



**HAL**  
open science

# Sécheresse, pollution atmosphérique et dépérissement de l'Épicéa dans le massif jurassien

Pierre-Marie Badot

► **To cite this version:**

Pierre-Marie Badot. Sécheresse, pollution atmosphérique et dépérissement de l'Épicéa dans le massif jurassien. *Revue forestière française*, 1991, 43 (1), pp.27-33. 10.4267/2042/26174 . hal-03425061

**HAL Id: hal-03425061**

**<https://hal.science/hal-03425061v1>**

Submitted on 10 Nov 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

# SÉCHERESSE, POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE ET DÉPÉRISSEMENT DE L'ÉPICÉA DANS LE MASSIF JURASSIEN

---

P.-M. BADOT

Les forêts jurassiennes n'ont pas été épargnées par les phénomènes de dépérissement qui affectent depuis quelques années un grand nombre de massifs forestiers dans le monde (Bonneau et Landmann, 1988). Lorsque les premiers résultats de l'inventaire des dommages furent connus, l'importance des dégâts observés en Franche-Comté suscita une forte inquiétude dans une région où les forêts constituent la principale richesse naturelle. Grâce aux soutiens du Conseil régional de Franche-Comté, du ministère de l'Environnement et du programme DEFORPA et en étroite relation avec l'Office national des Forêts, une série d'études ont été entreprises par plusieurs équipes de l'Université de Besançon dans le but de mettre en évidence les éventuelles particularités du dépérissement et de tenter d'en élucider le déterminisme dans cette région. Ces travaux ont fourni de nombreux résultats qu'il nous paraît important de rapporter ici brièvement en les confrontant aux autres informations disponibles dans ce massif.

## **PRINCIPAUX SYMPTÔMES MACROSCOPIQUES OBSERVÉS LORS DU DÉPÉRISSEMENT DE L'ÉPICÉA EN FRANCHE-COMTÉ**

Comme dans les autres régions touchées, la chute prématurée des aiguilles est un phénomène général qui caractérise nettement les épicéas dépérissants : il n'est pas rare d'observer chez les sujets atteints des rameaux ne portant que trois à quatre générations d'aiguilles, alors que les épicéas sains peuvent en conserver une dizaine. Le plus souvent, c'est la partie médiane de la cime qui perd ses aiguilles. Les houppiers prennent alors un aspect clairsemé et laissent apparaître les axes nus des rameaux (figure 1A, p. 28). Le manque de densité du feuillage trouve également son origine dans la non-ramification fréquente des rameaux secondaires dont les bourgeons existent mais ne se développent pas. Le port des arbres malades est altéré avec notamment une exagération du caractère pendant des rameaux secondaires ou « lametta symptom » (figure 1B, p. 28).



Figure 1  
ÉPICÉA DÉPÉRISSANT, DÉTAIL :

A : DÉFOLIATION IMPORTANTE, AXES DES RAMEAUX APPARENTS, PRÉSENCE DE LICHENS.  
B : EXAGÉRATION DU PORT PENDANT DES RAMEAUX SECONDAIRES, « LAMETTA SYMPTOM ».  
C : FRUCTIFICATION ABONDANTE.

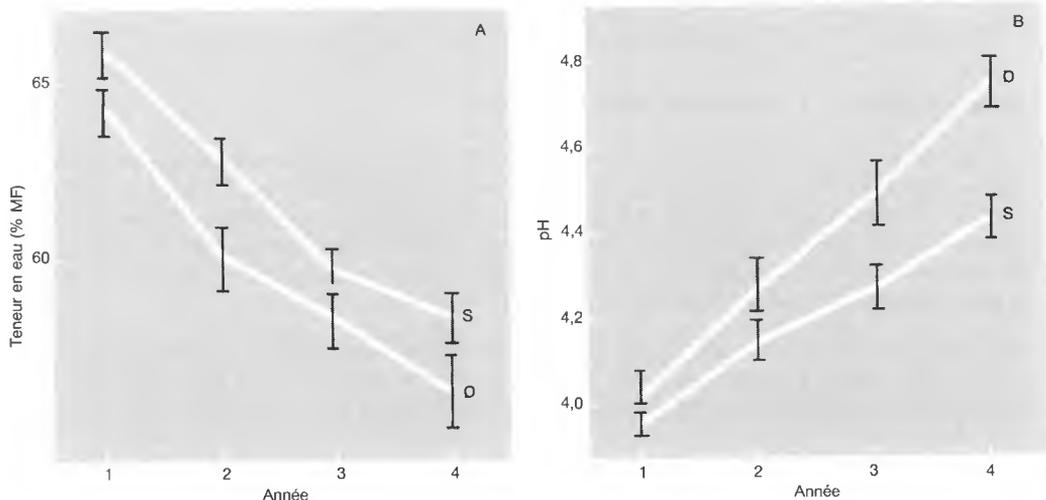
En Franche-Comté, le dépérissement de l'Épicéa ne s'accompagne pas toujours de colorations anormales du feuillage alors que celles-ci sont fréquemment observées dans les autres régions atteintes (Bonneau et Fricker, 1985). Des jaunissements importants ont parfois été signalés dans le Jura (Bonneau, 1989a), mais il est loin de s'agir d'un symptôme constant. Lorsqu'ils existent, ils n'affectent en général pas les aiguilles de l'année courante et débutent lors de la deuxième saison de végétation. Dans ce cas, ils intéressent d'abord l'extrémité puis toute la longueur de l'aiguille. Quelquefois, on a pu constater l'apparition de ponctuations blanchâtres sur les aiguilles de l'année.

