



HAL
open science

Forêts, climat et météores

Gilbert Aussenac, Jean Pardé

► **To cite this version:**

Gilbert Aussenac, Jean Pardé. Forêts, climat et météores. Revue forestière française, 1985, 37 (Spécial), pp.83-104. <10.4267/2042/21857>. <hal-03423837>

HAL Id: hal-03423837

<https://hal.science/hal-03423837v1>

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.



HAL Authorization

FORÊTS, CLIMAT ET MÉTÉORES

La bonne — ou la mauvaise — santé d'une forêt, sa stabilité — ou son instabilité — dépendent pour une bonne part des facteurs du climat local : qu'il s'agisse de leurs valeurs, disons « habituelles », ou des accidents climatiques à caractère exceptionnel qui frappent davantage l'attention. Nous nous proposons de passer en revue successivement les uns et les autres, en essayant de mettre en évidence leur rôle, et leurs impacts économiques.

LES FACTEURS DU CLIMAT « HABITUEL »

L'eau et les déficits hydriques

L'eau constitue, même dans les pays à climats relativement humides comme la France, le facteur climatique le plus important pour la production forestière. En dehors des sécheresses catastrophiques entraînant des mortalités importantes (voir page 92), des sécheresses moins fortes peuvent perturber le fonctionnement des arbres, et entraîner des baisses de croissance.

Les déficits hydriques affectent la physiologie de l'arbre à plusieurs niveaux, notamment :

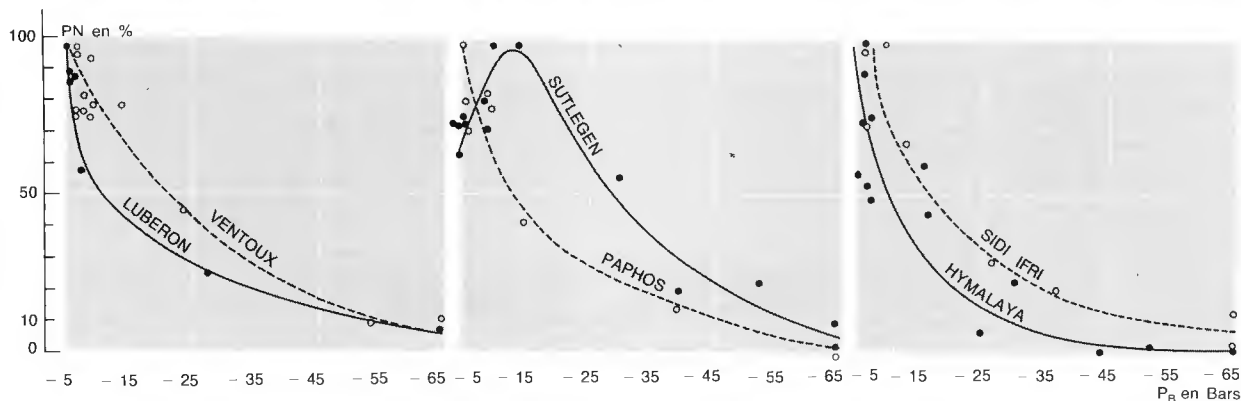
— La photosynthèse, par une augmentation des résistances à la diffusion du CO_2 depuis l'atmosphère jusqu'aux sites de carboxylation. On commence maintenant à connaître les niveaux de contraintes hydriques (potentiel hydrique) ⁽¹⁾ qui arrêtent l'assimilation

(1) Potentiel hydrique : état de l'eau dans un milieu. Pour ce qui concerne les arbres, le potentiel hydrique peut varier de - 2 bars à - 60 bars, selon les niveaux de sécheresse. Le potentiel hydrique de l'arbre mesuré en fin de nuit est appelé potentiel de base.

**G. AUSSENAC
J. PARDÉ**

**regards
sur la santé
de nos
forêts**

Figure 1 : Evolution de la photosynthèse (P_N en % du maximum) en fonction du potentiel hydrique (P_B) pour différentes espèces ou provenances de Cèdres : *Cedrus atlantica* (Ventoux, Lubéron, Sidi Ifri) ; *Cedrus libani* (Sutlegen) ; *Cedrus brevifolia* (Paphos) ; *Cedrus deodara* (Himalaya).
D'après Aussenac et Finkelstein, 1983.



photosynthétique (tableau I). Des différences importantes existent selon les essences expliquent en partie des réponses plus ou moins « performantes » à la sécheresse (figure 1).

— La croissance au niveau du cambium et des méristèmes apicaux (effets sur la croissance et la multiplication cellulaire). Il semble que, d'une part, et d'une façon générale, l'arrêt de la croissance intervient avant l'arrêt de la photosynthèse, ce qui a pour conséquence d'accumuler des assimilats (notamment au niveau racinaire), qui seront disponibles dès le retour à des conditions hydriques favorables ; et que, d'autre part, l'arrêt de la croissance en circonférence soit plus précoce (– 4 à – 5 bars) que celui de la croissance en hauteur (entre – 10 et – 20 bars). La baisse de la fixation du carbone peut aussi être occasionnée par une limitation de l'accroissement des surfaces foliaires, et par l'accélération de la sénescence et de la chute des feuilles.

Les variations journalières et saisonnières de l'état hydrique interne des arbres, en relation avec les conditions générales d'alimentation en eau, entraînent des fluctuations, notamment au niveau de la

Tableau I

Niveau de stress hydrique correspondant
à l'arrêt de la photosynthèse nette chez quelques résineux

(d'après G. Aussenac et D. Finkelstein, 1983)

Espèces	Potentiel de base ⁽¹⁾ P _B (bars)
<i>Cedrus atlantica</i>	– 60
<i>Cedrus libani</i>	– 60
<i>Cedrus brevifolia</i>	– 50
<i>Cedrus deodara</i>	– 30
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	– 32
<i>Quercus robur</i>	– 32
<i>Quercus petraea</i>	– 35
<i>Quercus rubra</i>	– 45

(1) Evalué en fin de nuit (avant toutes mesures de photosynthèse).

circonférence : il existe une rétraction journalière et aussi, le cas échéant, une rétraction saisonnière si la sécheresse est forte. La figure 2 montre, pour le Douglas vert, l'évolution comparée de la croissance en circonférence de deux arbres, l'un bien alimenté en eau, et l'autre soumis à une sécheresse. Chez ce dernier, après l'arrêt de l'arrosage, la rétraction de la circonférence du tronc intervient dès que le potentiel hydrique de base descend à -3 bars ; elle se poursuit avec l'augmentation de la sécheresse, et se stabilise à un potentiel hydrique de base de -12 bars. Après irrigation, on retrouve les dimensions de départ, et la croissance reprend.

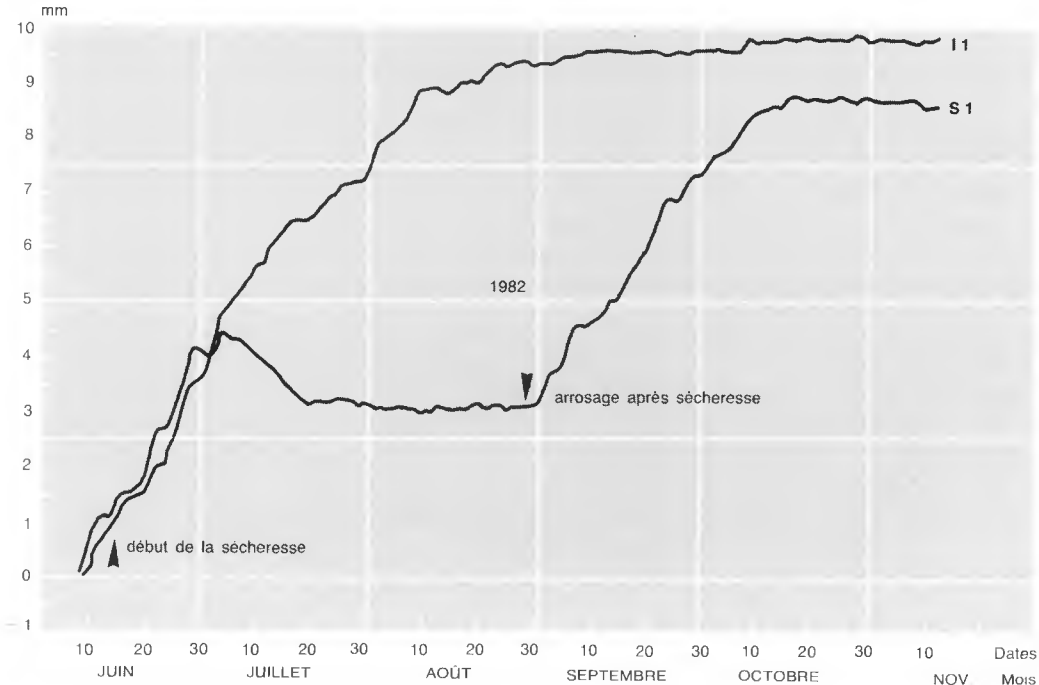


Figure 2 : Evolution de la croissance en circonférence du tronc de deux Douglas, l'un arrosé (I₁), l'autre (S₁) soumis à une sécheresse, puis arrosé.
D'après Aussenac, Granier et Ibrahim, 1984.

Les conséquences d'une sécheresse peuvent varier suivant son importance et sa durée, sa place en saison, et aussi suivant l'espèce.

D'une façon générale, la croissance en circonférence est affectée par les conditions hydriques de l'année en cours ; mais on constate que la situation de fin d'été et d'automne joue aussi un rôle déterminant, et peut permettre, selon les cas, un « rattrapage » immédiat dans le cadre de la croissance en cours, ou retardé à l'année suivante.

