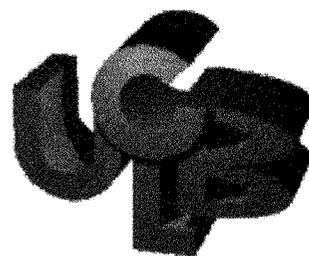


enssib
Ecole Nationale Supérieure
des Sciences de l'Information
et des Bibliothèques



Université
Claude Bernard
Lyon I

DESS Informatique Documentaire
Rapport de recherche bibliographique

**La circulation de l'eau dans l'arbre :
ascension de la sève et transpiration foliaire**

Sophie CORNU

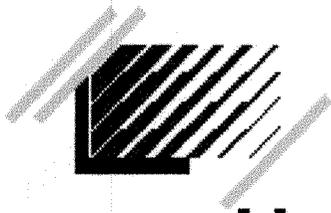
Sous la direction de

Catherine Rigondaud

Office National des Forêts - Service de Documentation technique
Boulevard de Constance
77300 Fontainebleau

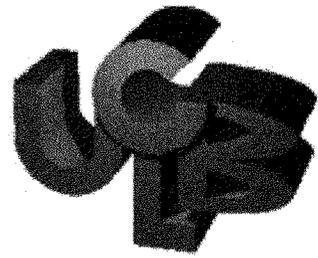


Année 1997-1998



enssib

Ecole Nationale Supérieure
des Sciences de l'Information
et des Bibliothèques



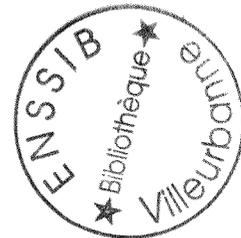
Université
Claude Bernard
Lyon I

DESS Informatique Documentaire

Rapport de recherche bibliographique

**La circulation de l'eau dans l'arbre :
ascension de la sève et transpiration foliaire**

Sophie CORNU



Sous la direction de

Catherine Rigondaud

**Office National des Forêts - Service de Documentation Technique
Boulevard de Constance
77300 Fontainebleau**

Année 1997-1998

1998
iD
4

La circulation de l'eau dans l'arbre : ascension de la sève et transpiration foliaire

Sophie CORNU

Résumé :

La transpiration des arbres est un phénomène important contrôlé par l'interaction de facteurs physiologiques et environnementaux. Cette synthèse tente d'expliquer comment les facteurs extérieurs agissent sur la transpiration et de voir comment les arbres, selon les essences, répondent (1) à des changements climatiques (rayonnement, température, vent) et notamment à la sécheresse atmosphérique ou édaphique), (2) à des changements atmosphériques (augmentation de dioxyde de carbone, d'ozone et d'autres polluants) et enfin (3) à la sylviculture.

La prise en compte des réponses au niveau de la feuille (par les stomates) est importante, mais en milieu forestier, il faut absolument y ajouter les réponses du couvert.

Descripteurs :

TRANSPIRATION; ARBRE FORESTIER FEUILLU; ARBRE FORESTIER RESINEUX; CLIMAT; RESISTANCE A LA SECHERESSE; DIOXYDE DE CARBONE; POLLUTION DE L'AIR; SYLVICULTURE; COMPARAISON INTERSPECIFIQUE

Abstract :

Tree transpiration is an important phenomenon controlled by the interaction between physiological and environmental factors. This paper explains how external factors act on transpiration and shows which kind of adaptations could be developed among tree species in response (1) to climates changes (radiation, temperature, wind) and especially atmospheric and soil drought, (2) to increasing carbon dioxide, ozone and other pollutants in the air and (3) to silviculture.

Functionalities at the leaf level (stomatatas) are important but in forest areas, canopy responses must be taken into consideration.

Keywords :

TRANSPIRATION; HARDWOOD FOREST TREE; SOFTWOOD FOREST TREE; CLIMATE; DROUGHT RESISTANCE; CARBON DIOXIDE; AIR POLLUTION; SILVICULTURE; INTERSPECIFIC COMPARISON