D'autres symptômes peuvent être observés avec plus ou moins de facilité. Les arbres dépérissants sont l'objet d'attaques fréquentes par des agents pathogènes tels que champignons et lichens (figure 1A, ci-contre, en haut) et leur fructification est souvent excessivement abondante (figure 1C, ci-contre, en bas). À notre connaissance, aucune description d'atteintes de l'appareil racinaire n'a été rapportée dans le Jura.

### LE DÉPÉRISSEMENT SE TRADUIT PAR UNE SÉNESCENCE PRÉCOCE DES AIGUILLES

Sur le plan physiologique, les aiguilles des arbres dépérissants présentent un certain nombre de caractères qui indiquent un vieillissement prématuré (Badot *et al.*, 1990 ; Badot et Garrec, 1990). Quelle que soit la génération d'aiguilles considérée, le contenu hydrique foliaire des arbres atteints est inférieur à celui des arbres sains et à un âge donné, les aiguilles des arbres dépérissants montrent des teneurs en eau sensiblement égales à celles enregistrées un an plus tard chez les arbres sains (figure 2A, ci-dessous). La même observation a été effectuée en ce qui concerne l'évolution du pH vacuolaire au cours du vieillissement des aiguilles (figure 2B, Badot et Badot, 1989a). Ceci indique que les aiguilles des arbres dépérissants atteignent plus rapidement un état physiologique caractérisant normalement les aiguilles plus vieilles des arbres sains. Cette sénescence accélérée pourrait rendre compte de la chute précoce des aiguilles. De telles observations ne sont pas propres au dépérissement de l'Épicéa dans le Jura et d'autres auteurs ont fait état d'un tel vieillissement prématuré chez des plantes soumises à une pollution soufrée (Pierre, 1984) ou affectées de phénomènes de dépérissement (Garrec *et al.*, 1989).

Figure 2 VARIATIONS DE LA TENEUR MOYENNE EN EAU (A) ET DU pH VACUOLAIRE MOYEN DES TISSUS FOLIAIRES (B) EN FONCTION DE L'ÂGE DES AIGUILLES D'ARBRES SAINS (S) ET D'ARBRES DÉPÉRISSENTS (D)



## LE DÉPÉRISSEMENT N'EST PAS LIÉ AUX CARACTÉRISTIQUES PHYTOSOCIOLOGIQUES ET PÉDOLOGIQUES DU MILIEU

Le massif jurassien présente des originalités phytosociologiques et pédologiques qui peuvent intervenir dans la genèse du phénomène. Lorsque l'on confronte les données relatives à la cartographie du dépérissement obtenues par télédétection (Schmitt, 1987) aux informations phytosociologiques (Saulnier, 1987), on constate que la distribution des zones dépérissantes dans le massif jurassien n'est pas liée aux caractéristiques phytosociologiques du milieu. Bruckert et Tan (1986) ont par ailleurs montré que, dans le Jura, il n'existe aucune corrélation entre la nature des sols calcimagnésiques ou brunifiés acides et le dépérissement : celui-ci se manifeste indépendamment des types pédologiques. En outre, aucune acidification n'a été enregistrée et les sols ne montrent aucune altération de leurs propriétés.

