de *Quercus petraea* a été similaire à celle du houppier de *Fagus sylvatica*. Néanmoins, pour presque toutes les années considérées, c'étaient ces essences de chêne qui avaient subi la défoliation la plus élevée parmi les principales essences. *Quercus ilex* se caractérisait par des sommets de la défoliation moyenne par placette en 1995 et en 2005/06. Au cours des deux dernières années, la défoliation avait diminué. Cette évolution illustre surtout la situation qui prévalait en Espagne, où se situaient la plupart des arbres observés. Avec quelques variations, la défoliation du *Pinus pinaster* avait enregistré une augmentation jusqu'en 2004. Depuis lors, on a observé une légère amélioration.

13. Des études précédentes (par exemple, Lorenz *et al.*, 2003) ont montré que la variation de la défoliation s'expliquait essentiellement par l'âge de l'arbre, les conditions météorologiques extrêmes et des facteurs biotiques. Une corrélation partielle a été constatée entre la pollution atmosphérique et la défoliation. L'étude de l'état du houppier était considérée comme un système d'alerte précoce utile pour de nombreux facteurs de contrainte agissant sur la santé des forêts.

**Figure 4. Pourcentage d'arbres atteints, toutes essences confondues, et défoliation moyenne des essences les plus courantes**



Note: Les données se rapportent seulement aux pays qui ont communiqué des données sans interruption.

## V. CONCLUSIONS

14. Pendant plus de vingt ans, en coopération étroite avec la Commission européenne, le PIC-Forêts a mis sur pied un système de surveillance unique, conjuguant l'établissement d'inventaires harmonisés réguliers et une surveillance intensive. Les inventaires ont fourni des informations reflétant bien l'état des forêts européennes tandis que la surveillance intensive a permis d'étudier les relations complexes entre les flux de dépôt de substances et les réactions de l'écosystème. Le PIC-Forêts a fourni un système qui conjugait la surveillance, un système d'alerte précoce et l'examen des relations de cause à effet.

15. Cette surveillance intensive a permis d'obtenir des données utiles pour déterminer les dépôts atmosphériques et réaliser des études plus complexes sur les réactions de l'écosystème. Pour la période 2001-2006, la somme des dépôts de  $\text{NO}_3$  et de  $\text{NH}_4$  était supérieure aux dépôts de  $\text{SO}_4$ , pour les apports bruts comme pour les apports par égouttement. On a estimé que les sulfates provenant de la dispersion de sel marin représentaient approximativement 1 kg par hectare (moyenne de toutes les placettes évaluées). Autrement dit, la majeure partie des apports de  $\text{SO}_4$  était d'origine humaine. La moyenne des dépôts de  $\text{SO}_4$  a diminué au cours de la période d'observation et ces apports n'ont augmenté sur pratiquement aucune placette. On n'a pas noté de tendance temporelle claire pour les composés azotés.

16. Les effets des dépôts d'azote sur les écosystèmes forestiers sont demeurés une des cibles des activités de surveillance. La modélisation de la croissance des arbres basée sur l'individu, qui tenait compte de variables telles que la taille des arbres et la compétition entre individus, ainsi que de facteurs relatifs à la localisation et à l'environnement, a été appliquée aux données sur la

croissance pour les placettes de degré II. Les résultats ont montré que les dépôts d'azote accéléraient la croissance pour toutes les principales essences évaluées, un kg d'apport d'azote correspondant à une augmentation de la croissance de la surface terrière de 1,2 à 1,5 %. On n'a pas observé de lien de ce type avec les apports de SO<sub>4</sub> ou les dépôts acides, mais on a émis l'hypothèse que ces effets échappaient à l'observation en raison des effets de l'azote, qui étaient plus puissants.

## VI. RÉFÉRENCES<sup>1</sup>

Fischer R, Lorenz M, Köhl M, Becher G, Granke O, Bobrinsky A, Braslavskaya T, Chirici G, De Vries W, Dobbertin M, Kraft P, Laubhann, Lukina N, Nagel HD, Reinds GJ, Sterba H, Solberg S, Stofer S, Seidling W (2009) The condition of forests in Europe; Executive report 2008.

Laubhann D, Sterba H, Reinds GJ, De Vries W (2008) The impact of atmospheric deposition and climate on forest growth in European monitoring plots: An individual tree growth model. *Forest Ecol. Manage.* (2008), doi:10.1016/j.foreco.2008.09.050.

Lorenz M, Fischer R, Becher G, Iost S, Mues V, Granke O, Braslavskaya T, Bobrinsky A, Clarke N, Lachmanová N, Lukina N, Schimming C (2009) Forest condition in Europe; 2009 Rapport technique du PIC-Forêts, 2009. Institute of World Forestry, Hambourg, 83 pages + annexes.

-----

---

<sup>1</sup> Les références sont reproduites telles qu'elles ont été reçues par le secrétariat.