

Nom pour BDD:

- **dendroécologie du sapin jurassien**

Nom complet :

- Influence du climat, des facteurs stationnels et de la pollution sur la croissance et l'état sanitaire du Sapin pectiné dans le Jura

Abrégé :

- SapJDe

Résumé :

| |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RESUME --- Didier BERT --- 1992 --- Thèse de l'Université de Nancy I / INRA-Nancy |
| Influence du climat, des facteurs stationnels et de la pollution sur la croissance et l'état sanitaire du Sapin pectiné (<i>Abies alba</i> Mill.) dans le Jura. Etude phytoécologique et dendrochronologique. |

La dégradation de l'état de santé de nombreuses essences forestières, au début des années 80, a suggéré l'intervention possible de facteurs autres que le climat (pollution...) dans les phénomènes de dépérissement. Parmi les recherches engagées au sein du programme national "DEFORPA" (Dépérissement des Forêts et Pollution Atmosphérique), les **études dendroécologiques** étaient destinées à évaluer la responsabilité des conditions naturelles sur le dépérissement. Après les travaux sur le Sapin dans le massif **acide** des Vosges, l'approche dendroécologique a été appliquée au Jura, dans le contexte de sols sur substrat **calcaire**. Nous avons cherché à tester l'hypothèse d'une plus grande sensibilité de certains arbres ou de certaines stations vis-à-vis de stress climatiques, éventuellement aggravée par de mauvaises conditions sylvicoles ou l'intervention de polluants.

Dans un premier temps, l'échantillonnage de **208 placettes de 6 sapins** a permis de réaliser une **typologie des sapinières** sur toute leur aire de répartition dans le Jura. L'analyse de la végétation a mis en évidence les principales unités stationnelles, qui s'individualisent par la combinaison de l'*altitude* et du *bilan hydrique* du site. Les 11 principales unités se rattachent à 6 associations phytosociologiques. Pour des raisons géomorphologiques et phytogéographiques, ces types de station ont une localisation géographique particulière. Leur fertilité moyenne s'échelonne entre 7,7 et 12 m³/ha/an ; elle est principalement conditionnée par les possibilités d'alimentation en eau des arbres et l'altitude. Les sapins à bois dense, de bonne qualité, appartiennent aux stations fertiles, situées entre 750 et 950 m d'altitude, et **la qualité du bois diminue quand l'altitude augmente**. Le dépérissement n'a pas de répercussions fâcheuses sur la qualité du bois.

La sapinière est peu dépérisante dans son ensemble ; le manque d'aiguilles moyen était de 17,9 % en 1989. La perte d'aiguilles et le jaunissement ne sont pas forcément associés. Le jaunissement a été observé sur 40,6 % des sapins et 5,4 % sont presque totalement jaunes. Dans un certain nombre de forêts, le sol a prédisposé les arbres à des **carences minérales**, déclenchées par un autre facteur (sécheresses, pollution) (Bonneau, 1989a). Dans d'autres peuplements, sur des sols superficiels, la défoliation et le jaunissement correspondent à des **difficultés d'alimentation en eau** pendant les périodes de sécheresse, parfois aggravées par une **concurrence trop forte**. L'analyse de la végétation a bien montré que les possibilités d'alimentation en eau constituent le principal facteur limitant de la croissance radiale. Dans le Jura, le jaunissement semble davantage lié aux déficits hydriques que dans les Vosges. La défoliation n'est pas concentrée sur une région particulière du Jura ; par contre, **la moitié sud du massif, surtout le versant ouest, montre des jaunissements plus intenses, ainsi que le Jura suisse au nord de Neuchâtel**. Ces régions sont exposées aux vents dominants susceptibles de transporter des polluants, notamment de l'ozone. Les arbres défoliés présentent une perte d'accroissement proportionnelle au manque d'aiguilles, et ceci dès les faibles défoliations. La différenciation a commencé dans les années 1940, et elle est d'autant plus ancienne que le peuplement est plus âgé. **La perte foliaire semble donc correspondre à la différenciation de statuts sociaux au sein des peuplements ; elle est amplifiée par les stress climatiques**. Les années sèches 1971-72-73 ont davantage marqué les arbres peu vigoureux que les

précédentes sécheresses ; ce qui pourrait confirmer l'hypothèse d'agressions par la pollution atmosphérique depuis une vingtaine d'années.