Table des matières

PREMIERE PARTIE : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE.....	5
1. Méthodologie de la recherche.....	5
1.1. Définition du sujet	5
1.1.1 contexte.....	5
1.1.2 restriction du sujet.....	5
1.2. Recensement des sources d'information.....	6
1.2.1. la terminologie forestière.....	6
1.2.2. les sources d'information sur papier.....	6
1.2.3. les catalogues de bibliothèque.....	6
1.2.4. les cédéroms.....	7
1.2.5. les bases de données en ligne.....	8
1.2.6. les ressources sur Internet.....	10
1.3. Choix des descripteurs.....	11
1.3.1. champ sémantique.....	11
1.3.2. limite géographique et climatique.....	11
1.4. Stratégie de recherche.....	12
1.4.1. interrogation de Pascal sur CD-ROM.....	12
1.4.2. interrogation des bases de données en ligne.....	13
1.4.3. recherche sur Internet.....	14
2. Analyse des résultats.....	16
2.1. Critères d'évaluation des résultats.....	16
2.2. Evaluation des résultats trouvés dans CAB Abstracts.....	16
2.3. Apport de l'interrogation des autres bases de données.....	17
3. Sélection et commande des références bibliographiques.....	18
4. Estimation du temps et du coût de la recherche.....	18
4.1. Estimation du temps.....	18
4.2. Estimation du coût.....	18
4.2.1. coût d'interrogation des bases sur Dialog.....	18
4.2.2. coût des documents primaires.....	19
5. Conclusion.....	19
DEUXIEME PARTIE : NOTE DE SYNTHÈSE.....	20
1. Les facteurs physiologiques contrôlant la transpiration : plusieurs échelles à prendre en considération.....	21
1.1. à l'échelle de la feuille : les stomates.....	22
1.2. l'échelle de l'arbre et du peuplement.....	22
a) la surface foliaire.....	22
b) la disposition des feuilles dans le houppier.....	22
c) la structure du couvert.....	23

2. Influence des facteurs climatiques autres que l'eau	23
2.1. la lumière	23
2.2. la température	24
2.3. le vent	24
3. Influence de la disponibilité en eau.....	24
3.1. l'eau atmosphérique	24
a) réduction de la conductance stomatique.....	24
b) cycle diurne de la transpiration	25
3.2. l'eau édaphique	25
a) effets de la sécheresse	25
b) effets d'un apport d'eau	26
c) rôle de la topographie.....	26
3.3. réponses des arbres face à la sécheresse	26
a) les réservoirs d'eau dans l'arbre	26
b) accès à l'eau profonde	27
c) principaux types de comportement des arbres face à la sécheresse	27
3.4. cas particulier des essences méditerranéennes	29
a) les résineux	29
b) les feuillus.....	29
4. Influence de la composition atmosphérique	30
4.1. augmentation de CO ₂ atmosphérique	30
4.2. pollution de l'air	30
a) pollution spécifique à l'ozone	31
b) les autres polluants de l'air	31
5. Influence de la sylviculture.....	31
TROISIEME PARTIE : REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	33
Bibliographie par auteur	33
Bibliographie par essence	37
ANNEXES	43

PREMIERE PARTIE



RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Méthodologie de la recherche

1.1. Définition du sujet

1.1.1 contexte

L'Office National des Forêts (ONF) a décidé il y a quelques années de consacrer quelques numéros spéciaux de son Bulletin Technique pour faire l'état de l'art des connaissances acquises sur la forêt et la photosynthèse. En 1995, cela a donné lieu à une première publication sur le thème "le CO₂ et la forêt"¹ et une seconde va paraître en 1998 sur "la forêt et la lumière". Pour compléter ce panorama, il restait un sujet important à aborder "**l'eau et la forêt**".

Une première rencontre le 24/10/97 avec Catherine Rigondaud (Responsable de la Documentation Technique de l'ONF) a permis d'analyser le contenu d'un tel sujet et de dégager plusieurs sous-thèmes (Cf. Annexe 1).

1.1.2 restriction du sujet

Une deuxième rencontre le 21/11/97 et le résultat d'une première interrogation sur le CD-Rom Pascalet sur CAB Abstracts ont permis de restreindre le champ d'étude trop vaste dans le cadre du travail de recherche bibliographique du DESSID.

- Limites du champ sémantique

Nous nous sommes donc limités à **l'étude de la circulation dans l'arbre incluant la circulation d'eau dans la tige et la transpiration au niveau des feuilles**.

L'ONF souhaitait trouver des références sur l'état de la recherche dans la connaissance de ces mécanismes et de leurs facteurs limitants.

NB : L'absorption de l'eau au niveau des racines, qui complète le schéma de circulation de l'eau dans l'arbre, très liée aux aspects chimiques, physiques et à l'hydromorphie du sol constitue une recherche à part entière et n'a pas été traitée ici.

- Limites géographiques et climatiques

Elles ont été fixées à la France et aux pays tempérés de sorte que les résultats soient transposables aux forêts françaises et utiles aux gestionnaires forestiers.

- Langues

Nous nous sommes limités aux textes de langue anglaise et française.

- Dates

S'agissant de connaître l'état de la recherche, la fraîcheur des informations était importante et nous nous sommes limités aux documents publiés depuis 1990.

- Types de documents

Tous les documents (articles de périodiques, livres, conférences, ...) permettant la rédaction d'une synthèse bibliographique. Eventuellement une liste de scientifiques impliqués dans des programmes de recherche proche de notre sujet afin de constituer un carnet d'adresses.

¹ MORTIER, F. Dynamique du CO₂ dans la biosphère et conséquence sur la photosynthèse, les arbres et la forêt. Analyse et synthèse bibliographique. *Bulletin Technique*, octobre 1995, n°29, 159 p.