### DÉPÉRISSEMENT ET NUTRITION MINÉRALE

Les données disponibles concernant l'état nutritionnel des peuplements d'épicéas dépérissants du Jura font apparaître des divergences selon la partie du massif considérée. Au nord, les informations recueillies (Bruckert et Tan, 1986 ; Badot *et al.*, 1988 ; Badot et Badot, 1989b) n'ont pas révélé de déficiences minérales notables dans les aiguilles des arbres atteints. En particulier, les carences en magnésium souvent rapportées dans d'autres régions (Rehfuess, 1987 ; Landmann *et al.*, 1987) n'ont pas été détectées. Ce résultat concorde avec l'examen visuel des aiguilles qui ne montrent pas de jaunissement marqué. Concernant la nutrition azotée, Tavant (1986) a montré que la production d'azote minéral dans les écosystèmes forestiers du Jura montagnard est excédentaire par rapport aux besoins. Tout au plus doit-on signaler l'existence de légères carences en phosphore mais celles-ci affectent indifféremment les arbres sains et les arbres dépérissants et traduisent sans doute une relative pauvreté des sols en cet élément. Le fait que la nutrition minérale soit globalement satisfaisante dans cette partie du massif est à rapprocher des résultats de l'étude pédologique précédemment évoquée qui indiquent que le dépérissement n'est pas lié à une altération des sols (Bruckert et Tan, 1986).

Les analyses des contenus foliaires effectuées sur les arbres du sud du massif font apparaître au contraire l'existence de troubles nutritionnels nets. Bonneau (1989b) signale des problèmes aigus concernant l'azote, le phosphore ou le potassium et quelquefois le manganèse sans que les analyses de sol fournissent une explication satisfaisante. Pour cet auteur, les troubles enregistrés pourraient être liés à l'action des récentes sécheresses et (ou) à de forts niveaux de pollution ayant pour origine les grandes agglomérations voisines.

### INTERVENTION DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

Très peu de mesures de pollution ont jusqu'ici été effectuées dans le massif jurassien. Quelques informations ont été collectées à la station biologique de Bonnevaux (Gauthier, 1989). Les données recueillies indiquent que l'acidité des précipitations ne présente pas de caractère anormal et que les teneurs en ozone et oxydes d'azote sont faibles, mais il s'agit d'une expérimentation d'une durée limitée et le caractère local des mesures ne permet en aucune façon de généraliser ces résultats à l'ensemble du massif.

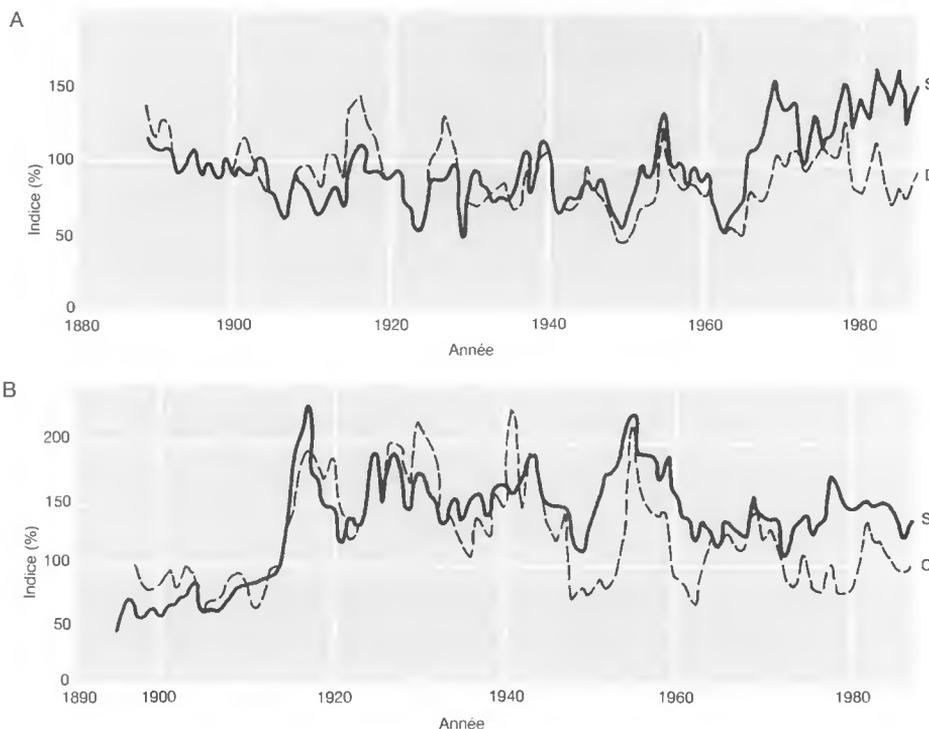
L'observation des surfaces foliaires en microscopie électronique à balayage révèle que l'abondant feutrage de cires épicuticulaires qui est présent sur les aiguilles des arbres sains n'apparaît jamais sur les aiguilles des arbres dépérissants (Badot et Garrec, 1990). Ces symptômes ont été systématiquement retrouvés sur tous les échantillons étudiés. Dans le massif jurassien, il existe ainsi une étroite relation entre les altérations du nombre, de la structure et de la distribution des cires épicuticulaires et l'état de défoliation des épicéas. Les mêmes symptômes ont été décrits