L'étude des variations des surfaces de cerne de 1248 sapins a montré que l'accroissement annuel moyen à 100 ans équivaut à 1,5 fois celui constaté dans les Vosges. La sapinière, considérée dans son ensemble, a subi **des crises variables en durée et en intensité au cours du 20ème siècle** : 1911, 1917-1925, 1929, 1933-1935, 1944-1950, 1956, 1962-1965 et 1973-1981. La crise de ces dernières années est, du point de vue de la croissance radiale, globalement terminée. Par ailleurs, **la croissance radiale montre une tendance à long terme considérable depuis 1860** ; les surfaces terrières élaborées annuellement sont environ 350 % plus élevées que pendant la première moitié du 19ème siècle. Depuis 1860, les futaies jardinées ont montré une tendance croissante parfaitement régulière. Par contre, les futaies régulières ont subi **un net ralentissement de la tendance depuis 1930**, probablement dû à une fermeture des peuplements. Une amélioration progressive de la sylviculture ne semble pouvoir être que très partiellement responsable d'une partie de la tendance à long terme.

La croissance radiale a été reconstruite à partir de données climatiques. Il ne semble pas y avoir d'agressions directes déprimant la croissance de l'ensemble des peuplements (pollution). En effet, l'équation qui ajuste la croissance sur la période 1885-1960 permet aussi de reconstruire de façon satisfaisante le niveau moyen de croissance observé depuis 1960. Le modèle élaboré a montré qu'un *bilan hydrique* excédentaire est favorable en mai, juin et juillet de l'année en cours, et que les *basses températures* de janvier et février jouent un rôle négatif. **Les arrière-effets du climat des années n-1 à n-6** ont également été pris en compte : la croissance est améliorée par des bilans hydriques favorables en août-septembre, et par un mois d'octobre assez doux. A l'échelle de l'ensemble du massif, **le déterminisme des crises est essentiellement climatique.** La tendance à long terme n'a pas été entièrement reconstruite à l'aide des seules données climatiques, ce qui indique que d'autres facteurs interviennent. Il semblerait que **le gaz carbonique** puisse avoir un rôle direct complémentaire important, en plus de son rôle indirect probable via les facteurs climatiques ("effet de serre"). Le champ d'investigation des recherches sur les sapinières du Jura a ainsi rejoint les thèmes liés à la **modification du climat à l'échelle de l'hémisphère nord** et à ses impacts sur les écosystèmes forestiers.

MOTS CLEFS : *Abies alba*, cerne, climat, CO₂, dépérissement, dendroclimatologie, dendrochronologie, dendroécologie, Jura, modélisation de la croissance radiale, phytoécologie, pollution, production, qualité du bois, Sapin pectiné, sapinière, sécheresse, sylviculture, tendance à long terme, typologie des stations.

Objectif :

- Identifier l'effet des pollutions, des facteurs stationnels et sylvicoles, sur l'état sanitaire et les variations de croissance des sapins jurassiens.

Protocole de prélèvement et d'observation :

Les placettes 1 à 87, situées en France ont été visitées 2 fois : en 1987, dans le cadre du DEA de D. BERT, et en 1989 à l'occasion de sa thèse. Pour cette dernière étude, l'échantillonnage a été abondé de 121 autres placettes réparties en France et en Suisse, numérotées de 101 à 221. En 1989, l'ensemble des placettes a été parcouru du 22 mai au 19 octobre 1989.