1.2. Recensement des sources d'information

La période d'un mois qui s'est écoulée avant la définition définitive du sujet a permis de faire une recherche assez poussée des différentes sources d'information utilisables dans le domaine forestier. Cette recherche a été faite grâce aux ressources disponibles à l'ENSSIB (répertoires de la bibliothèque, CD-ROM, Internet, ...).

1.2.1. la terminologie forestière

- Il existe dans le monde forestier une terminologie, un vocabulaire précis sur lequel l'International Union of Forestry Research Organizations (IUFRO) réfléchit depuis plusieurs années au travers du projet SylvaVoc. En 1997, l'IUFRO a édité une bibliographie internationale de dictionnaires, glossaires et de publications terminologiques en foresterie. Ce document recense en particulier un certain nombre de lexiques et de thésaurus.

PRULLER, R. International Bibliography of Dictionaries, Glossaries and Terminological Publications in Forestry and Related Sciences [On-line]. Vienne : IUFRO, mai 1997. Available from internet : <http://iufro.boku.ac.at/iufro/sylvavoc/hpsv.html>

- Nous avons en outre consulté la base THESAURI accessible gratuitement via Telnet sur le serveur ECHO de la Commission Européenne. Cette recherche a permis de recenser 6 thésaurus spécifiquement forestier (Cf. liste détaillée en Annexe 2). L'inconvénient de la base Thesauri est qu'elle n'a pas été mise à jour depuis 1986. Cependant nous y avons trouvé d'autres références que celles citées par l'IUFRO.

1.2.2. les sources d'information sur papier

Les principales revues bibliographiques dans le domaine forestier sont Forestry Abstracts, Forest Products Abstracts et Agroforestry Abstracts. Elles sont produites par :

CAB International
Wallingford
Oxon, OX10 8DE
United Kingdom
<http://www.cabi.org>

Une consultation du site web de CAB International montre que la couverture de Forestry Abstracts convient tout particulièrement à une recherche sur l'eau et la forêt.

La version papier est disponible (après vérification sur le CD-ROM Myriade Plus disponible à l'ENSSIB) en Rhône-Alpes à l'Université Joseph Fournier de Grenoble, mais comme cette revue bibliographique est également disponible sur d'autres supports, ce déplacement n'était pas indispensable.

1.2.3. les catalogues de bibliothèque

- L'Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts (ENGREF) dispose dans son centre de Nancy d'un fonds très important couvrant la forêt, la sylviculture, l'écologie, le bois et la filière bois, grâce à 650 périodiques vivants, 1000 périodiques morts, 55000 ouvrages et de la littérature grise. Pour toutes les publications postérieures à 1984, un catalogue est disponible par minitel (3616 VELLEDA) ou sur le Web (<http://www.engref.fr/docnancy.htm>).
- La base bibliographique ONF contient près de 5000 références et est interrogeable à l'aide d'une application sous DOS développée en interne. Sa couverture est très "forestière" et elle est destinée à

un public d'utilisateurs bien précis, constitué surtout des forestiers de l'ONF travaillant en métropole². S'agissant d'un outil destiné aux gestionnaires forestiers on y trouve peu de travaux de recherche et, dans le cadre de notre travail bibliographique, on peut regretter que des revues auxquelles la Cellule de Documentation Technique est abonnée (Annales des Sciences Forestières, Canadian Journal of Forest Research) n'y soient pas indexées.

- Certains catalogues de bibliothèques avec accès web sont signalés sur WebCats (<http://www.library.usask.ca/hywebcat>). La consultation de ce site est décevante lorsque l'on ne sait pas dans quelle bibliothèque trouver l'information. Un module de recherche est en cours de développement.

Par contre une recherche sur Yahoo (Cf. recherche sur Internet § 1.2.6.), a permis de découvrir une rubrique .../forestry/libraries dans laquelle nous avons trouvé un document recensant 85 bibliothèques forestières sur Internet :

ROGER, D.S., *A partial listing of world forestry libraries on the Internet*. 1995. Available from internet: <URL : <http://www.geocities.com/RainForest/7317/mainfl.html> >

1.2.4. les cédéroms

La consultation du répertoire "The CD-ROM directory 1995 with multimedias CDs" (TPFL publishing, 13^{ème} édition) contient dans son index sujet, une catégorie spécifique pour la foresterie. 16 CD-ROMs y sont recensés³ (la liste est donnée en Annexe 3).

Parmi ceux-ci, le TREE-CD produit par CAB International est le plus intéressant de par sa couverture scientifique, intellectuelle, géographique et temporelle. Il contient les citations bibliographiques et les résumés publiés dans Forestry Abstracts depuis 1939, dans Forestry Products Abstracts depuis 1978 et dans Agroforestry Abstracts depuis 1979.

