

PETITE CHRONIQUE DE PHOTOLOGIE FORESTIÈRE

Dans un précédent article (1) nous signalions quelques récentes publications se rapportant à l'étude de la répartition de la lumière dans le milieu forestier, et de son influence sur le développement de jeunes arbres d'espèces diverses. Nous analyserons, ci-après, les résultats d'un certain nombre de nouvelles recherches qui n'ont pas été, en général, mentionnées jusqu'ici dans la Revue Forestière Française.

A l'Institut Botanique de Besançon, les observations continuent sur les jeunes plants de chêne, rouvre et pédonculé (*Quercus sessiliflora* et *pedunculata*), ayant cru en cases de végétation sous des éclairagements relatifs variés. Les principes de la méthode employée ont été exposés par M. le Professeur TRONCHET et Mlle GRANDGIRARD dans une récente publication: « l'Analyse histométrique et son application à l'écologie forestière » (2). Reprenant les observations effectuées par Mlle GRANDGIRARD dans un diplôme d'études supérieures de Botanique, soutenu en 1954 à Besançon, les auteurs, après une introduction générale sur la multiplicité des facteurs qui interviennent en matière de physiologie végétale, exposent, avec de nombreux dessins à l'appui, la technique et les principaux éléments qui peuvent être retenus pour déceler l'influence de la lumière sur le développement des jeunes sujets de chêne. La structure de la tige, celle de la feuille, sont minutieusement observées, et la conclusion provisoire est que, en l'absence de facteurs défavorables, un éclairage relatif de 50 % semble suffisant au jeune chêne pédonculé d'un an, pour acquérir une structure robuste apte à lui assurer des chances sérieuses de survie.

En application de ces principes, deux nouveaux diplômes d'études supérieures de Botanique ont été soutenus devant l'Institut Botanique de Besançon au début de l'année 1958, l'un sur le chêne rouvre, par Mme GIBOUDEAU (3), l'autre sur le chêne pédonculé, par Mlle GOGUELY (4). Les observations portent, cette fois, sur des sujets de 2 ans provenant de cases de végétation installées par le Service Forestier dans la région de Gray. Nous avons récemment décrit le dispositif général de cette expérience (5). Après un exposé des recherches antérieures en cette matière, et spécialement de celles effectuées à Besançon, les auteurs arrivent à la conclusion, un peu inattendue, que l'état lumineux le plus favorable, dans le

cas étudié, a été l'éclaircissement relatif de 13,5 % : les 6 stations observées étant caractérisées par des radiations relatives de 3,5 %, 4,3 %, 13,5 %, 57 %, 66 % et 100 % par rapport au plein découvert. Le poids des plants, le poids de la racine, la longueur de la tige et l'importance de ses formations, concordent sur ce point.

Il faut signaler cependant, et les auteurs des deux travaux mentionnés n'ont pas manqué de le faire, que la gelée sévère survenue au début de la seconde année de végétation (1957) a touché les plants développés dans les 3 stations les plus éclairées, et a pu avoir une influence néfaste sur leur croissance. Ainsi se trouverait en partie justifiée la conclusion proposée, un peu contraire à ce que l'on pensait des exigences générales en lumière des jeunes chênes. Il a été fait remarquer aussi très justement (Mme TRONCHET) que les valeurs données pour la radiation relative, et relevées de mai et septembre, étaient un peu faibles dans le cas des stations les plus ombragées. En effet, alors que les grands arbres étaient dénudés, les jeunes chênes installés sous un certain couvert formaient précocement des feuilles au printemps (et les conservaient vivantes à l'automne). La lumière relative moyenne dont ils disposaient pour leur photosynthèse, a donc été plus forte que celle relevée.

En nous basant sur des considérations plutôt sylvicoles (nécessité d'étaler les réalisations dans le temps), nous étions arrivés du reste à des conclusions voisines de celles indiquées plus haut.

Signalons enfin, sans insister outre mesure, que la supériorité des plants développés sous 13,5 % de radiation relative, et décelée par l'Institut Botanique de Besançon paraît s'être confirmée au cours de l'année 1958, qui n'a manqué ni de chaleur, ni d'humidité. Il semblerait donc que les jeunes chênes de la Haute-Saône préféreraient, pendant les 3 premières années de leur développement, une lumière « froide » (diffusée, réfléchie, etc...) plutôt qu'une insolation trop directe, ceci compte tenu, évidemment, des accidents qui peuvent les affecter.