● Placettes :

- ✓ 208 placettes de 6 sapins réparties régulièrement sur le massif jurassien et couvrant toute la diversité des situations possibles : géographique, géologique, altitudinale, topographique, sylvicole, âge. On y a relevé les caractéristiques suivantes :
 - Coordonnées MNT relevées sur carte IGN au 1/50000.
 - Altitude en m

- Pente en °
- Exposition définie comme l'angle entre le nord magnétique et la pente du terrain (visée vers l'aval) dans le sens trigonométrique rétrograde, relevé à la boussole et exprimé en degrés.
- Positions topographiques : le code numérique de la thèse, a été converti dans le code alphabétique de la base. La placette 170 sur dépression fermée, notée 6 a été encodée « DF ».

| définition | Code thèse | Code base |
|--------------------|------------|-----------|
| sommet | 1 | S |
| haut de pente | 2 | HP |
| mi-pente | 3 | MP |
| plat | 4 | P |
| bas de pente | 5 | BP |
| dépression ouverte | 6 | DO |
| Dépression fermée | | DF |

- Pente du masque : angle vertical que fait, avec l'horizontale, la ligne joignant le centre de la placette avec la crête du versant opposé, exprimé en degrés.
- Traitement forestier : futaie jardinée = 1, futaie presque jardinée = 2, futaie presque régulière = 3, futaie régulière = 4
- Stations :

| Définition | Code |
|-------------------------------|------|
| Hêtraie à Laïches | 1 |
| Hêtraie à Laïches neutrophile | 2 |
| Hêtraie à Tilleul | 3 |
| Hêtraie à Adénostyle | 4 |
| Hêtraie à Dentaire | 5 |
| Hêtraie-Sapinière mésophile | 6 |
| Hêtraie-Sapinière alticole | 7 |
| Hêtraie-Sapinière neutrophile | 8 |
| Hêtraie à Erable neutrophile | 9 |
| Hêtraie à Erable mésotrophe | 10 |
| Pessière à Doradille | 11 |

● **Arbres :**

- ✓ Sur chaque placette, on a choisi et étudié 6 arbres de la strate arborescente du 22 mai au 19 octobre 1989.

Sur ces 1248 sapins, on a relevé les paramètres suivants:

- Statut social (SapJDe_Ss) :

| Définition | Code |
|-------------|------|
| prédominant | 1 |
| dominant | 2 |
| codominant | 3 |

- Circonférence mesurée à 1,30m (SapJDe_C_1,30)
- Hauteur de la base du houppier en mètre (SapJDe_HbH)
- Hauteur de l'arbre du collet au bourgeon terminal en mètre (SapJDe_H)
- Concurrence en cime évaluée en pourcentage du pourtour du houppier en contact avec les arbres voisins (SapJDe_CC).
- Indice de transparence défini comme le pourcentage de feuillage manquant par rapport au feuillage d'un arbre de référence (SapJDe_It).
- Indice de jaunissement (SapJDe_Jaun) correspondant aux classes de pourcentage de jaunissement du houppier :

| Définition | Code |
|-----------------------|------|
| pas de jaunissement | 0 |
| 1 à 25% du houppier | 1 |
| 26 à 60 % du houppier | 2 |
| 61 à 100% du houppier | 3 |

- Présence et abondance du gui :

| Définition | Code |
|------------|------|
| absent | 0 |
| présent | 1 |
| abondant | 2 |

- Quantité de gourmands (SapJDe_Gou) :

| Définition | Code |
|-----------------------|------|
| absence | 0 |
| peu abondants | 1 |
| moyennement abondants | 2 |
| abondants | 3 |
| très abondants | 4 |

- mesure du couple de torsion en cm/kg (SapJDe_Tor).