Editeur :	Silver Platter Information
Producteur :	CAB International
Type :	Bibliographique
Langue :	Anglais
Couverture géographique :	Internationale
Couverture temporelle :	1939 – nos jours
Sujet :	Foresterie
Mise à jour :	Trimestrielle
Prix :	US version complète 10 800 \$ - mise à jour 1 380 \$

Pour un centre de documentation forestière devant effectuer fréquemment des recherches bibliographiques, ce CD-ROM semble être un l'outil idéal offrant des possibilités d'interrogation beaucoup plus performantes et plus rapides que la version papier associée et moins chères que la consultation de la base de données en ligne correspondante.

Le TREE-CD n'apparaît pas dans la liste des CD-ROMs disponibles en Rhône-Alpes publiée par l'URFIST et l'ONF ne le possède pas. L'interrogation d'autres centres de documentation forestière (CEMAGREF, INRA, CIRAD Forêt, ...) aurait pu être envisagée si cette information n'était pas disponible sur d'autres supports. Comme nous allons le voir, CAB International propose ces mêmes informations en ligne sur serveur, ce qui rendait la démarche inutile.

² **SUERON, C.** *Manuel d'utilisation de la base bibliographique*. Fontainebleau : ONF, 1995. 225 p.

³ Il existe d'autres cédéroms couvrant des domaines plus larges (notamment l'agriculture) et contenant aussi des références bibliographiques forestières (AGRIS, AGRICOLA, ...), nous n'en parlerons pas ici afin de ne pas trop déborder de notre cadre de travail.

1.2.5. les bases de données en ligne

Ayant la possibilité d'interroger le serveur Dialog, la recherche des bases de données en ligne touchant au domaine forestier a été limitée à celles proposées par Knight-Ridder Information.

Dans le catalogue Knight-Ridder (Database Catalogue - Spring 1996), nous avons consulté les catégories "Agriculture, Food Science, and Food Industry" et "Science, Technology, and Engineering" et fait un premier choix vérifié et complété par les informations contenues dans les "Blue Sheet" (<http://library.dialog.com/bluesheets/blues.html>) et sur les sites des producteurs.

Finalement on peut retenir 3 bases de données bibliographiques spécialisées, couvrant exclusivement les domaines de l'agriculture et de la forêt et 3 bases de données généralistes dont les producteurs annoncent un contenu agricole et forestier.

La couverture géographique des bases de données retenues est toujours internationale :

Bases Spécialisées : Agriculture et Forêt

CAB ABSTRACTS

<p><u>Producteur :</u></p> <p>CAB INTERNATIONAL Database Marketing Executive Wallingford Oxon, OX10 8DE United Kingdom Telephone: +44 491 832111 Fax: +44 1491 826090 E-Mail: online@cabi.org (UK Help Desk) http://www.cabi.org</p>	<p><u>Dates de couverture :</u> depuis 1972 <u>Taille :</u> 3.3 million d'enregistrements en mars 1997 <u>Mise à jour :</u> mensuelle (150000 enregistrements / an)</p> <p><u>Type de documents indexés :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bibliographies • Livres, monographies, • Conférences, Congrès • Articles de journaux (14000 périodiques) • Brevets • Rapports • Thèses <p><u>Version papier :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Agroforestry Abstracts • Forest Products Abstracts • Forestry Abstracts (entre autres...) <p><u>Vocabulaire d'indexation :</u> contrôlé par CAB Thesaurus</p>
---	---

AGRIS

<p><u>Producteur :</u></p> <p>Food and Agriculture Organization (FAO) Pièce A-108 Viale delle Terme di Caracalia 00100 Rome -Italie http://www.fao.org/library/agris/AGRIS-F.htm</p>	<p><u>Dates de couverture :</u> depuis 1975 <u>Taille :</u> 1.9 million d'enregistrements en juin 1997 <u>Mise à jour :</u> mensuelle (42000 enregistrements / an)</p> <p><u>Type de documents indexés :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bibliographies • Conférences, Congrès • Articles de journaux • Brevets • Statistiques • Thèses et rapports <p><u>Version papier :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Agrindex <p><u>Vocabulaire d'indexation :</u> contrôlé par Agrovoc</p>
---	--

AGRICOLA

<p><u>Producteur :</u></p> <p>National Agricultural Library (NAL) of the U.S. Department of Agriculture (USDA) Information Systems Division NAL-USDA, 5th Floor Beltsville, MD 20705 Telephone:301-504-6813 Fax:301-504-7473 http://www.nal.usda.gov</p>	<p><u>Dates de couverture :</u> depuis 1970 <u>Taille :</u> 3.3 million d'enregistrements en juin 1997 <u>Mise à jour :</u> mensuelle</p> <p><u>Type de documents indexés :</u> • Bibliographies • Livres et Monographies • Conférences, Congrès • Articles de journaux (2000 périodiques) <u>Version papier :</u> • Bibliography of agriculture</p> <p><u>Vocabulaire d'indexation :</u> contrôlé par CAB Thesaurus</p>
---	---

Bases scientifiques généralistes

PASCAL

est une base multidisciplinaire couvrant notamment les disciplines fondamentales de la physique, de la chimie, des sciences de la vie (incluant biologie, médecine et psychologie), sciences appliquées et technologie, sciences de la terre et sciences de l'information.