*
**

C'est une étude théorique très poussée des problèmes d'insolation que vient de publier P. MONNET (6) dans le Bulletin de la Société d'Etudes des Hautes-Alpes. L'origine de ces recherches se trouve, selon l'auteur, dans des observations concernant l'installation de renaissances naturelles de pin noir d'Autriche (*Pinus laricio* v. *Austriaca*), à l'intérieur de trouées pratiquées, il y a une quinzaine d'années, dans des peuplements artificiels âgés de 60 à 80 ans. Il semble que les semis se soient établis dans des zones assez étroites, limitées, d'une part par un minimum de lumière qui ne permettait pas le développement des jeunes pins, et d'autre part, par un maximum d'insolation correspondant aux régions exposées en août aux rayons trop ardents du soleil. Partant de ces faits, l'auteur a éla-

boré une théorie complète des conditions d'insolation d'une station, en fonction de la latitude, de l'altitude, du relief et de l'exposition. La notion de « ligne » ou de « bande équatoriale », permet une analyse précise du développement de l'ombre portée, base essentielle de cette étude. Cinq notes, publiées en annexe, et qui comportent de nombreuses justifications mathématiques et astronomiques, permettent d'alléger le texte principal dont le but pratique indiqué est de déterminer les trouées les plus convenables à la régénération des peuplements forestiers dans les Alpes du Sud, l'orientation la plus correcte des lignes de plantation, et même la disposition optimale des cultures en montagne.

Dans les vastes plaines, aux horizons largement dégagés, la radiation solaire directe ne représente guère que la moitié de la radiation globale, le surplus étant dû à la diffusion du ciel, pur ou nuageux. Par contre, dans les régions très accidentées, l'horizon fortement relevé réduit dans des proportions considérables la radiation diffusée; d'où le rôle important joué par la radiation solaire directe, et par conséquent l'intérêt que présente, pour la compréhension et la solution de divers problèmes d'Economie Montagnarde, l'étude de P. MONNET.

*
**

En Angleterre, à Oxford, M. H.D. DOWELL (7) a procédé récemment, à l'occasion d'une thèse forestière, à une étude systématique des conditions de germination et de premier développement de sujets d'espèces diverses: *Fagus sylvatica*, *Tsuga heterophylla*, *Abies concolor*, *Picea sitchensis* et *Pinus sylvestris*. L'éclaircissement relatif déterminé par des clairières diversement ajourées variait de 100 % à 66 %, 46 % et 22 %. La mortalité des semis, à la fin de la première année, était peu différente entre les diverses essences (sauf pour l'épicéa qui disparaissait à l'ombre); mais l'auteur indique que les résultats se sont modifiés au cours de la seconde année de végétation. Nous avons constaté le même phénomène pour une essence de lumière typique: le chêne qui, présent en abondance à la fin de la première année sous un couvert dense, disparaissait très rapidement par la suite. Le poids total sec et le poids des aiguilles des résineux augmentent considérablement avec la lumière. La croissance en hauteur semble peu affectée par la réduction de la lumière, au cours de la première année, sauf pour le sapin et l'épicéa. Le rapport de la longueur des racines à la longueur de la pousse annuelle augmente lentement avec la lumière, pour toutes les essences, sauf pour le hêtre. Des essais spéciaux, poursuivis avec cette dernière essence, mettent en évidence l'importance considérable du travail du sol. Le poids sec, la hauteur, le nombre de feuilles, sont nettement inférieurs sous couvert assez dense, pour les sujets ayant cru en sol compact, que pour ceux ayant

bénéficié d'un sol ameubli. Cet effet heureux du travail du sol sur le développement des renaissances naturelles est bien connu des forestiers, et nous l'avons, en particulier, obtenu d'une façon extrêmement nette avec l'épicéa commun (*Picea excelsa*).