dans d'autres cas de dépérissement (Sauter et Voss, 1989) ou chez des arbres soumis à l'action de différents polluants (Percy et Baker, 1987 ; Mengel *et al.*, 1989). Tuomisto (1988) a montré qu'ils pouvaient être considérés comme un bon indicateur du niveau de pollution. Ces altérations des cires sont identiques à celles rencontrées sur les aiguilles âgées. Le phénomène de sénescence précoce indique que les arbres sont soumis à des stress, et il est raisonnable de penser à une intervention de la pollution atmosphérique dans le dépérissement des épicéas jurassiens.

### INTERVENTION DES RÉCENTES SÈCHERESSES

L'étude dendroécologique (Badot *et al.*, 1990) qui a été conduite sur un large échantillon d'épicéas sains et dépérissants a permis de montrer qu'au cours des cent dernières années, les épicéas jurassiens ont été affectés plus ou moins périodiquement de crises de croissance analogues à celles qui ont été signalées dans les sapinières vosgiennes (Becker, 1987) et jurassiennes (Bert, 1988). Ces crises de croissance correspondent à des périodes pendant lesquelles la pluviosité annuelle est faible (Badot *et al.*, 1990). L'indice moyen de croissance radiale des arbres actuellement dépérissants a diminué plus fortement que celui des arbres sains lors de la crise qui s'est produite dans les années 1950 (figure 3, ci-dessous) et même si les arbres dépérissants ont résisté à cette première crise, ils semblent avoir été durablement affaiblis puisque leur croissance moyenne a de nouveau été nettement inférieure à celle des arbres sains lors du nouvel épisode de sécheresse qui a débuté dans les années 1970. Ces

Figure 3 VARIATIONS DE L'INDICE MOYEN DE CROISSANCE RADIALE D'ARBRES SAINS (S) ET D'ARBRES DÉPÉRISSANTS (D) DANS 2 STATIONS DU MASSIF JURASSIEN (D'APRÈS PERRIER, 1989)



résultats montrent le lien étroit qui existe entre l'actuel dépérissement et les faibles pluviosités annuelles qui ont été enregistrées plusieurs années consécutivement. Les récentes sécheresses qui ont été enregistrées en Europe doivent être considérées comme un des facteurs ayant contribué au dépérissement de l'Épicéa dans le Jura.

## CONCLUSIONS

Les phénomènes de dépérissement qui affectent les forêts jurassiennes pourraient ainsi résulter des actions combinées de la pollution atmosphérique et des récentes sécheresses, sans que cela préjuge de l'intervention d'autres facteurs prédisposants. Cette hypothèse est en parfait accord avec les conclusions de la majorité de la communauté scientifique (Bonneau et Landmann, 1988 ; Bonneau, 1989a) et elle est renforcée par les résultats de travaux récents qui indiquent l'existence d'une synergie entre les effets des stress hydriques et des polluants gazeux (Macrez et Hubac, 1988 ; Pierre et Queiroz, 1988 ; Sieffert et Queiroz, 1989). Ces effets conjoints de la pollution et des récentes sécheresses pourraient rendre compte de la réduction des contenus hydriques foliaires évoqués plus haut (Badot *et al.*, 1988 ; Badot *et al.*, 1990). La baisse de teneur moyenne en eau des aiguilles des épicéas dépérissants pourrait en effet traduire à la fois une mauvaise alimentation hydrique et une augmentation des fuites hydriques au niveau foliaire (Badot et Garrec, 1990). De telles fuites hydriques peuvent avoir pour origine une altération du fonctionnement stomatique (Louguet *et al.*, 1987) et (ou) un accroissement de la perméabilité cuticulaire consécutif à l'altération de surfaces foliaires (Garrec et Kerfourn, 1989).