Pour la croissance en hauteur, le rôle de l'espèce est très déterminant :

— Chez les espèces à période de croissance en hauteur brève (cas du Sapin), ce sont les conditions hydriques de l'année précédente qui sont surtout déterminantes.

— Chez les espèces à période de croissance longue, ou à plusieurs cycles de croissance, ce sont à la fois les conditions de l'année précédente, et les conditions de l'année en cours, qui interviennent. D'une façon générale, on constate que les conditions d'alimentation en eau de la fin de l'été et de l'automne jouent un rôle important pour la croissance, aussi bien en circonférence qu'en hauteur, de l'année qui suit.

La température

La température est un facteur capital pour la répartition des espèces et la vie des arbres. Dans nos régions à climat tempéré, les variations de température sont en grande partie responsables des alternances d'activité et de repos de la végétation ; les phénomènes de foliaison, croissance (de la partie aérienne et du système racinaire), floraison, fructification, et germination, ne peuvent se bien dérouler qu'en conditions thermiques favorables. Les extrêmes thermiques ont tout d'abord un effet limitant pour l'existence des différentes espèces.

La foliaison et la croissance des arbres ne peuvent se réaliser tant que la température n'atteint pas des seuils limites, par exemple : 4,1°C chez *Picea abies*, 5,2°C chez *Abies alba*, 5,8°C chez *Pseudotsuga menziesii*, 6,2°C chez *Abies nordmanianna* et 6,6°C chez *Cedrus atlantica*.

La croissance racinaire de nombreuses espèces tempérées n'est aussi possible que si le sol a une température qui dépasse 2 à 4°C.

L'activité photosynthétique est elle aussi en partie réglée par la température. On sait en effet qu'il existe un optimum thermique de la photosynthèse nette qui varie selon les espèces. A l'intérieur d'une même espèce, existent des variations liées à la provenance. C'est ainsi que chez le Cèdre, on a pu déceler une relation entre l'optimum thermique et l'altitude d'origine de la provenance ou de l'espèce.

Chez les résineux, l'activité photosynthétique est en général nulle en dessous de - 3°C. Différentes études (Guehl, 1982 ; Guehl et al., 1985) montrent qu'une activité photosynthétique hivernale est possible, même dans des régions réputées à climat difficile, comme l'Est de la France. Dans les régions à hiver doux (Midi Méditerranéen, Sud-Ouest, Ouest), l'assimilation photosynthétique hivernale constitue même une part non négligeable de la fixation annuelle de carbone. Un hiver rude est alors un facteur certain de moindre production ligneuse ultérieure.

Enfin, en plus de son action « de routine » sur les mécanismes du fonctionnement physiologique de l'arbre, la température peut avoir une action « d'exception » en détruisant tout ou partie de l'arbre (voir plus loin).

• Les extrêmes de froid

En ce qui concerne le froid, trois périodes sont à considérer : le printemps, en relation avec le débourrement et la mise à fleurs, l'automne au moment de l'aouètement, et l'hiver.

Au printemps, la plupart des études effectuées sous nos climats montrent que la sensibilité des bourgeons en cours de débourrement se situe à des températures voisines de - 4°C. Les fleurs sont, elles, sensibles aux gelées de l'ordre de - 2 à - 3°C (tableau II). Il convient d'ajouter que des températures de 0°C, mesurées sous abri météorologique, correspondent à des températures au niveau des bourgeons ou des fleurs de l'ordre de - 3 à - 4°C ; ceci revient à dire que des températures de 0°C sous abri occasionnent déjà des dégâts de gelée.

Des possibilités importantes de dégâts, par gelées tardives, existent en France, notamment chez le Sapin pectiné, le Douglas et l'Epicéa. Les études effectuées (Aussenac, 1973) font apparaître des risques variables selon les régions (tableau III).

Pour les éviter, on utilisera du matériel végétal tardif, ou des traitements sylvicoles adaptés susceptibles de limiter l'abaissement local de température (Aussenac, 1975).

Les gelées d'automne sont en général beaucoup moins dommageables, et ne concernent guère que les espèces introduites à longue saison de végétation.

La tolérance des tissus végétaux au froid varie en cours d'année (figure 3) : faible pendant la saison de végétation, elle augmente rapidement à l'automne et au début de l'hiver, pour baisser à nouveau au printemps. A l'automne, sous des températures de + 5°C à 0°C, les arbres atteignent le premier stade

Tableau II Exemples de températures occasionnant des dégâts aux fleurs

<i>Acer pseudoplatanus</i>	- 2 à - 3 °C
<i>Quercus robur</i>	- 2 à - 3 °C
<i>Fraxinus excelsior</i>	- 2 °C
<i>Pseudotsuga menziesii</i> :	
— fleurs mâles	- 3 °C
— fleurs femelles	- 2 à - 3 °C
<i>Fagus sylvatica</i> :	
— fleurs mâles	- 1,0 °C
— fleurs femelles	- 1,4 à - 3,0 °C

Tableau III Nombre d'années de risques certains de dégâts de gelées (température ≤ 0 °C) sur 100 ans pour le Sapin pectiné, le Douglas et l'Epicéa commun (d'après G. Aussenac, 1973)

Stations	Sapin pectiné (*)	Douglas (*)	Epicéa commun (*)
Saint-Quentin		16,0	9,5
Château-Chinon	7,5	4,5	4,5
Langres	5,5	2,0	0,0
Nancy	39,0	22,0	12,0
Besançon	25,0	14,0	3,0
Bourg-Saint-Maurice	8,0		
Gourdon	74,0	56,0	33,0
Limoges	91,5	76,0	55,5
Bourges		20,5	13,0
Orléans		24,0	13,0
Rennes	45,0	28,5	7,0
Le Mans	84,5	70,0	47,5
Poitiers	47,0	28,5	15,5

(*) Débournement correspondant à des sommes de température de 490 degrés pour le Sapin, 540 degrés pour le Douglas et 600 degrés pour l'Epicéa.

d'endurcissement qui leur permettra de résister ensuite aux premiers froids modérés. Dans cette première phase, les sucres et d'autres substances de protection s'accumulent dans le protoplasme. La teneur en eau des cellules baisse, et les vacuoles se subdivisent en plusieurs vacuoles plus petites. A ce stade, le végétal est préparé pour une nouvelle phase qui intervient pour des températures de - 3 à - 5°C. A ce moment, les structures membranaires et les enzymes sont réorganisés de telle façon que les cellules peuvent résister à toute extraction d'eau par formation de glace. Ainsi, des froids progressifs et continus induisent un complet endurcissement du végétal.

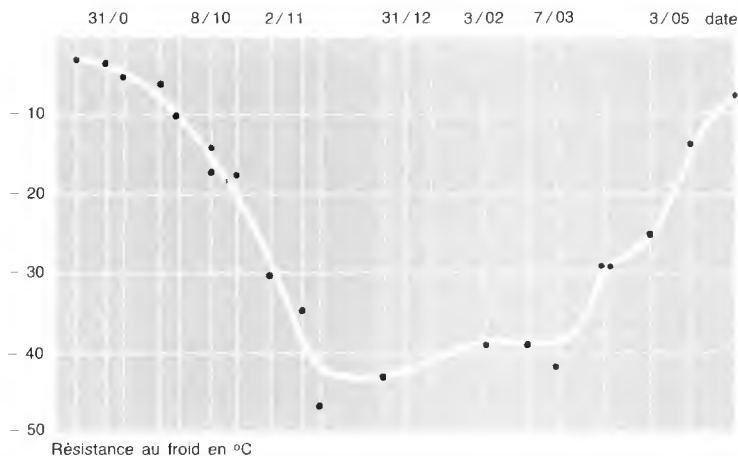


Figure 3 : Variation saisonnière de la résistance au froid de feuilles de Pin cembro.

Redessiné d'après Pisek et Schiessel, 1947, in W. Tranquillini, 1979.

On estime que la tolérance au froid s'accroît rapidement en un ou deux jours, le plein effet étant atteint en 5 ou 10 jours. Il y a lieu de remarquer que c'est seulement sous les climats normalement doux que de soudaines vagues de froid risquent de « surprendre » les végétaux non encore suffisamment « endurcis » par un refroidissement hivernal antérieur.

La résistance au froid est variable selon les types de tissus. D'une façon générale, bourgeons et feuilles sont moins résistants que bois et cambium. Ainsi, chez *Acer pseudoplatanus*, alors que les bourgeons ne résistent qu'à -20°C , le cambium est indemne jusqu'à -50°C . Il en est de même chez *Abies alba* : température limite -27°C pour les bourgeons, contre -80°C pour le cambium (figure 4).

On estime que les arbres adultes sont plus résistants au froid que les jeunes plants ou semis.

Les effets nocifs des basses températures se manifestent soit par la mort partielle ou totale des organes végétatifs et reproducteurs des arbres, soit par des dégâts d'ordre mécanique ou physiologique.

Le tableau IV donne, pour quelques essences, les minima de température occasionnant des débuts de dégâts. Dans les régions au nord de la Loire, les espèces indigènes sont rarement gravement endommagées par les grands froids, car les minima thermiques franchissent rarement -20°C à basse altitude (voir tableau annexe 1).

Dans les régions méridionales qui se caractérisent par des climats de transition (méditerranéens et atlantiques), les accidents liés à des vagues de froid hivernales peuvent être beaucoup plus catastrophiques, en relation avec le niveau moindre de résistance aux froids des espèces, et leur manque d'endurcissement (voir plus loin).

Plus classiquement, la détérioration mécanique la plus apparente due au froid est la gélivure, qui est très fréquente chez les Chênes, les Châtaigniers, possible chez le Frêne, l'Aulne glutineux, les Tilleuls, le Sapin pectiné, très rare chez les autres essences (Perrin, 1963 ; Venet, 1974).

On attribue à un effet physiologique du froid la lunure des Chênes, et le cœur rouge du Hêtre.