*
**

Quittant la brumeuse Angleterre pour les rivages lumineux de la Méditerranée, nous trouvons les intéressantes observations de A. GIACOBBE (8) sur les hêtres et sapins de l'Italie (*Fagus sylvatica* et *Abies pectinata*, races méridionales). Nous ne pouvons mieux résumer cette récente étude qu'en transcrivant les conclusions de son auteur : « dans les montagnes des Apennins et de la Sicile, il est hors de doute que les hêtraies et les sapinières sont soumises, malgré quelques pluies moyennes remarquables, à une sécheresse estivale cumulative du type méditerranéen, que l'on ne retrouve pas dans les hêtraies et les sapinières des Alpes (ni, bien entendu, à plus fortes raisons, dans celles des Vosges et du Jura). Les semis de hêtre et de sapin blanc, sciaphiles et délicats dans l'Europe Centrale et dans les Alpes, cherchent particulièrement dans les milieux méditerranéens, les espaces vides ou plus ou moins découverts, plus favorisés par la pluie et moins soumis à la concurrence des racines. C'est pourquoi ces semis deviennent plus ou moins *héliophiles*, et sont précocement lignifiés, c'est-à-dire plus robustes. La synécologie des hêtraies et des sapinières méditerranéennes a donc changé; il s'ensuit que les méthodes de traitement sylviculturales doivent être modifiées ».

De telles modifications du tempérament du sapin avaient déjà été signalées par GUINIER et ROL, pour les Alpes Méridionales. Elles sont sans doute encore plus accentuées en Italie. Il semble bien, en tous cas, que le hêtre lui-même soit susceptible de devenir, dans ces régions, une essence de pleine lumière.

Le Professeur GIACOBBE vient également de développer ses travaux antérieurs d'écologie générale, en proposant la prise en considération d'un « coefficient méditerranéen », synthèse d'un certain nombre d'éléments essentiels en matière de physiologie végétale (notamment des précipitations estivales). L'analyse de cette importante étude (9) sort naturellement du cadre restreint de cette chronique.

*
**

Plus strictes encore qu'en Italie, semblent être les conditions de régénération des sapinières de Grèce, étudiées par C. MOULOPOULOS (10). La Revue Forestière Française a déjà signalé du reste cet original article.

Dans les trouées, la température au sol peut atteindre en été, 69° C, et de nombreux sujets de sapin de Céphalonie (*Abies ce-*

phalonica), qui constitue la principale essence de ces peuplements, arrivent dans leur jeunesse, à être non seulement desséchés, mais même brûlés, spécialement au collet. Les semis ne s'installent donc bien que sur les lisières sud (exposées au nord) des trouées, abritées contre le soleil trop ardent du milieu de la journée par les grands arbres des peuplements voisins. Dans les grandes trouées, toute régénération a disparu (sauf, curieusement, s'il s'agit de talus de routes en remblais). Sous bois, la concurrence racinaire, et aussi peut-être la réduction de la lumière, font disparaître également, presque toutes les renaissances naturelles. La régénération doit donc être conduite grâce à des trouées de forme spéciale, et restant le plus longtemps possible ombragées. Une collection importante de tableaux et de diagrammes, basés sur des considérations astronomiques, donne les dimensions souhaitables des trouées de régénération, selon la hauteur du peuplement, la pente du sol et l'exposition, et indique comment il convient de diriger leur élargissement vers le Sud, au fur et à mesure que les semis deviennent plus âgés et résistent mieux à la lumière brûlante du soleil hellénique.

*
**

Dans les Hautes-Alpes Autrichiennes, les études d'écologie et de physiologie végétale sont menées avec une précision qui fait honneur aux chercheurs de ce pays, et... avec un luxe de moyens qui laisse rêveurs ceux du nôtre. En effet, pour des stations installées en pleine nature et observant spécialement le comportement du pin Cembro (*Pinus cembra*) à la limite de la végétation, W. TRANQUILLINI (11) dispose des appareils de mesure les plus variés : pour la radiation solaire, du pyranomètre de LINKE (vérifié par DIRMHORN (12) — pour la température de l'air, des aiguilles des pins, et du sol, de thermomètres enregistreurs divers — pour les précipitations de pluvio-nivomètres enregistreurs. Il a également des instruments spéciaux destinés à mesurer la teneur en chlorophylle des sujets étudiés, et même leur pression osmotique. Enfin, pour suivre la marche de leur photosynthèse, W. TRANQUILLINI utilise l'ingénieux appareil URAS (Ultrarot-absorptions-schreiber) de la Badische Anilin und Soda-Fabrik, dont l'intérêt en matière de physiologie végétale a été relevé par HUBER (13), EGLE-SCHENK (14) et BAUMEISTER (15) notamment. On sait que cet appareil utilise essentiellement la faculté qu'a le gaz carbonique, même à très faible dose, d'absorber les radiations infra-rouges. Les jeunes sujets (ou les portions d'organes de grands arbres), enfermés dans des enceintes transparentes et isothermes, baignent dans un léger courant d'air dont les variations de teneur en gaz carbonique sont fidèlement enregistrées par l'URAS. Les conclusions sont très intéressantes : A près de 2 000 mètres d'altitude, l'activité photosynthétique des