L'INIST indique sur son site Web que de 1990 à 1996, seulement 5% des références bibliographiques contenues dans Pascal concernent le domaine "Agriculture, Agroalimentaire, Forêt". Néanmoins la consultation de Pascal semble incontournable.

<p><u>Producteur :</u></p> <p>CNRS/INIST 2, allée du Parc de Brabois 54514 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex France Telephone:(33) 83.50.46.05 Fax:(33) 83.50.46.83 http://www.inist.fr/pascal</p>	<p><u>Dates de couverture :</u> depuis 1973 <u>Taille :</u> 11.4 million d'enregistrements en avril 1997 <u>Mise à jour :</u> mensuelle (50000 enregistrements / an)</p> <p><u>Type de documents indexés :</u> • Livres et Monographies • Conférences, congrès • Articles de journaux (4000 périodiques) • Brevets • Rapports • Thèses</p> <p><u>Version papier :</u> • Bibliographie internationale (ex Bulletin signalétique)</p> <p><u>Vocabulaire d'indexation :</u> descripteurs contrôlés par un lexique de 80000 termes</p>
--	---

CURRENT CONTENTS SEARCH

est une base multidisciplinaire reproduisant la table des matières des 6500 périodiques dans le domaine des sciences, des sciences sociales, des arts et des humanités. L'édition "Agriculture, Biology and Environmental Sciences" contient des références forestières.

<p><u>Producteur :</u></p> <p>Current Contents Search is produced by Institute for Scientific Information ISI Help Desk 3501 Market Street Philadelphia, PA 19104 Telephone:215-386-0100, ext. 1591 800 Line:800-336-4474 Fax:215-386-6362</p>	<p><u>Dates de couverture :</u> depuis 1990 <u>Taille :</u> 7.3 million d'enregistrements en décembre 1997 <u>Mise à jour :</u> hebdomadaire (1500 enregistrements / mise à jour)</p> <p><u>Type de documents indexés :</u> • Articles de journaux (6500 périodiques)</p> <p><u>Version papier :</u> • Currents contents</p> <p><u>Vocabulaire d'indexation :</u> contrôlé par ?</p>
---	---

BIOSIS PREVIEWS

couvre de nombreuses disciplines ayant rapport avec la biologie parmi lesquelles sont citées dans le Biosis Search Guide (consulté à l'URFIST de Lyon) l'écologie, la biologie environnementale, la foresterie, la morphologie et l'anatomie des plantes, la physiologie, les sciences du sol.

<p>Producteur :</p> <p>BIOSIS User Communications 2100 Arch Street Philadelphia, PA Telephone:215-587-4847 Fax:215-587-2016 http://www.biosis.org</p>	<p>Dates de couverture : depuis 1969 Taille : 11.1 million d'enregistrements en novembre 1997 Mise à jour : hebdomadaire (22500 enregistrements / mise à jour)</p> <p>Type de documents indexés : • Livres et Monographies • Conférences, congrès • Articles de journaux (9000 périodiques) • Nomenclatures • Brevets • Rapports</p> <p>Version papier : • Biological Abstracts • Biological Abstracts/RRM • BioResearch Index</p> <p>Vocabulaire d'indexation : Master Index de 20000 termes contrôlés et non contrôlés</p>
--	--

1.2.6. les ressources sur Internet

Les sites Web

Pour cette recherche très générale, nous avons utilisé la liste hiérarchique Yahoo plutôt que les moteurs de recherche. Nous avons trouvé deux répertoires pertinents :

<http://www.yahoo.com/Science/Agriculture/Forestry>

<http://www.yahoo.com/Ecology/Ecosystems/Forest>

La consultation de quelques références citées dans ces répertoires a permis de découvrir des sites très riches, contenant une foule d'informations et de nombreux liens vers des sources plus ciblées.

Nous nous limitons ici à citer quelques adresses incontournables que tout forestier internaute devrait avoir dans son bookmark :

- La bibliothèque virtuelle de foresterie

C'est une bibliothèque "virtuelle" de fichiers HTML, que l'on peut interroger par mots clés. Elle recense des listes de discussions, des événements, des publications, des bases de données, des organisations,...

<http://www.metla.fi/info/vlib/Forestry.html>

- Forestry centres of excellence

Liste d'env. 130 URL de sites forestiers, de revues et de gophers . (ROGERS D.S., mars 1997)

<http://www.geocities.com/RainForest/7317/homefor.html>

- Répertoire de sites W3 en foresterie et environnement

Ce répertoire est tenu et mis à jour très régulièrement par la faculté de foresterie et de géomatique de l'université Laval à Québec. Il propose depuis 1996 une liste d'adresses avec éventuellement un cours descriptif des nouveaux sites en foresterie et en environnement.