• Les extrêmes de chaleur

Les arbres et arbustes de nos régions sont susceptibles de supporter des températures très élevées de l'ordre de 55 à 60°C (figure 4). Sous nos climats, les maxima de température dépassent rarement 40°C (tableau annexe 1). On peut donc penser que les grandes chaleurs ont un effet limité sur la végétation ; effet qui ne devient dommageable que lorsque s'y ajoute l'influence forte de la sécheresse. Il faut

Tableau IV Minimum de températures hivernales occasionnant des débuts de dégâts

<i>Pinus halepensis</i>	- 6 °C
<i>Pinus pinea</i>	- 11 °C
<i>Quercus ilex</i>	- 13 °C
<i>Cupressus sempervirens</i>	- 14 °C
<i>Pinus pinaster</i>	- 20 °C
<i>Abies alba</i>	- 30 °C
<i>Quercus robur</i>	- 30 °C
<i>Quercus petraea</i>	- 30 °C
<i>Fagus silvatica</i>	- 30 °C
<i>Picea abies</i>	- 38 °C
<i>Pinus cembra</i>	- 42 °C

(Sources diverses.)

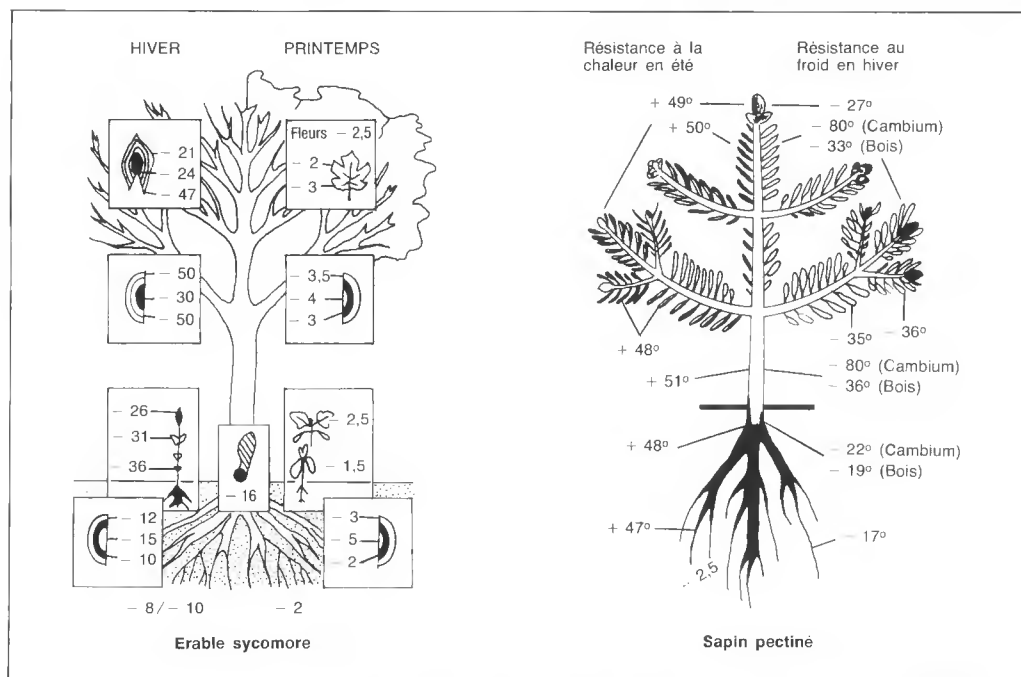


Figure 4 : Résistance au froid et à la chaleur de différents organes végétaux : froid en hiver et au printemps pour l'Erable sycomore (*Acer pseudoplatanus* L.), froid en hiver et chaleur en été pour le Sapin pectiné (*Abies alba* L.).

D'après Larcher, 1975 ; Larcher et Bauer, 1981.

cependant considérer le cas particulier, et beaucoup plus difficile, des semis ou des plantations à enracinement superficiel et insuffisant. Ils vivent dans une zone (proximité de la surface du sol) où la température peut être beaucoup plus élevée (de 4 à 5°C) que la température de l'air mesurée sous abri.

Il est possible que, dans ce cas, lors de phases de sécheresse, les fortes températures soient responsables de mortalités importantes.

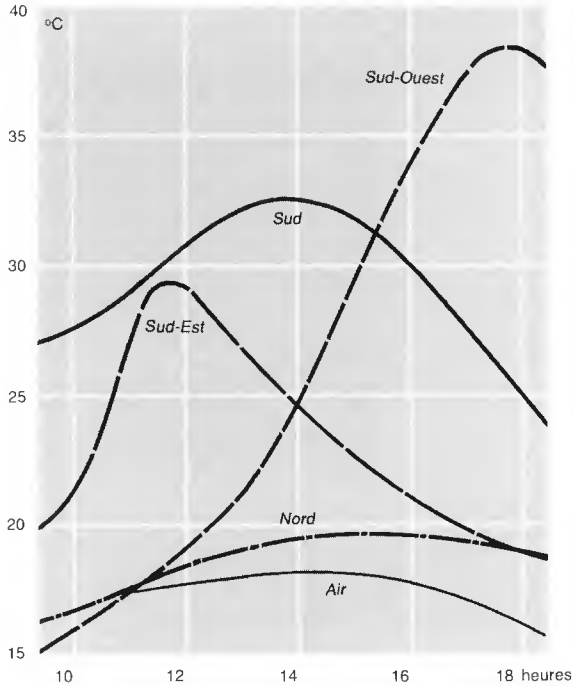


Figure 5 : Variation horaire de la température de l'air et de la température de l'écorce chez *Picea sitchensis* pour une journée (2/07/1951 au Danemark) suivant l'exposition.

D'après N. Haarlov et B.B. Petersen, in R. Geiger, 1975.

Chez certains arbres adultes à écorce fine (Hêtre, Sapin, Epicéa), on peut constater des phénomènes appelés « coup de soleil » sur les troncs exposés au rayonnement solaire direct (figure 5). C'est aussi aux effets conjugués de la température et de la sécheresse que l'on peut attribuer la présence de fentes du tronc chez l'Epicéa commun et le Sapin de Vancouver.

Le vent

Le vent constitue aussi un facteur climatique important, souvent déterminant pour la vie de la forêt, par les variations de température et d'humidité qu'il peut entraîner, mais aussi par son action physiologique et mécanique directe sur la végétation forestière.

La forêt exerce du reste une action sur la vitesse du vent, d'autant plus marquée que son couvert est dense. La vitesse du vent varie avec la hauteur par rapport au sol, en relation avec la distribution des masses végétales. Les éclaircies, en réduisant l'importance du couvert, ont pour conséquence de l'accélérer. Dans les trouées, il peut exister des turbulences, responsables de dégâts importants de chablis.

Le vent a une action directe ou indirecte sur la transpiration et la photosynthèse. En diminuant la résistance au transfert de la vapeur d'eau dans la couche limite entourant les feuilles, il favorise l'évaporation. Il influence aussi la température des feuilles en augmentant les échanges convectifs. L'augmentation de la vitesse du vent affecte l'humidité de l'air, accélère les pertes en eau ; mais elle peut aussi induire une fermeture des stomates, en relation avec un dessèchement de la surface des feuilles. Ainsi, les effets du vent sur la transpiration peuvent varier selon les espèces (figure 6).

Alors que des vitesses croissantes diminuent la transpiration chez l'Epicéa et le Pin cembro, elles l'augmentent chez le Mélèze et l'Aulne vert. On observe des phénomènes identiques pour la photosynthèse (figure 7). De toute façon, il semble qu'une augmentation de la vitesse du vent au-delà de 15 m/s se traduise par une baisse de la transpiration et de l'assimilation photosynthétique.

D'une façon générale, on admet que la diminution de la vitesse du vent à l'abri d'un rideau brise-vent ou d'un peuplement forestier a pour conséquence une amélioration locale des conditions microclimatiques, et de la production végétale.

Lorsque la vitesse du vent devient régulièrement importante, les effets physiologiques et mécaniques induisent des cimes dissymétriques, et de plus les arbres sont d'autant moins grands qu'ils sont plus près des lisières. En altitude, ou près des côtes, le vent, combiné à d'autres facteurs, peut même interdire tout développement de la végétation forestière. De façon classique, on constate que la forêt existe à des altitudes plus élevées dans les zones protégées que dans celles très exposées aux vents dominants. Le vent a aussi des effets mécaniques, qui sont très variés : effets de frottements répétés

Forêts, climat et météores

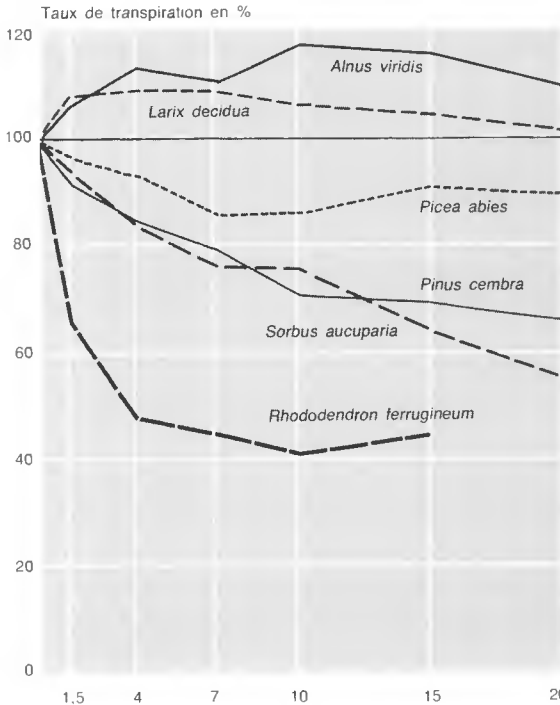


Figure 6 : Transpiration de semis en pots en conditions constantes (éclairage 30 000 lux ; température de l'air 20°C ; température du sol 15°C ; déficit de saturation de l'air 12 mb) pour des vitesses croissantes du vent.