- **Données dendrochronologiques :**

- ✓ Sur chacun de ces 1248 sapins, on a effectué des carottages dans une des 2 directions perpendiculaires à la pente.
- ✓ Pour les placettes 1 à 87, on a prélevé une carotte complète en 1987 et une mini - carotte en 1989 pour compléter la série dendrochronologique. Dans le fichier cernes, c'est la deuxième date de carottage qui est indiquée. Pour les placettes 101 à 221, on a prélevé une carotte complète par arbre en 1989.
- ✓ Les cernes ont été mesurés sur les carottes planées au cutter, au 1/100 mm sur une chaîne de mesure informatisée (caméra numérique, chambre claire, table à digitaliser, ordinateur QL). Le dernier cerne mesuré est 1988 car le cerne 1989 est incomplètement développé au moment du carottage. L'épaisseur de la moelle a été mesurée avec les largeurs de cerne. Pour l'intégration dans la BDD, elle a été extraite pour être codée en distance à la moelle (Dm). Pour « rentrer » dans les 256 colonnes du tableau excel 2003 initial, les carottes 75_4,5,6 ont été amputées de 6 cernes et les 186_5 et 6 de 3 cernes vers la moelle.
- ✓ Paramètres :

- Intégrité des carottes mesurées: carottes incomplètes codée 1, carottes complètes codées 2.
- Presque toutes les carottes de 1987 ont été trempées dans l'acide perchlorique pour mettre l'aubier en évidence sauf pour les carottes 5_7 et 5_8, 11_7 et 11_8, 25_7,
- Carottes faites en 1989 : complètes et non traitées : 29_1,2,3,4,5,6 / 30_1,2,3,4,5,6 / 31_1,2,3,4,5,6 / 32_1,2,3,4,5,6 / 37_1,2,3,4,5,6 / 40_1,2,6 / 63_7 / 66_7,8 / 80_7,8 / 81_7,8,9 /

● **floristique :**

- ✓ Les espèces sont désignées dans la base par le référentiel de la BDNFF5 pour les spermaphytes, et la BDNBE1 pour les Hepaticophyta et les Bryophyta. 7 strates ont été utilisées :

| Dénomination strate | définition | code |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| arborescente | Ligneux >7m | A |
| arbustive | Picea abies et Abies alba > 50cm et <7m | a |
| arbustive-herbacée | Ligneux < 7m | a/h |
| arbustive-herbacée-germination | Picea abies et Abies alba en strate arbustive et herbacée et parfois au stade plantule. | a+h+(g) |
| germination | Ligneux au stade plantule | g |
| herbacée | Spermaphyta < 50cm | h |
| mousse | Hepaticophyta et Bryophyta humicole | m |

Publications :

Liste des publications « Jura »

BERT Didier

8 janvier 2013

I. REVUES SCIENTIFIQUES A COMITÉ DE LECTURE

Rubrique scientifique

1. Bert D., Becker M., 1990. Vitalité actuelle et passée du sapin (*Abies alba* Mill.) dans le Jura. Étude dendroécologique. *Annales des Sciences Forestières* 47, 395-412. [\[PDF\]](#)
2. Bert D., 1992. Les principaux types de sapinières (*Abies alba* Mill.) dans le massif du Jura (France et Suisse). Étude phytocéologique. *Annales des Sciences Forestières* 49, 161-183. [\[PDF+ tableau phytosocio JPG\]](#)
3. Bert D., 1992. Production du Sapin pectine et qualité de son bois sur les types de stations dans le Jura français et suisse. *Revue Forestière Française* 44, 5, 415-429.
4. Bert D., 1993. Impact of ecological factors, climatic stresses and pollution on growth and health of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the Jura mountains: an ecological and dendrochronological study. *Acta Oecologica* 14, 2, 229-246. [\[PDF\]](#)
5. Becker M., Bert D., Bouchon J., Picard J.F., Ulrich E., 1994. Tendances à long terme observées dans la croissance de divers feuillus et résineux du nord-est de la France depuis le milieu du 19ème siècle. *Revue Forestière Française*, 46, 4, 335-341. [\[PDF\]](#)
6. Bert D., Leavitt S.W., Dupouey J.L., 1997. Variations of wood $\delta^{13}C$ and water-use efficiency of *Abies alba* during the last century. *Ecology* 78, 5, 1588-1596. [\[PDF JSTOR\]](#)
7. Dupouey J.-L., Becker M., Bert D., Cadel G., Lefèvre Y., Picard J.-F., Thimonier A., 1998. Evolution récente des sols, de la végétation et de la productivité des forêts de montagne françaises. *Ecologie*, 29, 1-2, 341-349. [\[PDF\]](#)
8. Lenoir J., Gégout J.-C., Dupouey J.-L., Bert D., Svenning J.-C., 2010. Forest plant community changes during 1989-2007 in response to climate warming in the Jura Mountains (France and Switzerland). *Journal of Vegetation Science*, , 21, , 949-964. [\[PDF\]](#)