<http://sylva.for.ulaval.ca/foresterie/index.html>

- Les ressources d'information forestière sur Internet

Cette publication en ligne est un guide d'utilisation de l'Internet avec des références particulières au monde forestier : listes de discussion, newsgroup, bulletin de bord, revues électroniques, serveurs ftp, gophers, ... Il nous a paru important de citer cette publication très didactique qui exploite complètement les différentes ressources de l'Internet. Par contre, il ne faut pas se limiter aux exemples cités qui manquent un peu de fraîcheur.

SAARIKO, J. Forestry information resources on the Internet [Online]. Helsinki : Finnish Forest Research Institute METLA, Avril 1995. Available from internet : <URL : <http://www.metla.fi/pp/Jsaa/doc/forestry-resources.html> >

Les listes de discussion

On trouve sur les sites précédents jusqu'à 30 listes de discussion différentes.

La plus généraliste au niveau forestier est forest@listserv.funet.fi : elle a débuté en 1992 et regroupe 960 membres dans 30 pays. Les archives de ce groupe de discussion sont disponibles sur le gopher de metla : <gopher://gopher.metla.fi/11/public/discussion/forest/>

Les groupes de News

En consultant la liste des groupes de News accessibles sur le réseau Rocard, nous avons identifié :

bionet.agroforestry

bionet.ecology.physiology

sci.bio.ecology

1.3. Choix des descripteurs

Outre les restrictions de langue ou de date qui ne posent aucune difficulté quelle que soit la source interrogée, le choix des descripteurs a dû tenir compte des contraintes suivantes :

1.3.1. champ sémantique

- La première notion importante de notre sujet est le domaine couvert. Des références bibliographiques portant sur le fonctionnement physiologique des plantes ne nous intéressent pas. Les références doivent être limitées au **domaine forestier**.
- La notion de **transpiration** est suffisamment univoque en biologie végétale pour que ce terme figure tel quel comme descripteur dans les interrogations.
- La notion de **circulation de la sève** pose plus de difficultés. Dans la mesure du possible, il est important d'associer au terme sève la notion de circulation en utilisant les termes "**ascension**" ou "**flux**". Dans le cas contraire, on prend le risque d'avoir du bruit avec des références sur la composition de la sève par exemple.

1.3.2. limite géographique et climatique

La notion de **forêt tempérée** ou de climat tempéré est également importante car elle conditionne l'applicabilité des résultats trouvés aux conditions naturelles de la forêt en France.

- Or, on ne parle généralement de forêt tempérée que par opposition aux forêts équatoriales, tropicales ou boréales : le choix du descripteur "forêt tempérée" n'aurait donc fourni que des références comparatives entre la forêt tempérée et les autres types.
- La recherche aurait pu être limitée aux principales essences françaises mais leur choix nous paraissait difficile et nous aurions pris le risque de perdre "la" référence la plus intéressante.
- Le critère retenu a donc été **le pays où les travaux de recherche ont été menés**.

Pour compléter l'idée d'applicabilité des références en conditions forestières, nous avons décidé d'éliminer les références concernant les semis, car les résultats trouvés en conditions expérimentales sur de jeunes plantations ne sont pas forcément applicables à l'échelle du peuplement.

- nous avons donc ajouté le critère : **sauf semis**.

Les sources d'information que nous avons identifiées et notamment les bases de données en ligne, possèdent toutes un langage documentaire propre. La mise en équation du sujet de recherche avec des termes précis sera donc donnée par la suite pour chacune des sources interrogée.

1.4. Stratégie de recherche

1.4.1. interrogation de Pascal sur CD-ROM

Le but de cette interrogation était de profiter de l'accès gratuit au CD-ROM Pascal à l'ENSSIB pour :

- consulter l'index des descripteurs de PASCAL et donc de rédiger une équation de recherche pour cette base
- tester cette équation en vérifiant l'adéquation des réponses trouvées par rapport au sujet

Mise au point de l'équation de recherche :

Notion à traduire	termes associés dans le lexique PASCAL
domaine forestier	dans les descripteurs nous avons trouvé : ARBRE FORESTIER (FOREST TREE) ARBRE FORESTIER FEUILLU (SOFTWOOD FOREST TREE) ARBRE FORESTIER RESINEUX (HARDWOOD FOREST TREE)
transpiration	dans les descripteurs nous avons trouvé : TRANSPARATION (TRANSPARATION)
circulation de la sève	dans les descripteurs nous avons trouvé : FLUX DE SEVE (SAP FLOW) cela permet de prendre en compte la notion de circulation, mais aucune référence n'est ressortie en combinaison avec ARBRE FORESTIER* Le choix du terme générique SEVE (SAP) a fourni des réponses pertinentes.
forêt tempérée	il n'y a pas de champ géographique : considérant que les chercheurs forestiers travaille sur du matériel proche de leur centre, nous pouvons limiter la recherche à certains pays mentionnés dans l'adresse.