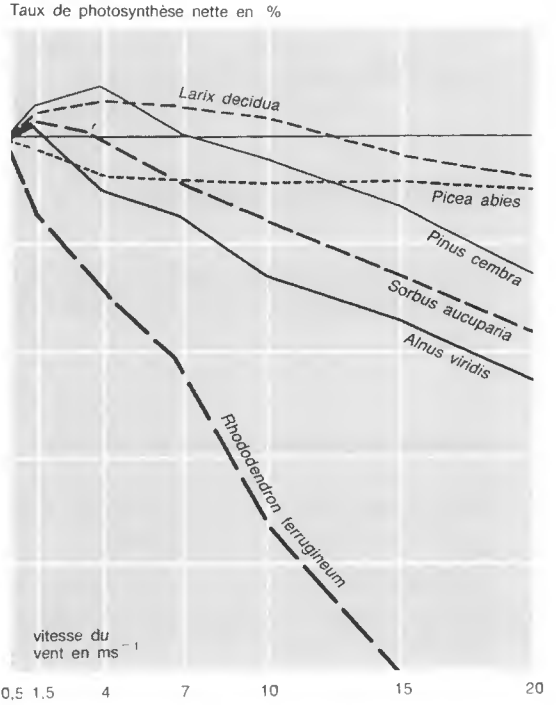


Figure 7 : Photosynthèse nette de plants en pots pour des vitesses croissantes de vent. (Conditions de mesure : éclairage 30 000 lux ; température de l'air 20°C ; température du sol 15°C ; déficit de saturation du sol 12 mb ; concentration de l'air en CO₂ 300 µ l l⁻¹).

D'après W. Tranquillini, 1979.

due aux particules de sable (dunes) ou de neige, bris de feuilles, de branches, chablis, lorsque la vitesse devient très importante (voir pages 96-97).

Globalement, on admet que certaines espèces (tableau V) ont un meilleur comportement au vent que d'autres, bien que, selon les situations et l'âge, les phénomènes puissent différer.

Tableau V Résistance au vent des principales espèces forestières françaises (d'après Perrin, 1963)

Résistance		Espèces
Physiologique	Mécanique	
Bonne	Bonne	Chênes, grands Erables, Ormes, Mélèze, Sapin pectiné, Pin maritime, Pin d'Alep, Pin cembro, Pin à crochets
Bonne	Médiocre	Aulnes, Tremble, Pin Sylvestre, Pins laricio, Epicéa
Médiocre	Médiocre	Hêtre, Frêne, Bouleaux

Un autre effet sûrement important, mais trop mal connu, est la rupture des racines à la suite de vents violents. Ces phénomènes sont probablement à l'origine d'infection par des champignons parasites occasionnant à terme la mort des arbres.

LES GRANDES CATASTROPHES

On dit souvent de tel ou tel grand désordre climatique, pour le classer en tête de sa catégorie, qu'il est le premier du genre « de mémoire d'hommes ».

Mais les hommes ont la mémoire courte, et l'ordre normal des climats n'est pas à leur échelle.

Grandes sécheresses et grandes chaleurs

Grandes sécheresses et grandes chaleurs coïncident souvent, et c'est dans ce cas du reste, qu'elles sont véritablement nuisibles aux forêts.

Les traces écrites en existent depuis l'année 1137, où, dans les régions septentrionales et centrales de la France, une terrible sécheresse dura sept mois (de mars à septembre), accompagnée en juillet et août de chaleurs excessives.

« Années d'exception »... dont il est une dizaine par siècle, et par exemple (Garnier, 1967) (voir aussi annexe 1) :

- 1540** — « La chaude année » ou « l'année de la soillié » (sécheresse).
- 1676** — « Aucune pluie ne tombe en Haute-Marne entre le 15 février et le début novembre, sauf une journée en juillet ; toutes les rivières sont tarées ».
- 1719** — Une des années les plus sèches et les plus chaudes qu'on ait encore vues en France ; « la terre est desséchée comme de la cendre, pas de pluie dans le centre, sauf un orage, du 25 mars au 1^{er} novembre ».
- 1859** — Le mois de juillet est celui qui a eu la plus forte moyenne thermique du XIX^e siècle : les maxima ont atteint 36° à Paris et à Lyon, 41° à Montpellier.
- 1921** — Année de sécheresse sans précédent dans le Centre et l'Est de la France, la pluviosité annuelle à Paris (278 mm) n'atteint pas la moitié de la valeur normale.
- 1923** — En août sont notés les plus forts maxima de température jamais observés en France, par exemple 40° à Clermont-Ferrand et 44° à Toulouse ; parallèlement, sécheresse remarquable.

etc... etc... sans oublier bien sûr l'année 1976, probablement exceptionnelle à l'échelle du siècle.

Quelles sont les conséquences forestières de ces années terribles ?

Nous ne reviendrons pas sur l'année 1976, bien connue encore des forestiers d'aujourd'hui (Monnier, 1976 ; Aussenac, 1978).

Pas plus que nous n'évoquerons ces enfants des années chaudes et sèches, les incendies de forêts en zone non méditerranéenne : tels ceux de l'année 1921 en Sologne.

Nous aimerions parler davantage des pertes d'accroissements ligneux qui en résultent, mais les données sûres sont rares. Nous avons sélectionné deux études anciennes, d'une valeur expérimentale certaine :

— Henry (1894-1897) a étudié par analyses de tiges ⁽²⁾ les conséquences, de ce point de vue, des étés 1892 et 1893 en Lorraine, qui furent à la fois très chauds et très secs. Pour le Hêtre comme pour l'Épicéa, sur sol calcaire, comme sur sol argileux, la production de la matière ligneuse n'a atteint en 1883 que le tiers de son taux habituel ; et la moitié sur sol siliceux ; pour le Chêne, à enracinement pivotant, la réduction de production ne fut que d'un quart ; pour le Sapin des Vosges, sur sol siliceux ou granitique, réduction d'un tiers seulement.

— Flury (1926) constate qu'en Suisse, c'est l'Épicéa, en moyenne montagne et en peuplements purs, qui a le plus à souffrir des longues périodes de sécheresse : une période de ce type peut lui faire perdre 40 % ou plus de l'accroissement courant en volume par rapport à ce qu'il est lors d'une période humide.

On connaît mieux les conséquences des sécheresses exceptionnelles sur la santé physiologique et la vitalité des arbres.

Aubert (1922) les a étudiées en Normandie et en Bretagne pour 1921 où, depuis le 1^{er} janvier, il n'y eut de véritables pluies que passé le 25 octobre. Les chênes furent souvent détruits sur les crêtes et les pentes accusées, où ils sont littéralement « morts de soif ». Bouleaux et hêtres résistèrent mieux, parce qu'ils « bénéficièrent » d'une efficace défoliation précoce. Les épicéas plantés en avenues ou lisières moururent souvent, alors que sapins et douglas furent moins frappés.

Pour cette même terrible sécheresse de 1921, Barbey (1922) insiste sur l'erreur trop souvent faite d'avoir introduit l'Épicéa là où il n'était pas en station, dans des régions trop basses, et à climat généralement trop sec : la vitalité de l'arbre a faibli, et les insectes xylophages sont intervenus à la suite pour parfaire le désastre.

Mais il n'est pas que l'année isolée exceptionnelle : plus graves sont peut-être les conséquences végétales cumulées d'une suite d'années déficitaires en pluviosité.

L'affaire a été bien analysée par Fourchy (1951), pour la période d'octobre 1941 à septembre 1949, pendant laquelle les années ont été déficitaires en pluie dans presque toutes les régions.

Ecarts annuels des hauteurs de pluie avec les valeurs normales

Régions	Normale	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948
Nord-Est	880 mm	– 134	– 160	– 34	– 165	– 103	– 131	– 4
Centre-Ouest	736 mm	– 26	– 93	– 32	– 204	– 112	– 84	– 80

Ajoutons que l'été 1949 fut encore particulièrement chaud et sec, avec une évaporation spécialement forte, et un état hygrométrique très bas.

« Il en résulte une aggravation en cascade de périodes de sécheresse successives, dont pourtant chacune, prise isolément, n'avait peut-être rien d'absolument catastrophique ».

Les conséquences forestières furent d'abord très fâcheuses pour les pépinières et les jeunes reboisements : le Fonds forestier national, pour ses débuts, a rencontré des conditions très difficiles ; ses résultats initiaux l'ont prouvé.

Mais les peuplements plus âgés n'ont pas été épargnés :

« Petit à petit, les réserves d'eau du sol s'épuisant, on a vu sécher des sujets adultes épars ou par groupes. Et c'est ainsi que dans les Basses Vosges, habituellement si humides, de nombreux sapins

(2) « Laissant fixes toutes les conditions déterminantes du phénomène observé, sauf celle dont il voulait étudier l'action ».

« ont séché depuis 3 ans, sur les plateaux ou vers les crêtes, et ce sont souvent les sujets les plus gros et les plus beaux qui ont péri les premiers, parce que plus avides d'humidité ».

Qu'on n'oublie pas cela, lorsqu'on recherche maintenant les causes des actuelles difficultés de certaines forêts vosgiennes !

Qu'on n'oublie pas non plus que c'est à de telles variations de climat que nous devons les grandes lignes de la répartition de nos essences forestières, y compris parfois ses apparentes anomalies !