II. REVUES SCIENTIFIQUES SANS COMITÉ DE LECTURE

Rubrique scientifique

Bert D., 1992. Influence du climat, des facteurs stationnels et de la pollution sur la croissance et l'état sanitaire du Sapin pectiné dans le Jura (France et Suisse). In: La santé des forêts (France) en 1992, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DERF - Département de la santé des forêts), 57-60. [PDF](#)

III. CHAPITRES D'OUVRAGES

Rubrique scientifique

- Landmann G., Bert D., Pierrat J.C., Becker M., Bonneau M., Souchier B., 1995. Crown damage in Norway spruce and Silver fir: relation to site and stand factors in the French mountains. Pages 82-119 in: G. Landmann and M. Bonneau (eds). Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains. Springer, Berlin Heidelberg New York. 461 p. [\[PDF\]](#)
- Becker M., Bert D., Landmann G., Lévy G., Rameau J.C., Ulrich E., 1995. Growth and decline symptoms of Silver fir and Norway spruce: relation to climate, nutrition and silviculture. Pages 120-142 in: G. Landmann and M. Bonneau (eds). Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains. Springer, Berlin Heidelberg New York. 461 p. [\[PDF\]](#)
- Becker M., Bert D., Bouchon J., Dupouey J.L., Picard J.F., Ulrich E., 1995. Long-term changes in forest productivity in northeastern France: the dendroecological approach. Pages 143-156 in G. Landmann and M. Bonneau (eds). Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains. Springer, Berlin Heidelberg New York. 461 p. [\[PDF\]](#)
- Becker M., Bert D., Bouchon J., Picard J.F., Ulrich E., 1995. Growth trends in various broadleaved and coniferous trees in Northeastern France from the mid 19th century. . Pages 35-48 in "Functioning and dynamics of natural and perturbed ecosystems". Proc. 6th European Ecological Congress. Marseille. 1992/09/07-12. Eds. D. Bellan-Santini, G. Bonin, C.C. Emig. Lavoisier Publishing, Paris, 819 p. [\[PDF\]](#)
- Badeau V., Becker M., Bert D., Dupouey J.-L., Lebourgeois F., Picard J.F., 1996. Long-term growth trends of trees: ten years of dendrochronological studies in France. In « Growth trends in European forests ». Spiecker H., Mielikäinen K., Köhl M. and Skovsgaard J.P. Eds. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. European Forest Institute Research Report 5, 167-181. [\[PDF\]](#)

IV. DIPLÔMES

Rubrique scientifique

- Bert D., 1988. Étude dendroécologique du dépérissement du Sapin dans le Jura. Diplôme d'Études Approfondies en Biologie Végétale et Forestière. Université de Nancy I., 60 p. + annexes.
- Bert D., 1992. Influence du climat, des facteurs stationnels et de la pollution sur la croissance et l'état sanitaire du Sapin pectiné (*Abies alba* Mill.) dans le Jura. Étude phytoécologique et dendrochronologique. Thèse de l'Université de Nancy I., 200 p. + annexes.