jeunes pins diminue sérieusement en octobre et atteint alors, à lumière égale, environ 50 % de celle enregistrée au mois de mai. En novembre, cette activité est réduite à 10 % environ, et la respiration absorbe une bonne partie des produits élaborés. En hiver, la température des aiguilles des sujets situés au-dessus de la couche de neige peut descendre à -15 ou -20° et le sol est gelé profondément. Le bilan devient négatif par jour ensoleillé: la respiration locale qui se déclenche arrive alors à consommer une partie des substances de réserve, car la photosynthèse est à peu près bloquée. Les jeunes plants situés sous la neige restent, par contre, à une température voisine de 0° . La lumière qui pénètre sous la neige diminue très rapidement avec l'épaisseur de celle-ci, et devient pratiquement nulle à 50 ou 60 centimètres de profondeur. Mais l'évolution endogène des pins cembro enneigés se déroule dans des conditions favorables, et, dès le retour du printemps, ils manifestent une activité métabolique intense. W. TRANQUILLINI a également effectué (16-17) d'intéressants travaux sur la résistance au froid des aiguilles de Pin cembro, et sur les phénomènes qui se déroulent dans les tissus gelés. Les études de cet auteur doivent être non seulement consultées, mais méditées, par tous ceux qui s'intéressent aux problèmes de physiologie végétale, et spécialement de photologie forestière.

H. TURNER (18) a observé, grâce à un matériel également très perfectionné, à une altitude voisine de 2 000 mètres, les conditions de répartition des rayonnements solaire et céleste, dans une clairière et sous des peuplements de mélèze (*Larix europaea*) et de pin cembro (*Pinus cembra*). La figure utilisée pour caractériser cette trouée est tout à fait analogue, du reste, au « cercle d'illumination totale » proposé dans un de nos travaux antérieurs (19). Par temps clair, l'horizon relevé entraîne une diminution de la radiation reçue au milieu de la trouée, d'environ 28 % par rapport au plein découvert. Par temps couvert, le rayonnement représente environ 40 % de celui des jours clairs. Par temps ensoleillé, *mais avec des nuages*, la radiation reçue est considérable et peut, par moment, dépasser de 40 à 50 % celle enregistrée par jour clair et ciel entièrement pur.

Sous les peuplements voisins de pin cembro, la radiation moyenne est de 8 à 15 % du plein découvert — sous les mélèzes, ces chiffres sont triplés. Il est probable, d'après l'auteur, que la forte réduction de la radiation, est responsable, en partie, du défaut de rajeunissement observé sous ces peuplements.

*
**

Depuis qu'il a été inventé, en 1836, par le Chanoine italien Angelo BELLANI, l'actinomètre à distillation qui porte son nom, a

subi de nombreuses vicissitudes et transformations. D'abord sorte de thermomètre totalisateur, il fut perfectionné par la suite et en quelque sorte anobli par CANTONI qui, en le dénommant « lucimètre », en 1887, lui reconnut la capacité de mesurer tout au moins la lumière solaire. HENRY, en 1921, 1926 et 1927, l'étudia très à fond, et en le comparant à des actinomètres plus perfectionnés, prouva qu'il était susceptible de mesurer convenablement les radiations naturelles qui, *de toutes les directions*, tombaient sur lui. Par la suite, l'adoption par les météorologistes des actinomètres à surface réceptrice « plane », enregistrant les rayons solaires tombant sur un plan horizontal, le rejetèrent dans un demi-oubli. L'observatoire de Météorologie Physique de Davos, dirigé par le Dr MÖRIKOFER, a entrepris une série d'études très sérieuses sur cet appareil et plusieurs publications (20, 21, 22) ont récemment attiré l'attention des chercheurs de radiobiologie, sur les multiples avantages que présente le « pyranomètre sphérique de BELLANI », ou, par abréviation, le P.B.K.