Test de l'équation de recherche :

La recherche sur l'ensemble de l'année 1996, a fourni sans restriction géographique : environ 70 réponses. En se limitant à la France, l'Allemagne, l'Italie, l'Angleterre, le Canada et les Etats-Unis, il restait **25 références**.

L'analyse de ces 25 références donne un taux de pertinence de 80%. Les cinq références considérées comme hors sujet par rapport à nos attentes parlaient néanmoins de transpiration et de circulation de sève mais dans un cadre différent de celui de notre étude.

Nous avons considéré que ce résultat était tout à fait satisfaisant et nous avons appliqué le même schéma pour l'interrogation des bases de données en ligne.

1.4.2. interrogation des bases de données en ligne

Nous avons choisi d'interroger sur Dialog, les trois bases spécialisées CAB Abstracts, AGRIS et AGRICOLA ainsi que PASCAL et BIOSIS PREVIEWS (présentées au § 1.2.5.). La priorité a été donnée à CAB Abstracts compte-tenu de sa large couverture du domaine forestier.

Les autres bases ont été interrogées en complément, l'idée étant d'évaluer leur complémentarité et/ou leur redondance sur le domaine qui nous intéresse par rapport à CAB Abstracts.

Interrogation de CAB ABSTRACTS (50)

Pour établir l'équation de recherche, nous avons consulté le "CAB Thesaurus"⁴ disponible à l'URFIST de Lyon.

Notion à traduire	Termes associés dans CAB Thesaurus	champ DIALOG
domaine forestier	FORESTRY (GENERAL) PLANT-WATER RELATIONS FOREST TREES	CN= CN= /DE
transpiration	TRANSPIRATION	/DE
circulation de la sève	SAP FLOW	/DE
forêt tempérée	OCDE COUNTRIES	/BT
sauf semis	NOT SEEDLING	/DE

Nous aurions pu utiliser les Cabcodes qui permettent de restreindre les recherches à un domaine particulier : CN=FORESTRY (GENERAL) and CN=PLANT-WATER RELATIONS, mais un test rapide a montré que cela ne modifiait pas les résultats obtenus à partir des descripteurs seuls.

Pourquoi avoir choisi les pays de l'OCDE ?

A l'exception du Japon, du Mexique et de la Corée du Sud, l'ensemble des pays de l'OCDE entre bien dans le cadre géographique de notre étude (Cf. Annexe 4)

De plus, outre les pays européens, la prise en compte du Canada, des Etats-Unis, de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande est toute à fait pertinente pour notre travail, car ces pays possèdent des zones forestières importante et l'effort de recherche y est substantiel.

Application de l'équation de recherche dans Dialog :

```
?ss (forest trees)/de and ((sap flow)/de or transpiration/de)
  S1  45741 (FOREST TREES)/DE
  S2   215 (SAP FLOW)/DE
  S3  5636 TRANSPIRATION/DE
  S4   285 S1 AND (S2 OR S3)
?ss s4 not seedling?/de
      285 S4
  S5 19113 SEEDLING?/DE
  S6  248 S4 NOT SEEDLING/DE
?ss s6 and py>=1990
      248 S10
  S7 1077276 PY>=1990
  S8   221 S6 AND PY>=1990
?ss s8 and (la=french or la=english)
      221 S8
  S9 134306 LA=FRENCH
  S10 2375913 LA=ENGLISH
  S11  179 S8 AND (LA=FRENCH OR LA=ENGLISH)
?ss s11 and (oecd countries)/bt
      179 S11
  S12 141029 OECD COUNTRIES/BT
  S13   99 S11 AND (OECD COUNTRIES)/BT
```

-37 rép. (-13%)

-27 rép. (-11%)

-42 rép. (-19%)

-78 rép. (-44%)

⁴ CAB International. CAB Thesaurus. éd. 1988. Vol. 1, 672 p. Vol. 2, 692 p. ISBN 0-85198-949-7

C'est la restriction géographique qui réduit le plus le nombre de réponses par rapport à la question générale sur "la transpiration et le flux de sève des arbres forestiers".

On aboutit finalement à 101 références que nous avons téléchargé au format 4 afin de pouvoir les traiter avec Reference Manager.

Les autres bases de données ont été interrogées selon le même principe en adaptant les descripteurs à la liste des termes contrôlés propre à chaque base. Le détail de ces interrogations est fourni en Annexe 5.

Résultats de l'interrogation en ligne

Base interrogée	CAB ABSTRACTS	AGRICOLA	AGRIS	PASCAL	BIOSIS PREVIEWS
Couverture géographique choisie	OCDE	sans restriction	sans restriction	France Allemagne Italie - Canada Angleterre USA	sans restriction
Nb de réponses	99	24	70	113	36

Ces résultats sont analysés au § 2.1.