Grands froids et gelées tardives

Les grands froids d'hiver ont peut-être plus fortement frappé les imaginations des forestiers que les grandes sécheresses et chaleurs d'été. Ils sont foule dans la mémoire écrite des hommes (Garnier, 1967) :

La première mention remonte à l'hiver 763-764 où, en certaines contrées de notre pays, il serait tombé jusqu'à 10 mètres de neige. Voici ensuite quelques dates qui ont retenu notre attention :

1076-1077 — Un des hivers les plus rudes du XI^e siècle : « la plupart des arbres, vignes et fruitiers moururent ».

1407-1408 — L'hiver le plus cruel depuis plus de 500 ans ; toutes les rivières de France sont gelées.

1568-1569 — Même chose pour les rivières, mort de nombreux oliviers en Provence.

1615-1616 — Le roi Louis XIII revenait de Bordeaux à Paris avec son régiment des gardes. Le froid fut tel que, sur 3 000 hommes, 1 000 périrent au cours du voyage, et que la cour dut s'arrêter à Tours.

1708-1709 — « Le grand hiver » ; toutes les céréales gelées ; beaucoup d'arbres aussi.

1739-1740 — « Le long hiver », qui fut rude en fait d'octobre 1739 à mars 1740.

1794-1795 — Les escadrons du général Pichegru prennent d'assaut, sur le Zuyderzee gelé, la flotte hollandaise.

1829-1830 — La totalité des rivières de France fut prise par la glace ; mort de nombreux oliviers, châtaigniers et mûriers.

1879-1880 — C'est l'hiver le plus froid qu'on ait encore chiffré en France : - 26°C à Paris, - 28°C à Orléans, - 33°C à Langres ; mort de nombreux arbres fruitiers et forestiers.

Revenons justement sur cet hiver sinistre dont le souvenir hante encore les forestiers, au moins pour ses conséquences solognotes (Jagerschmidt, 1923).

Il y avait alors en Sologne 300 000 hectares boisés, dont 80 000 de Pin maritime. Ces pins furent tous détruits par le froid (seuls survécurent les jeunes plants protégés par le manteau de neige du sol), alors que les Pins sylvestres n'eurent aucun dégât (voir aussi tableau 4).

On estima que, l'hiver étant absolument exceptionnel, le Pin maritime gardait droit de cité en Sologne : l'aide de l'Etat fut considérable : on distribua aussitôt après 14 700 kilos de graines de Pin sylvestre, 24 900 kilos de graines de Pin maritime, et 3 500 000 plants de Pin sylvestre. Puis on créa 10 hectares de pépinière, qui produisirent, jusqu'en 1885, 56 800 000 plants de Pin sylvestre. Dès 1885, 50 000 hectares étaient reboisés et, en 1900, tout était replanté.

Catastrophe unique en son genre, pour laquelle la mémoire actuelle des hommes fait abstraction de deux choses qui comptèrent :

- Avant le grand gel, survenu le 9 décembre 1879, les pins maritimes avaient déjà souffert, en

janvier 1879, de deux terribles verglas successifs, qui les avaient beaucoup plus atteints que les pins sylvestres : 60 à 95 % des pins maritimes avaient été endommagés, et placés ainsi en position de faiblesse (du Ranquet, 1960).

- Cent ans avant l'hiver 1879-1880, un autre hiver illustre frappa la Sologne, l'hiver 1788-1789, au cours duquel la Seine resta gelée à Paris de fin novembre 1788 à la mi-janvier 1789. « *Dans ce rude hiver, la plus grande partie des vieux pins (maritimes) de la Sologne et du Gâtinais ont péri* » (Baudrillart/Burgsdorf, 1808).

Il y avait donc déjà eu une grave alerte, qui fut oubliée ; et on retiendra aussi que, en un même lieu, plusieurs types de catastrophes climatiques se succédant, peuvent se renforcer l'une ou l'autre...

Citons encore quelques récents hivers qui ont retenu l'attention écrite des forestiers :

- Tout d'abord un hiver précoce, long et sec (1962-1963 : - 5° à - 15° constamment) qui causa de sérieux dégâts aux forêts de Haute Normandie, où beaucoup de plantations de Douglas furent détruites (Lesage, 1963). C'est à ce moment que Lacaze fit remarquer qu'il ne fallait pas planter n'importe quel Douglas n'importe où, mais qu'on savait maintenant sélectionner des écotypes mieux résistants soit aux basses températures hivernales, soit aux gelées tardives, soit aux sécheresses d'été (Lacaze, 1964). Des progrès ont encore été faits depuis lors !

- Le fameux hiver 1955-1956 aussi, qui fut en fait, surtout remarquable dans le Sud de la France, et caractérisé par un terrible froid en février 1956 (- 14° le 11 février à Toulon, - 20° à Brignoles), et presque assimilable à une terrible gelée tardive, le mois de janvier très doux, ayant autorisé un démarrage anormal de la végétation provençale (Dugelay, 1956). De très graves dégâts furent causés, entre autres, aux oliviers (35 % des arbres morts dans le Var, 60 % des autres gravement endommagés) et aux pins d'Alep, surtout dans la partie septentrionale de leur aire.

Ce même février 1956 fut aussi très dommageable dans les Landes, notamment en forêts de Pin maritime de dunes et sur de nombreuses essences introduites (Cyprés de Lambert, Pin de Monterey, Pin des Caraïbes etc.) (Guinaudeau, 1957).

Enfin les gelées tardives véritables peuvent aussi être nocives lorsqu'elles sont très marquées. Ce fut le cas par exemple de celles de mai 1953 (- 3° à Rouen, - 5° à Nancy la nuit du 10 au 11 mai) qui causèrent de sérieux dégâts aux arbres de fonds de vallons. Les hêtres, déjà fortement feuillés, en souffrirent davantage que les chênes, plus tardifs (Jacamon, 1953). On trouvera en annexe 2 un tableau donnant pour différentes régions en France le nombre d'années avec gelées, passée une date déterminée, pour la période 1950-1970 (d'après G. Aussenac, 1973).

Neige et verglas

- *Neige*

Le poids des neiges tombées massivement sur les arbres — surtout des neiges « lourdes », humides et collantes de fin d'hiver — peut causer de graves dégâts en forêts, d'autant plus que le vent s'y ajoute souvent, balançant les cimes ayant perdu toute souplesse, et surchargées.

Un récit très imagé en est donné, pour une sapinière vieillie de la haute Ardèche par Gaillard (1964) : 88 000 m³ de chablis durent être alors exploités, dans une forêt de taille très ordinaire. Les chutes de neige lourde, parfois localement très dommageables en France, tournent souvent à la catastrophe générale en Europe centrale (Allemagne du Sud, Suisse, Autriche, Bohême) : les bris de neige causèrent pour la seule Bavière, en 1979, 2 200 000 m³ de chablis, 1 000 000 en 1980, 4 500 000 m³ en 1981. De très nombreuses études leur sont du reste consacrées : telle l'excellente thèse de Rottmann (1983) suivie d'une bibliographie de 360 titres !

Et Galoux (1947), à la suite de grands dégâts de neige « collante » dans les forêts résineuses artificielles de ce qui fut le « pays des Sudètes » en Tchécoslovaquie, expliquait déjà comment se développaient, à leur suite, de graves pullulations d'insectes, notamment des scolytes.

En fait, les désastres se produisent surtout dans ces immenses peuplements équiennes d'épicéas purs à basse altitude, peu communs chez nous. Sans être aussi massifs, ces genres de dégâts ont été étudiés en France sur le Douglas en plantation — moins sensible du reste que l'Epicéa — par Oswald (1984), dont les conclusions rejoignent celles de Kramer et Spellmann pour l'Epicéa (1980) : pour maintenir des plantations solides, il faut planter à larges espacements (moins de 1 500 tiges par hectare), éclaircir tôt, exploiter les éclaircies marquées non pas en cours d'hiver, mais en début de printemps, dès que ne sont plus à craindre les dégâts de neige, et ne conserver comme arbres d'avenir que des sujets ayant un facteur élancement (H/D) inférieur à 80. Ces précautions permettent aussi une meilleure résistance aux vents violents...

- *Verglas*

En France, les verglas en forêt semblent avoir davantage frappé les forestiers que les chutes de neige. Leroy (1956) donne une bonne explication d'un verglas resté célèbre, celui des 26 et 27 novembre 1952 dans les forêts entourant Hauguenau en Alsace : le phénomène est lié au calme de l'atmosphère ; « *la masse d'air chaud supérieure, d'origine atlantique, donnait des pluies qui traversaient en surfusion la masse d'air froid sous-jacente où les températures étaient négatives, et se prenaient en glace en arrivant au sol, ou sur les branches des arbres* ».

Les dégâts, peu marqués sur les feuillus, furent d'autant moins importants que les peuplements étaient moins denses. Mais les résineux — pins sylvestres surtout — subirent un désastre, qui nécessita l'exploitation de 60 000 m³ ; les perchis eurent leurs fûts cassés, tandis que les gros arbres souffrirent beaucoup dans leurs cimes, parfois complètement détruites.

Un autre verglas illustre est celui qui, le 21 décembre 1929, massacra plus de 50 000 pins sylvestres en forêt d'Ecouves (Normandie) (Granger, 1933).

Mais la palme revient au verglas du 23 janvier 1879 qui, nous l'avons dit, n'épargna pas la Sologne⁽³⁾ et causa beaucoup de pertes dans les forêts du Centre de la France : le récit imagé que nous en avons retrouvé, mérite d'être versé aujourd'hui encore au dossier (voir annexe 3 de l'article).

Tornades, ouragans, et tempêtes

Les catastrophes météoriques dues au vent — les plus fréquentes, et les plus lourdes de conséquences en France⁽⁴⁾ — peuvent se classer avec netteté en trois catégories, qui n'excluent pas du reste des formes intermédiaires de transition.

- *Les tornades* sont des phénomènes d'une rare brutalité et très localisés dans le temps, comme dans l'espace. Un bon exemple, remarquablement décrit, illustré et commenté en est une tornade du 10 juillet 1968 en Lorraine et Alsace (Vignes, 1969).