V. COMMUNICATION A DES CONGRES

Rubrique scientifique

- Becker M., Bert D., Nieminen T., 1989. Apport des études dendroécologiques en 1988. In : Journées de travail DEFORPA, Nancy / Paris (France), 1989/02/23, 1989/03/02-03, Vol. 1, 3.3.1.-3.3.19. [\[PDF\]](#)
- Becker M., Bert D., Bouchon J., Girompaire L., Lévy G., Muhl N., Picard J.F., Rameau J.C., Ulrich E., 1991. Santé et productivité actuelles et passées des écosystèmes forestiers : les apports de la dendroécologie. In : Journées de travail DEFORPA : le bilan, Pulnoy (54), 1991/10/08-10. [\[PDF\]](#)

Poster

- Bert D., 1992. Silver fir (*Abies alba* Mill.) shows an increasing long term trend of ring width in the Jura mountains (France and Switzerland). International Dendrochronological Symposium "Tree Rings and Environment", Lund (Sweden), 1990/09/03-09, Lundqua Report 34, 27-29. [\[PDF\]](#)
- Dupouey J.L., Bert D., Leavitt S.W., Becker M., 1995. Utilisation des isotopes stables du carbone dans les cernes du bois comme bio-indicateurs des variations environnementales. Colloque INRA "Utilisation des isotopes stables pour l'étude du fonctionnement des plantes. 16-17 décembre 1993, INA-PG Paris. Ed. INRA, Les Colloques n° 70, 103-113. [\[PDF\]](#)
- Guehl J.M., Picon C., Dupouey J.L., Bert D., Fehri A., Aussenac G., 1995. Water-use efficiency and carbon isotope discrimination in forest trees in relation to climate change and increasing CO₂. International Symposium "Response of trees and forests to global change". Dourdan, France, 19-22 Octobre 1994. [\[PDF\]](#)
- Guehl J.-M., Picon C., Dupouey J.-L., Bert D., Ferhi A., 1996. Carbon isotope discrimination in forest trees in relation to rising atmospheric CO₂. European Stable Isotope Meeting III CRPG - Nancy, France, September 30/ October 1 1996. [\[PDF\]](#)

Poster

Bert D., Leavitt S.W., Dupouey J.L., 1998. Long-Term increasing WUE revealed by $\delta^{13}\text{C}$ in tree-rings. International Seminar on « Causes and consequences of accelerating tree growth in Europe ». Nancy 18-19 mai 1998. [\[PDF\]](#)

Lenoir J., Gégout J.-C., Dupouey J.-L., Bert D., 2008. Changes in forest plant communities with recent climate warming in Jura Mountains (France, Switzerland). 51st Annual Conference of the International Association of Vegetation Science (IAVS). Stellenbosch, South Africa, 7-12 September 2008. Communication et résumé (JC Gégout).

VI. RAPPORTS

Rubrique scientifique

Becker M. et al., 1991. Incidence des conditions climatiques, édaphiques et sylvicoles sur la croissance et la santé des forêts. Étude dendroécologique du Sapin dans le Jura. In : Landmann G. (ed), Les recherches en France sur le dépérissement des forêts. Programme DEFORPA 2e rapport. Ed. ENGREF Nancy, 25-43. [\[PDF\]](#)

Becker M. et al., 1991. Impact of climate, soil and silviculture on forest growth and health. In : French research into forest decline. DEFORPA programme. 2nd report. Landmann G. (ed), ENGREF Nancy, 23-38. [\[PDF\]](#)

Becker et al., 1991. Étude dendroécologique du Sapin dans le Jura. In : Pollution acide et dépérissement des forêts dans les montagnes françaises. Rapport scientifique annuel CEE DG XII/INRA n° EV 4V 0014 F. INRA-Nancy, 13 p.

Landmann G., Becker M., Bert D., 1992. Relations avec les types de peuplements et la sylviculture dans les Vosges et le Jura. In : Pollution acide et dépérissement des forêts dans les montagnes françaises. Rapport scientifique final CEE DG XII/INRA". Landmann et Bonneau (Eds). 2 p [\[PDF\]](#)

Becker M., Bert D., Bouchon J., Picard J.F., Ulrich E., 1993. La croissance radiale des peuplements. Etudes dendroécologiques. In : Pollution acide et dépérissement des forêts dans les montagnes françaises. Programme DEFORPA Rapport 1992. 2 p. [\[PDF\]](#)