À ce stade des recherches, il apparaît donc que le dépérissement de l'Épicéa dans le Jura se traduit principalement par des modifications de l'économie de l'eau dans la plante. Il importe maintenant de comprendre comment sont modifiées les relations hydriques à l'intérieur des arbres dépérissants et de préciser quelles peuvent être les conséquences de ces modifications sur la croissance et le développement de l'arbre.

P.-M. BADOT  
Laboratoire de Botanique  
UNIVERSITÉ DE FRANCHE-COMTÉ  
Place Leclerc  
25030 BESANÇON CÉDEX

## BIBLIOGRAPHIE

- BADOT (P.-M.), BADOT (M.-J.). — Contribution à l'analyse des caractères physiologiques des épicéas dépérissants (*Picea abies* L.) du Jura. — *Annales scientifiques de l'Université de Besançon*, 1989a, pp. 39-44.
- BADOT (P.-M.), BADOT (M.-J.). — Contribution à l'étude physiologique du dépérissement forestier de l'Épicéa (*Picea abies* L.) en Franche-Comté. — Rapport, contrat EPR de Franche-Comté Recherche-Environnement-Dépérissement forestier, 1989b, pp. 1-81.
- BADOT (P.-M.), GARREC (J.-P.), MILLET (B.), BADOT (M.-J.), MERCIER (J.). — Dépérissement et état hydrique des aiguilles chez le *Picea abies* L. — *Journal canadien de Botanique*, 66, 1988, pp. 1693-1701.