(3) On cite une branche de pin maritime, de 27 cm de long, pesant sèche, 55 grammes, qui, couverte de verglas, pesait alors 1,095 kg. Les pins laricios et pins sylvestres, aux aiguilles plus clairsemées, ou plus courtes, résistèrent mieux à une charge de glace du reste moindre. (Du Ranquet, 1960) : une branche de pin sylvestre de même longueur pesait 15 grammes avant, et 525 grammes après verglas.

(4) En Allemagne aussi du reste : en Bade-Württemberg, estimation faite sur 30 années récentes consécutives, le quart de la possibilité annuelle est récolté en chablis : dans ces 25 %, 13-16 % sont dus au vent, 5-6 % à la neige, 6-8 % à d'autres causes (incendies, champignons, et insectes) (Rottmann, 1983) ; mais y a-t-il véritable indépendance entre ces trois formes de dégâts ?

Cette tornade prit naissance sur le plateau lorrain, au nord de Sarrebourg, à 20 heures 15. Elle se déplaça ensuite d'est en ouest, tourbillonnant suivant une trajectoire pratiquement rectiligne, et balaya tout sur son passage créant un véritable « couloir de dévastation » de 500 m de largeur seulement en moyenne : aucun arbre n'y survécut. A 20 heures 30, la tornade abordait l'ouest du massif Nord-Vosgien, à 20 heures 45, elle pénétrait en forêt de Haguenau dont elle sortit à 21 heures ; à 21 heures 30, après une solution de continuité de 35 km, elle refaisait son apparition en Allemagne, à 20 km au nord de Baden-Baden ; elle traversait des forêts immédiatement au sud de Pforzheim, et prenait fin vers 21 heures 50, à 13 km à l'est de cette ville.

« Se déplaçant dans un bruit terrifiant, la tornade apparut à un témoin comme un grand nuage qui est descendu sur les bois et a tout aspiré. L'effet a été à la fois celui d'un boulet de canon et d'un gigantesque rabot ouvrant une tranchée ininterrompue à bords nets, et suivant le relief » — plus loin vers l'est, en montagne, la tornade semble avoir rebondi de versant ouest en versant ouest, épargnant les versants est.

Le mouvement tourbillonnaire du vent était prouvé par la disposition en cercle, sur le sol, des arbres abattus. Au total, 700 hectares de forêts résineuses furent détruits, et 250 000 m³ de bois abattus, moitié en France, et moitié en Allemagne.

Ce genre de phénomène a toujours beaucoup frappé les esprits, et le souvenir vivace en demeure longtemps : telle cette autre tornade qui déracina tous les arbres dans la vallée de Lusse — à l'est de Saint-Dié — le 29 mai 1807, sur une longueur de 20 km et une largeur de 100 mètres seulement !

Le terrible coup de vent du 11 juillet 1984 qui, venant du sud-ouest, sur l'axe Monthureux-sur-Saône — Darney — Thaon — Rambervillers détruisit la moitié — 4 000 hectares — de la forêt domaniale de Darney (Vosges) et endommagea gravement au total quelque 15 000 hectares de forêts, feuillues celles-là pour la plupart, paraît procéder d'une origine assez semblable, quoiqu'étant moins limité en largeur (3 à 6 km). Cette fois-ci, c'est plus d'un million et demi de m³ de bois qui furent mis à terre — ou cassés irrémédiablement — en quelques heures (Badré, 1984).

- *Les ouragans* sont moins circonscrits, dans l'espace comme dans le temps, et la direction du vent, plus soutenue, n'y a pas le caractère tourbillonnaire que nous venons de décrire. Celui qui, le 31 janvier et 1^{er} février 1902, causa un désastre dans les forêts de la région Remiremont/Cornimont, a été bien analysé (de Gail, 1903 ; Grosjean, 1971), et mérite que nous le faisons revivre avec quelques détails (annexe 4). Au total, 1 700 000 m³ de bois résineux en furent les victimes.

Les forêts feuillues paient aussi leur tribut à ce type de catastrophe météorique. Lesage (1959) décrit par exemple les effets de l'ouragan du 6 juillet 1957 en forêt domaniale normande de Lyons, qui endommagea gravement 7 000 hectares de hêtraies. La même forêt avait déjà beaucoup souffert d'un ouragan le 1^{er} mars 1876 (32 000 arbres furent abattus). Et on garde toujours souvenance, dans la même région, de l'ouragan du 15 mars 1519 qui mit à terre 60 000 grands arbres dans ce qui était alors la « forêt du Buisson du bleu », entre Lyons et Gisors, et en signa la disparition définitive, l'homme bien sûr y donnant son consentement.

- *Les tempêtes*

Restent les grandes tempêtes, qui affectent des régions entières, soumises de longues heures durant à des vents d'une vitesse de 150 km/heure et plus, et signent des catastrophes quasi légendaires. Nous serons brefs sur elles, tant reste encore vif dans tous les esprits — et écrit — l'effroyable tempête des 6 et 7 novembre 1982 dans la totalité du Massif Central. C'est même au total, 29 départements qui furent concernés, et quelque 12 millions de m³ de chablis, résineux surtout, abattus (Guillard, 1983) : véritable désastre à l'échelle nationale aggravé à l'est du Massif Central par des dégâts consécutifs de neige lourde et de verglas, dont on s'emploie à tirer maintenant les principaux enseignements (A.F.O.C.E.L., 1982).

Désastre exceptionnel peut-être en France, mais plus fréquent chez nos voisins, notamment en Europe centrale, telle la tempête du 13 novembre 1972, qui renversa au total 25 millions de m³ dans les plaines littorales des Pays-Bas, d'Allemagne fédérale (17 millions pour la seule Basse-Saxe !) et d'Allemagne de l'Est (Guillard, 1983). Telle encore celle du 25 mai 1967, qui fut créditée de 1 à 2 millions de m³ en France, 13,4 millions de m³ en Allemagne fédérale (Baden-Württemberg et Bavière cette fois !), 2 millions de m³ en Suisse, 500 000 m³ en Autriche, et plusieurs millions en Tchécoslovaquie ! Et le XIX^e siècle s'était inscrit lui aussi plusieurs fois à ce triste tableau d'honneur.

Grêle et foudre

• *La grêle*, même exceptionnelle, ne semble pas causer de désastre majeur en forêt. Ainsi, cette violente chute de grêle du 1^{er} juillet 1935 en forêt de Ripaille (Haute-Savoie), forêt privée bien connue pour ses nombreux peuplements d'essences introduites. « *Les grelons, gros comme des œufs de pigeons ou davantage — ils pesaient jusqu'à 150 et même 200 grammes — tombaient dru, en nombre tel que 48 heures après leur chute, on en trouvait encore d'assez grosses masses dans les coins ombragés. La forêt était comme mitraillée par des milliards de blessures, le sol était recouvert d'une épaisse couche de feuilles et de branches (Engel, 1939). Dans les fourrés de Chêne les brins portaient en moyenne une blessure tous les 5 centimètres, laissant des déchirures largement béantes, les Douglas de 7 à 8 ans paraissaient en partie fauchés* ».

Trois ans après, « *on peut dire que la guérison apparente est complète pour la plupart des essences. Les résineux, en particulier les Douglas, sont de nouveau en parfaite santé. Seuls les Chênes conservent encore de nombreuses blessures, qui nécessiteront une sélection sévère* » au cours des « *prochains dégagements et des éclaircies* ».

Citons, aussi, un autre type de dommage d'une certaine gravité en forêt de chênes : il a été constaté plusieurs fois que des averses de grêle d'été avaient anéanti des glandées commençantes pourtant très prometteuses.

• Peu de choses à dire sur *la foudre*, dont les dégâts sont bien sûr très localisés (mais un « choc en retour » entraîne parfois ensuite la mort des arbres entourant celui qui a été touché, créant ainsi de dangereux « trous de foudre »), et dont les modalités sont difficiles à préciser objectivement. Nous n'avons rien trouvé à en dire de mieux que ce qu'en rapporte une intéressante et ancienne étude allemande (A.S., 1982) et Perrin (1963) : il semble bien établi que le Chêne est, en forêt, l'arbre le plus exposé à la foudre, et le Hêtre, l'arbre le moins touché ; et, parmi les résineux, l'Epicéa est plus souvent foudroyé que le Sapin ; enfin, les forêts sur sols calcaires superficiels subissent moins de coups de foudre que les forêts situées sur sol argileux.

CONCLUSIONS

De l'étude que nous venons de faire, peuvent se dégager quelques conclusions générales :

— les facteurs du climat et leur excès plus ou moins catastrophiques règlent pour une grande part la répartition actuelle des essences et la structure des forêts d'aujourd'hui ;

— une longue observation est nécessaire pour bien connaître les facteurs climatiques, notamment dans leur fréquence, et apprécier correctement leurs impacts forestiers : la mémoire d'homme c'est 30 ans ; la vie d'un chêne ou d'un hêtre, c'est 150 ans ; ce qui peut paraître exceptionnel pour l'homme ne l'est pas toujours pour l'arbre. Beaucoup d'excès climatiques ou de cataclysmes météoriques font en somme partie de la vie normale des arbres et bien des aspects forestiers actuels s'expliquent par des épisodes climatiques passés : telles ces forêts vierges régénérées naturellement « par catastrophes » ; mais telles aussi la plupart de nos forêts résineuses de montagne, où les brutalités



En haut, à droite : futaie Colbert, forêt de Tronçais, en novembre 1982 Photo C.N.R.F. Nancy - Champenoux.