Il convient de considérer d'abord, selon les spécialistes suisses, que le P.B.K. est un actinomètre *sphérique*, donc qu'il reçoit également les radiations venant de toutes les directions, y compris celles réfléchies par le sol. D'où l'importance de la considération du pouvoir de réflexion du revêtement inférieur, ou « albedo ». Or, les êtres humains, les animaux et les plantes, reçoivent, également, les radiations venant de toutes les directions, ou « circumglobales », et non celles tombant uniquement sur un plan horizontal. Le P.B.K. présente donc un grand intérêt en matière de radiobiologie. Par ailleurs, il est totalisateur, et l'examen des graphiques extrêmement compliqués fournis par les actinomètres enregistreurs modernes, qu'il convient d'intégrer par des travaux de planimétrie délicats, montre bien combien cette qualité est précieuse.

Des précautions sont à prendre : l'appareil doit être bien privé d'air, étalonné soigneusement, vérifié périodiquement. Il ne faut pas laisser pousser la distillation trop loin (2/3 à 3/4 du tube gradué), car la précision diminue alors rapidement. Les conclusions des auteurs sont cependant très favorables : on avance une précision de $\pm 5 \%$, et même $\pm 3 \%$ pour un modèle modifié. On peut dire que l'Observatoire suisse de Davos vient en quelque sorte de réhabiliter, pour tous les radiobiologistes, l'actinomètre à distillation de BELLANI.

*
**

Devant le développement croissant des recherches photologiques, la variété des méthodes adoptées et la diversité des instruments employés, il est très difficile encore, actuellement, de tirer des conclusions même très provisoires, si l'on veut qu'elles revêtent quel-

que caractère de généralité. Les vérités forestières sont, en cette matière comme en d'autres, assez strictement localisées.

On peut cependant reconnaître d'abord deux directions principales de recherches :

1° une branche écologique, utilisant le raisonnement théorique ou des instruments d'observation variés, dans laquelle l'arbre intervient uniquement par ses propriétés optiques, en réfléchissant, absorbant, transmettant, diffusant, filtrant... les rayons naturels qui, ainsi modifiés, caractérisent le microclimat extrêmement varié du milieu forestier.

2° une branche physiologique dans laquelle, cette fois, l'arbre, organisme vivant, devient l'objet d'une étude morphologique, anatomique, histométrique, ou métabolique complexe, déterminant la façon dont il réagit aux multiples effets de la radiation. Cette étude peut s'étendre, naturellement, à l'ensemble de la végétation naturelle qui l'accompagne.

Il est aussi possible de dire que l'impression qui résulte des divers documents actuellement publiés, est que l'effet lumineux seul des radiations naturelles semble très souvent utile, parfois indifférent, rarement nuisible. Par contre, l'effet thermique favorable semble plus strictement localisé : entre un minimum qui ne permet pas à l'arbre de se construire, ou même détruit ses tissus par le gel — et un maximum qui l'amène à perdre par la respiration ce que la photosynthèse élabore, ou bien le tue par dessiccation ou brûlure, la zone utile est bien plus réduite.

Enfin, la multiplicité même de ces travaux, dont l'analyse présente ne donne qu'une très faible idée, et l'intérêt que suscitent de plus en plus ces questions dans les milieux forestiers, contribuent, semble-t-il, à asseoir solidement les fondements de la jeune science photologique.