- BADOT (P.-M.), PERRIER (P.), BADOT (M.-J.). — Dépérissement, déficit hydrique et variations de croissance radiale chez le *Picea abies*. — *Journal canadien de Botanique*, 68, 1990, pp. 1536-1541.
- BADOT (P.-M.), GARREC (J.-P.). — Perturbation hydrique et altération des surfaces dans les aiguilles d'épicéas dépérissants (*Picea abies* L.) du Jura. — *Annales des Sciences forestières*, 1990, sous presse.
- BECKER (M.). — Bilan de santé actuel et rétrospectif du Sapin (*Abies alba* Mill.) dans les Vosges. Étude écologique et dendrochronologique. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 44, n° 4, 1987, pp. 379-402.
- BERT (D.). — Étude dendroécologique du dépérissement du Sapin (*Abies alba* Mill.) dans le Jura. — Université de Nancy, 1988. — pp. 1-59 (DEA en Biologie végétale et forestière).
- BONNEAU (M.). — Étude de la nutrition minérale du Sapin et d'Épicéas jaunissants du Jura central et méridional. — *Journée de travail DEFORPA*, vol. 3, 6.4 bis.1, 1989b, pp. 1-16.
- BONNEAU (M.). — Que sait-on maintenant des causes du dépérissement des forêts ? — *Revue forestière française*, vol. XLI, n° 5, 1989a, pp. 367-385.
- BONNEAU (M.), FRICKER (C.). — Le Dépérissement des forêts dans le massif vosgien : relations possibles avec la pollution atmosphérique. — *Revue forestière française*, vol. XXXVII, n° spécial « Regards sur la santé de nos forêts », 1985, pp. 105-126.
- BONNEAU (M.), LANDMANN (G.). — Le Dépérissement des forêts en Europe. — *La Recherche*, n° 205, 1988, pp. 1542-1553.
- BRUCKERT (S.), TAN (B.S.). — Étude du dépérissement des forêts de l'étage montagnard du Jura en relation avec les sols calciques ou acides du Karst, l'importance de leurs éléments nutritifs et l'état nutritionnel des peuplements. — *Annales scientifiques de l'Université de Besançon*, vol. 4, n° 6, 1986, pp. 37-44.
- GARREC (J.-P.), KERFOURN (C.). — Effets des pluies acides et de l'ozone sur la perméabilité à l'eau et aux ions de cuticules isolées. Implication dans le phénomène de dépérissement des forêts. — *Environmental Experimental Botany*, vol. 29, n° 2, 1989, pp. 215-228.
- GARREC (J.-P.), RICHARDIN (I.), LE MAOUT (L.), ROSE (C.), GERARD (B.), MATHIEU (Y.). — Étude du pH et du pouvoir tampon des aiguilles de Sapin (*Abies alba* L.) et d'Épicéas (*Picea abies* L.) dépérissants. Application en symptomatologie ? — *Annales des Sciences forestières*, vol. 46, 1989, pp. 55-69.
- GAUTHIER (A.). — L'Acidité des pluies et les photooxydants atmosphériques : études récentes en Franche-Comté et relation avec le dépérissement forestier. — Besançon : Université de Franche-Comté, 1989 (Thèse de Doctorat).
- LANDMANN (G.), BONNEAU (M.), ADRIAN (M.). — Le Dépérissement du Sapin pectiné et de l'Épicéa commun dans le massif vosgien est-il en relation avec l'état nutritionnel des peuplements ? — *Revue forestière française*, vol. XXXIX, n° 1, 1987, pp. 5-11.
- LOUGUET (P.), MALKA (P.), CONTOUR-ANSEL (D.). — Variations de la résistance stomatique et de la teneur en composés phénoliques de feuilles d'Épicéas soumis à une pollution contrôlée par l'ozone et le dioxyde de soufre en chambres à ciel ouvert. In : Programme DEFORPA. État des recherches à la fin de l'année 1986, vol. 3, 1987, pp. 105-124.
- MACREZ (V.), HUBAC (C.). — Exposure to SO<sub>2</sub> and water stress in *Picea abies* (L.) Karsten. — *Water, Air, Soil Pollution*, vol. 40, 1988, pp. 251-259.
- MENGEL (K.), HOGREBE (A.M.R.), ESCH (A.). — Effect of acidic fog on needle surface and water relations of *Picea abies*. — *Physiologia Plantarum*, vol. 75, 1989, pp. 201-207.
- PERRIER (P.). — Étude de la croissance de l'Épicéa (*Picea abies* L.) sur un échantillonnage du transect 2220 : relations avec le phénomène actuel du dépérissement forestier. — Rapport, Contrat EPR de Franche-Comté, Recherche-Environnement-Dépérissement forestier, 1989, pp. 1-25.
- PERCY (K.E.), BAKER (E.A.). — Effects of simulated acid rain on production, morphology and composition of epicuticular wax and on cuticular membrane development. — *New Phytologist*, vol. 107, 1987, pp. 577-589.
- PIERRE (M.). — Effets non visibles de la pollution des végétaux par le SO<sub>2</sub> : modifications du métabolisme et coût physiologique chez le Haricot (*Phaseolus vulgaris*). — Paris : Université Pierre et Marie Curie, 1984. — pp. 1-127 (Thèse de Doctorat d'État, Sciences naturelles).
- PIERRE (M.), QUEIROZ (O.). — Air pollution by SO<sub>2</sub> amplifies the effect of water stress on enzymes and total soluble proteins of spruce needles. — *Physiologia Plantarum*, vol. 73, 1988, pp. 412-417.
- REHFUESS (K.E.). — Perceptions of forest diseases in Central Europe. — *Forestry*, vol. 60, 1987, pp. 1-11.
- SAULNIER (M.). — Suivi du milieu forestier franc-comtois et étude des paramètres écologiques. — Rapport, Contrat EPR de Franche-Comté, Recherche-Environnement-Dépérissement forestier, 1987. — pp. 1-19.
- SAUTER (J.J.), VOSS (J.U.). — SEM observations on the structural degradation of epistomatal waxes on *Picea abies* (L.) Karst and its possible role in the « Fichtensterben ». — *European Journal of Forest Pathology*, vol. 16, 1986, pp. 408-423.
- SCHMITT (A.). — Analyse du dépérissement forestier le long du transect 2220 à partir de photographies aériennes infrarouge fausses-couleur. — Rapport, Contrat EPR de Franche-Comté, Télé-détection.
- SIEFFERT (A.), QUEIROZ (O.). — Synergistic interaction of drought and SO<sub>2</sub> pollution on the protein pattern of *Picea abies* needles. — *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 27, 1989, pp. 269-274.
- TAVANT (Y.). — Dynamique saisonnière des matières organiques et de l'azote des sols forestiers brunifiés et calcimagnésiques humifères des séquences bioclimatiques du Jura. — Université de Besançon, 1986 (Thèse de Doctorat).
- TUOMISTO (H.). — Use of *Picea abies* needles as indicators of air pollution : epicuticular wax morphology. — *Annales Botanici Fennici*, vol. 25, 1988, pp. 351-364.