Ci-dessus et ci-contre, forêt de Darney en juillet 1984 Photo J.L. HAMANN E.N.G.R.E.F. Nancy.



climatiques — et leurs conséquences sur la santé des arbres — conduisent à récolter très normalement, sous forme de chablis (au sens large du terme), une part non négligeable de la possibilité annuelle : dans le Massif Vosgien par exemple, 15 % en « années douces », mais 25 à 30 % si on intègre dans le décompte les années à catastrophes climatiques ⁽⁵⁾.

- Au plan de l'introduction des essences exotiques, il est clair que, en raison même de la durée de la vie des peuplements, il est nécessaire de prendre en compte, pour leur choix, des épisodes qui, s'ils peuvent apparaître comme exceptionnels pour l'homme, sont susceptibles de se produire sans qu'il y ait pour autant de changements climatiques majeurs.

- Les grandes catastrophes climatiques et même des séquences climatiques apparemment pas ou peu dommageables sur le moment, peuvent être, à terme, porteuses de dégâts importants (dépérissements divers et variés). La combinaison de phénomènes différents et le renforcement de leurs effets peuvent aboutir à un affaiblissement des forêts, les rendant plus accessibles aux attaques des insectes et des champignons toujours présents.

(5) Nous remercions Messieurs les Chefs de Service de l'Office national des Forêts du département des Vosges (zone de montagne), qui nous ont fourni à ce sujet des renseignements chiffrés très précis, couvrant des périodes de 10 à 40 ans suivant les forêts ; voir aussi note de bas de page, page 96 pour l'Allemagne du Sud et un article à venir sur le même sujet.

• Dans l'avenir, de nouveaux épisodes climatiques catastrophiques interviendront probablement, sans que l'on puisse estimer qu'ils sont anormaux. Pour certains (sécheresses, gelées), l'utilisation raisonnée des essences et des types de peuplement doit permettre d'en limiter les effets économiques ; pour d'autres (ouragans, tornades, tempêtes), il est illusoire de penser pouvoir leur échapper.

G. AUSSENAC
Maître de recherches
Directeur de la Station
de Sylviculture et de Production

J. PARDÉ
Directeur de recherches
honoraire

CENTRE NATIONAL DE RECHERCHES FORESTIÈRES (I.N.R.A.)
CHAMPENOUX 54280 SEICHAMPS

ANNEXE 1

Quelques exemples de températures extrêmes relevées en France (d'après Garnier, 1967)

EXTRÊMES DE FROID			EXTRÊMES DE CHALEUR		
Epoque	Lieu	Température	Epoque	Lieu	Température
Janvier 1795	Paris	- 23°5	Juillet 1757	Paris	37°5
Décembre 1829	Marseille	- 10°0	Août 1793	Paris	38°4
	Toulouse	- 15°0		Juillet 1852	Paris
Janvier 1830	Paris	- 17°0		Lille	35°0
Février 1830	Mulhouse	- 28°0		Montpellier	39°0
Janvier et Février 1871	Paris	- 12°0	Juillet 1881	Lille	35°0
	Montpellier	- 16°0		Paris	38°4
	Bordeaux	- 17°0		Nantes	38°7
	Périgueux	- 23°0		Montpellier	41°0
Décembre 1879	Paris	- 25°6	Août 1911	Châteauroux	39°4
	Orléans	- 28°0		Nîmes	39°8
	Nancy	- 30°0		Paris	36°5
	Langres	- 33°0		Aix	40°1
Janvier 1891	Perpignan	- 8°5	Juillet 1921	Chaumont	41°6
	Digne	- 17°5		Août 1923	Clermont-Ferrand
Janvier 1893	Montpellier	- 10°0		Angoulême	41°4
	Toulouse	- 10°0		Châteauroux	42°2
	Paris	- 17°0		Toulouse	44°0
	Nancy	- 22°0	Juillet 1945	Paris	36°6
	Auberive	- 31°0		Nancy	35°0
Février 1895	Nantes	- 15°0	Juillet 1947	Le Mans	40°4
	Nancy	- 23°0		Mont-de-Marsan	41°9
	Ste-Menehould	- 23°0		Clermont-Ferrand	41°1
	Paris	- 15°4		Lyon	40°6
Février 1956	Romilly	- 25°0	Juillet 1950	Grenoble	39°4
	Nancy	- 24°8	Juillet 1952	Vichy	40°9
	Agen	- 21°9	Juillet 1983	Nancy	37°6

ANNEXE 2

Nombre d'années avec gelées, après une certaine date,
en chiffres absolus et pourcentages (1950-1970)

(d'après Aussejac, 1973)

DATE		1/4	1/4	1/4	11/4	11/4	11/4	21/4	21/4	1/5	1/5	11/5	21/5
TEMPÉRATURE		≧ 0°	≧ -3°	≧ -6°	≧ 0°	≧ -3°	≧ -6°	≧ 0°	≧ -3°	≧ 0°	≧ -3°	≧ 0°	≧ 0°
STATIONS	Saint-Quentin	17 81 %	3 14 %	0 0 %	16 76 %	0 0 %	0 0 %	8 38 %	0 0 %	5 14 %	0 0 %	2 10 %	2 10 %
	Château-Chinon ...	20 95 %	7 33 %	0 0 %	17 81 %	2 10 %	0 0 %	9 43 %	1 5 %	3 24 %	1 5 %	1 5 %	1 5 %
	Langres	19 90 %	7 33 %	0 0 %	16 76 %	1 5 %	0 0 %	9 43 %	0 0 %	3 14 %	0 0 %	0 0 %	0 0 %
	Nancy	21 100 %	13 62 %	3 14 %	21 95 %	11 52 %	1 5 %	18 86 %	7 33 %	11 52 %	3 14 %	4 19 %	1 5 %
	Besançon	18 86 %	3 14 %	0 0 %	16 76 %	0 0 %	0 0 %	10 48 %	0 0 %	4 19 %	0 0 %	0 0 %	0 0 %
	Bourg-Saint-Maurice	21 100 %	9 43 %	2 10 %	19 90 %	8 38 %	0 0 %	14 67 %	2 10 %	10 48 %	0 0 %	3 14 %	1 5 %
	Gourdon	19 95 %	2 10 %	0 0 %	13 62 %	0 0 %	0 0 %	6 29 %	0 0 %	2 10 %	0 0 %	1 5 %	1 5 %
	Limoges	21 100 %	13 62 %	0 0 %	21 100 %	6 29 %	0 0 %	20 95 %	3 14 %	14 67 %	2 10 %	6 29 %	2 10 %
	Bourges	13 62 %	1 5 %	0 0 %	10 48 %	1 5 %	0 0 %	5 24 %	0 0 %	2 10 %	0 0 %	1 5 %	1 5 %
	Orléans	19 90 %	3 14 %	0 0 %	18 86 %	1 5 %	0 0 %	9 43 %	1 5 %	5 24 %	1 5 %	1 5 %	1 5 %
	Rennes	15 71 %	0 0 %	0 0 %	10 48 %	0 0 %	0 0 %	4 19 %	0 0 %	3 14 %	0 0 %	1 5 %	1 5 %
	Le Mans	20 95 %	9 43 %	0 0 %	19 90 %	5 24 %	0 0 %	17 81 %	2 10 %	10 48 %	1 5 %	3 14 %	1 5 %
	Poitiers	17 81 %	0 0 %	0 0 %	12 57 %	0 0 %	0 0 %	6 29 %	0 0 %	2 10 %	0 0 %	0 0 %	0 0 %
Mont-de-Marsan ...	19 95 %	6 29 %	0 0 %	13 62 %	3 14 %	0 0 %	6 29 %	0 0 %	1 5 %	0 0 %	1 5 %	0 0 %	
Toulouse	15 71 %	1 5 %	0 0 %	9 43 %	1 5 %	0 0 %	3 14 %	0 0 %	0 0 %	0 0 %	0 0 %	0 0 %	

ANNEXE 3

Le verglas du 23 janvier 1879

Une pluie froide commença à tomber, l'eau gelant au fur et à mesure de sa chute et de son arrêt par un obstacle quelconque.

Les forêts du Blésois, celles d'Orléans, de Fontainebleau, de la Traconne, ont été littéralement ravagées.

D'innombrables quantités de baliveaux ont été cassés. Les anciens ont perdu leurs principales branches. Ce qui n'a pas été cassé est plus ou moins endommagé. Les bois présentaient, à ce qu'on nous raconte, un coup d'œil féérique dans la matinée où ce verglas s'est produit. Les arbres étaient enveloppés, depuis le tronc jusqu'aux plus minces rameaux, d'une épaisse couche de glace transparente comme du cristal. Les branches s'inclinaient sous le poids et formaient des berceaux ornés d'innombrables pendeloques ; beaucoup se brisaient avec fracas.

Dans les coupes de taillis-sous-futaie, les baliveaux courbés jusqu'à terre confondaient leurs cimes avec les cèpées ; beaucoup s'affaissaient complètement ou se brisaient à quelques mètres du sol. Les résineux surtout paraissent avoir le plus souffert. On parle de massifs entiers complètement détruits.

Sources :

- *Revue des Eaux et Forêts*, 1879, Chronique page 80
- *La Vie parisienne* au XIX^e siècle, page 189.

ANNEXE 4

L'ouragan de 1902 dans les Vosges (région de Remiremont/Cornimont)

Le 30 janvier 1902, vers 10 heures du soir, un vent faible d'abord, puis rapidement violent, se mit à souffler du nord-est, c'est-à-dire de l'Alsace. La tempête continua pendant la nuit et le jour suivant. Le 31 au soir, elle reprit une force nouvelle, et acquit son maximum d'intensité le 1^{er} février, entre 10 heures et 14 heures. Elle s'éteignit ensuite rapidement.

Le grand désastre se produisit le 1^{er} février, entre 10 heures et 14 heures. Jamais, de mémoire d'homme, on n'avait vu pareille tempête. Au sourd fracas produit par la chute des arbres, se mêlaient des craquements sonores et prolongés, et le bruit continu résultant du frottement des branches. La neige tourbillonnait avec rage, sans être retenue par les cimes que le vent secouait avec fureur.