L. ROUSSEL.

BIBLIOGRAPHIE

1. ROUSSEL L. (1956). — Sur quelques récentes études de photologie forestière. *Revue Forestière Française*, n° 7, p. 512-514.
2. TRONCHET A. et GRANDGIRARD A. (1956). — L'analyse histométrique et son application à l'écologie forestière. *Annales scientifiques de l'Université de Besançon*, 2^e série, Botanique, 8, p. 1-30.
3. GIBOUDEAU A.-M. (1958). — Comportement de plants de *Quercus sessiliflora* âgés de 2 ans en présence de conditions différentes de radiation relative. Diplôme d'études supérieures de Botanique. Besançon, 1958.
4. GOGUELY J. (1958). — Réponses de plants de 2 ans de *Quercus pedunculata* soumis à 6 éclaircissements relatifs différents. Diplôme d'études supérieures de Botanique. Besançon, 1958.
5. ROUSSEL L. (1958). — Exigences minimales en lumière des chênes de la Haute-Saône. *Bulletin de la Société Forestière de Franche-Comté*, mars 1958, p. 13-23.

6. MONNET P. (1958). — L'insolation, sa mesure et son dosage. *Bulletin de la Société d'Etudes des Hautes-Alpes*, n° 50, p. 1-51.
 7. DOWELL M.-H.-D. (1956). — The influence of shade on certain tree seedlings with particular reference to the regeneration of beech. *Forest Society Journal*. Trinity Term, p. 1-11.
 8. GIACOBBE A. (1956). — I lineamenti sinecologici fondamentali della foresta montana appenninica. *Accademia Italiana di Scienze Forestali*, p. 233-47.
 9. GIACOBBE A. (1958). — Ricerche ecologiche sull'aridità nei paesi del Mediterraneo occidentale. Firenze. *Istituto Botanico Dell'Università*, p. 1-79.
 10. MOULOPOULOS C. (1955). — Régénération naturelle des peuplements de sapin en Grèce et particulièrement dans la forêt de Pertouli (Thessalie). *Publication de l'Institut de Sylviculture de l'Université de Thessalonique*, p. 178-277.
 11. TRANQUILLINI W. (1957). — Standortsklima. Wasserbilanz, und CO₂-Gaswechsel Junger Zirben (*Pinus Cembra* L.) an der Alpinen Waldgrenze. *Planta*, Bd 49, p. 612-661.
 12. DIRMHIRN I. (1954). — Einfache Sternpyranometer. *Wetter und Leben*, n° 6, 132.
 13. HUBER B. (1950). — Registrierung des CO₂. Gefälles und Berechnung des CO₂. Stromes über Pflanzengesellschaften mittels Ultrarotabsorptionsschreiber. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.*, 63-53.
 14. EGLE K. und SCHENK W. (1951). — Die Verwendung des Ultrarotabsorptionsschreibers in der Photosyntheseforschung. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.*, 64-180.
 15. BAUMEISTER W. (1952). — Zur Anwendung des Ultrarotabsorptionsschreibers für CO₂. Assimilationsmessungen an abgeschnitten Blättern in Laboratorium. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.*, 65-361.
 16. TRANQUILLINI W. und HOLZER K. (1958). — Über das Gefrieren und Auftauen von Coniferennadeln. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.*, Band LXXI, Heft 3, p. 143-156.
 17. TRANQUILLINI W. (1958). — Die Frosthärte der Zirbe unter besonderer Berücksichtigung autochtoner und aus Forstgärten stammender Jungpflanzen. *Forstw. Chl.*, 3/4 65, 128, p. 89-105.
 18. TURNER H. (1958). — Über das Licht— und Strahlungsklima einer Hänglage der Otztaler Alpen bei Obergurgl und seine Auswirkung auf das Mikroklima und auf die Vegetation. *Archiv für Meteorologie-Geophysik und Bioklimatologie*. Série B. Band 8, 3,4 Heft, p. 263-325.
 19. ROUSSEL L. (1953). — La lumière et la forêt. *Revue Forestière Française*, n° 4, p. 273-290.
 20. MÖRIKOFER W. (1930). — Meteorologische Strahlungsmethoden für Mediziner und Biologen. *Fundamenta Radiologica*. Band 4, Heft 1-2, p. 36-52.
 21. PROHASKA F. (1947). — Das Kugelpyranometer Bellani. *Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft*. Band 57, p. 101-114.
 22. COURVOISIER P. und WIERZEJEWSKI H. (1954). Das Kugelpyranometer Bellani. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie*. Série B, Band 5, 3,4. Heft, p. 413-446.
-