La force du vent était irrésistible. C'était une véritable trombe. Sur des centaines d'hectares, les grands sapins s'inclinaient et se couchaient les uns sur les autres, tombant comme des châteaux de cartes : ceux qui étaient trop fortement enracinés étaient brisés ; quelques-uns, de plus de 1,50 m de tour, se trouvaient tordus.

Pendant toute la durée de la tempête, la direction n'a pas varié ; sur quelques points cependant, il s'est formé des tourbillons qui ont déraciné et jeté les arbres pêle-mêle dans tous les sens. Mais pour le restant, **les arbres se sont couchés les uns à côté des autres, orientés du nord-est au sud-ouest**, par rangées, se recouvrant partiellement les uns les autres ; très peu ont été cassés, la plupart ont été soulevés avec leurs racines, entraînant souvent plusieurs m³ de terres et de pierres.

... les courants d'air se sont comportés, jusqu'à un certain point, comme l'auraient fait des courants d'eau, arrêtés par la chaîne des Vosges, et se déversant dans les vallées par les échancures des cols.

Sources : MARTIN, 1902. — Les chablis des Vosges. *Bulletin de la Société forestière de Franche-Comté*.

DE GAIL, 1903. — L'ouragan de 1902 dans les Vosges, *Revue des Eaux et Forêts* p. 417-429.

GROSJEAN (C.), 1971. — Etude des chablis. Note de recherche dactylographiée et reliée, E.N.G.R.E.F. Nancy, bibliothèque 192 pages, plus documents annexes.

BIBLIOGRAPHIE

- AFOCEL. — Numéro spécial des Annales de Recherches sylvicoles (paru en 1983), 369 pages.
- A.S. — Les effets de la foudre sur les diverses essences forestières. — *Revue forestière française*, 1882, pp. 530-532.
- AUBERT (C.G.). — La sécheresse de 1921 et les essences forestières de l'ouest de la France. — *Revue des Eaux et Forêts*, 1922, pp. 323-331.
- AUSSENAC (G.). — Etude des gelées tardives en relation avec les problèmes de reboisement. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 30, n° 2, 1973, pp. 141-155.
- AUSSENAC (G.). — Couverts forestiers et facteurs du climat : leurs interactions ; conséquences écophysologiques chez quelques résineux. Thèse Doctorat d'Etat Nancy. — 1975.
- AUSSENAC (G.). — La sécheresse de 1976 : influence des déficits hydriques sur la croissance des arbres forestiers. — *Revue forestière française*, n° 2, 1978, pp. 98-114.
- AUSSENAC (G.), FINKELSTEIN (D.). — Influence de la sécheresse sur la photosynthèse du cèdre. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 40, n° 1, 1983, pp. 67-77.
- AUSSENAC (G.), LEVY (G.). — Influence du dessèchement de sol sur le comportement hydrique du chêne pédonculé et du frêne cultivés en case de végétation. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 40, n° 3, 1983, pp. 251-264.
- AUSSENAC (G.), GRANIER (A.), IBRAHIM (M.). — Influence du dessèchement du sol sur le fonctionnement hydrique et la croissance du douglas (*Pseudotsuga menziesii*). — *Oecologia plantarum*, vol. 5 (40), n° 3, 1984, pp. 241-253.
- BADRE (M.). — Les chablis du 11 juillet 1984 dans le Nord-Est de la France. — *Bulletin de l'O.N.F.*, n° 72, octobre 1984, pp. 18-20.
- BARBEY (A.). — L'Epicéa et la sécheresse de 1921. — *Bulletin de la Société Forestière de Franche-Comté*, 1922, pp. 237-241.
- BAUDRILLART (J.J.) DE BURGSDORF. — Nouveau manuel forestier. Traduction adaptée du texte original allemand. — tome 1, 1808, 460 pages.
- DUGELAY (A.). — Observations générales sur la gelée de février 1956 dans les départements des Alpes-Maritimes et du Var. — *Revue forestière française*, 1957, pp. 1-27.
- ENGEL (A.). — Les effets de la grêle en forêt. — *Bulletin de la Société Forestière de Franche-Comté*, n° 1, 1939, pp. 12-20.
- FINKELSTEIN (D.). — Contribution à la caractérisation écophysologique du cèdre. Etude de la croissance et des échanges gazeux. — Thèse 3^e cycle Nancy, 1981, 145 p.
- FLURY (P.). — Uber den Einfluss von Trockenperioden auf das Bestandeswachstum. — *Mémoire de l'Institut fédéral suisse de recherches forestières*, tome XIV, 1926, pp. 251-292.
- FOURCHY (P.). — Sécheresse, variations climatiques, et végétation. — *Revue forestière française*, n° 1, 1951, pp. 47-55.
- GALOUX (A.). — Les multiplications d'insectes après les bris de neige dans les forêts résineuses. — *Bulletin de la Société centrale forestière de Belgique*, n° 12, 1947, pp. 433-449.
- DE GAIL. — L'ouragan de 1902 dans les Vosges. — *Revue des Eaux et Forêts*, 1903, pp. 417-429.
- GARNIER (M.). — Mémorial n° 50 de la météorologie nationale ; sélection de données statistiques, 1967, 294 pages.
- GEIGER (R.). — The climate near the ground, 7^e édition. — Harvard University, 1975.
- GROSJEAN (C.). — Etude des chablis. — Note de recherche dactylographiée et reliée. — Nancy, E.N.G.R.E.F. bibliothèque, 1971. — 192 pages, plus documents annexes.
- GRANGER (A.). — Un verglas en forêt d'Ecouves. — *Revue des Eaux et Forêts*, 1933, pp. 394-397.
- GUEHL (J.M.). — Potentialités hivernales d'assimilation carbonée de trois conifères de la zone tempérée (*Pseudotsuga menziesii*, *Abies alba* et *Picea excelsa*). Eléments pour leur interprétation écophysologique. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 42, n° 1, 1985, pp. 25-40.
- GUEHL (J.M.), DE VITRY (C.), AUSSENAC (G.). — Photosynthèse hivernale du douglas vert (*Pseudotsuga menziesii*) et du cèdre (*Cedrus atlantica* et *Cedrus libani*). Essai de modélisation à l'échelle du rameau. — *Oecologia plantarum*, vol. 6, n° 20, 1985, pp. 139-160.
- GRANGER (A.). — Un verglas en forêt d'Ecouves. — *Revue des Eaux et Forêts*, 1933, pp. 394-397.
- GUILLARD (J.). — Tempêtes et forêts. — *Revue forestière française*, n° 1, 1983, pp. 6-8.
- HENRY (E.). — Influences de la sécheresse de 1893 sur la végétation forestière en Lorraine. — *Bulletin de la société des sciences de Nancy*, tome XIII, fascicule 29, 1894, pp. 223-227.

G. AUSSENAC - J. PARDÉ

- HENRY (E.). — Influences de la sécheresse de 1893 sur la végétation forestière en Lorraine (nouvelles observations). — *Bulletin de la société des sciences de Nancy*, tome XV, fascicule 32, 1897, pp. 72-89.
- JACAMON (M.). — La gelée tardive du 11 mai 1953. — *Revue forestière française*, 1953, pp. 512-597.
- JAGERSCHMIDT (J.). — La Sologne forestière. — *Revue des Eaux et Forêts*, 1923, pp. 54-63 et 103-110.
- KRAMER (H.) et SPELLMANN (H.). — Beiträge zur Bestandesbegründung der Fichte. — *Band 64 der forstlichen Fakultät der Universität Göttingen*, 1980, 103 pages.
- LACAZE (J.F.). — Note sur la résistance au froid du Douglas suivant l'origine des graines. — *Revue forestière française*, n° 3, 1964, pp. 225-227.
- LARCHER (W.). — *Physiological Plant Ecology*. — Springer Verlag, 1975. — 252 p.
- LARCHER (W.) et BAUER (M.). — Ecological significance of Resistance to low temperature. in : *Physiological Plant Ecology. Responses to Physical Environment* Ed. (O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond, H. Ziegler). — Springer Verlag, 1981. — pp. 404-437.
- LEROY (P.). — Dégâts causés par la glace dans les forêts de l'Inspection de Haguenau. — *Revue forestière française*, n° 10, 1956, pp. 647-657.
- LESAGE (G.). — Note sur l'ouragan du 6 juillet 1957 en forêt de Lyons. — *Revue forestière française*, 1959, pp. 737-745.
- LESAGE (G.). — L'hiver 1962-1963 et ses répercussions forestières en Haute-Normandie. — *Revue forestière française*, n° 11, 1963, pp. 823-827.
- MONNIER (Y.). — Les conséquences de la sécheresse. — *Bulletin de l'O.N.F.*, n° 40, 1976, pp. 10-16.
- OSWALD (H.). — Production et Sylviculture du Douglas en plantations. — *Revue forestière française*, n° 4, 1984, pp. 268-278.
- PARDÉ (J.). — Les récents chablis dans les forêts d'Europe. — *Revue forestière française*, n° 7, 1967, p. 505.
- PERRIN (H.). — Sylviculture. Tome 1 : Bases scientifiques de la sylviculture. — Nancy : Ecole Nationale des Eaux et Forêts, 1963. — 365 p.
- DU RANQUET. — La gelée et le pin maritime. — *Revue forestière française*, 1960, pp. 710-713.
- ROTTMAN (M.). — Schnebruchschäden bei Fichten. — Thèse de doctorat soutenue à l'Université de Munich, 1983, 256 pages.
- VIGNES (E.). — La tornade du 10 juillet 1968 dans le Nord-Est de la France. — *Revue forestière française*, n° 2, 1969, pp. 106-112.