1.4.3. recherche sur Internet

Recherche sur le web

- Recherche sur la base de données Uncover

Cette base de données américaine couvre 17000 périodiques et est en accès gratuit sur le web à l'URL <http://www.carl.org>

Les possibilités d'interrogation sont plus limitées que pour les bases sur serveur et notamment la combinaison de mots-clés correspond implicitement à l'opérateur booléen "et" entre les termes.. Nous avons donc effectué deux recherches :

TREE SAP donne 24 réponses

TREE TRANSPIRATION donne 27 réponses

Dans l'analyse des résultats au § 2.3. nous comparerons ces références à celles trouvées sur les bases de données sur serveur.

- Utilisation du moteur de recherche AltaVista

Nous avons effectué une première recherche sur la circulation de la sève puis une seconde sur la transpiration en utilisant le mode "requête avancée" d'AltaVista" sur le web dans toutes les langues.

Question posée	Réponses
"sap flow" near tree*	136 documents avec un bruit dû à des documents sur l'érable à sucre et d'autres sur les insectes ravageurs
("sap flow" near tree) and not syrup* and not insect*	87 documents

Question posée	Réponses
transpiration near tree*	342 documents
utilisation de la fonction "refine" ⁵ pour inclure les documents sur les sujets "Transpiration" et "Forest", les autres ont été ignorés	82 documents

Il faut préciser en préliminaire que chaque document trouvé correspond à une page html pouvant provenir d'une même source : par exemple, le Bayreuther Institut für Terrestrische Okosystemforschung, unité de recherche de l'Université de Bayreuth a fourni 6 réponses pour l'interrogation sur le flux de sève.

Un certain nombre de réponses pointent vers le site de la revue Tree Physiology. La visite de ce site a permis de consulter les sommaires de la revue depuis 1995 et de vérifier que notre recherche sur les bases de données avait bien identifié les articles pertinents. A noter que quelques articles sont téléchargeables gratuitement au format .pdf (Acrobat Reader) dont un⁶ directement lié à notre recherche bibliographique.

(<http://heronpublishing.com/tree/files/samples.html>)

Parmi les réponses riches en information, on trouve le site de l'Unité de Recherche en Ecophysiologie Forestière de l'INRA Nancy (<http://vectra.nancy.inra.fr>) . Les derniers articles publiés par les chercheurs de ce laboratoire sont présentés en version intégrale et en accès libre. L'intérêt est la fraîcheur de l'information notamment par la mise en ligne d'articles acceptés par les revues mais non encore publiés. Les programmes de recherche, les annonces de colloques (notamment les congrès de l'IUFRO) et la mise en ligne de certaines contributions constituent une autre source d'information importante notamment pour l'établissement d'une liste de contacts.

Nous n'avons pas tiré partie de l'ensemble des réponses obtenues sur le web dans la mesure où pour une grande majorité :

- elles ne nous fournissaient pas une information directement exploitable et/ou
- il s'agissait de références trouvées par ailleurs

Listes de discussion et groupes de news

L'abonnement à forest@listserv.funet.fi montre que les discussions sont d'un haut niveau scientifique et les questions posées obtiennent rapidement des réponses. Aucune discussion concernant la circulation de sève où la transpiration n'est apparue à la consultation des archives depuis 1996.

Une recherche rapide dans les archives de news par http://www.dejanews.com/home_ps.shtml ou par Altavista sur Usenet nous a fourni de nombreuses réponses sans intérêt par rapport à notre recherche.

Nous aurions pu exploiter davantage cette ressource, notamment la liste de discussion mentionnée plus haut, si nous avions voulu poser des questions précises sur notre sujet, ce ne fut pas le cas.

Ces outils peuvent également être utilisés pour constituer un carnet d'adresses : une question du type "Chers lecteurs de la liste, y-a-t'il parmi vous des personnes travaillant sur les problématiques de circulation de la sève et de transpiration d'eau par les arbres ?", formulée en anglais et proposant de fournir une synthèse des réponses devrait obtenir un large succès.

⁵ Cf. utilisation de la fonction "refine" pour cette recherche en Annexe 6

⁶ EDWARDS; W.R.N., BECKER, P., EERMACK, J. *A unified nomenclature for sap flow measurements*. Tree Physiology, vol. 17, p. 65.67, 1996.

2. Analyse des résultats

Compte tenu de l'intérêt tout particulier qu'ont présenté les bases de données bibliographiques dans notre recherche, nous nous proposons ici d'analyser les résultats trouvés et de fournir des éléments de comparaisons des différentes sources.

2.1. Critères d'évaluation des résultats

Nous avons trouvé 393 références au total (Cf. tableau p. 12 + références Uncover), il en reste 340 après élimination des doublons. Pour estimer la qualité des réponses obtenues :

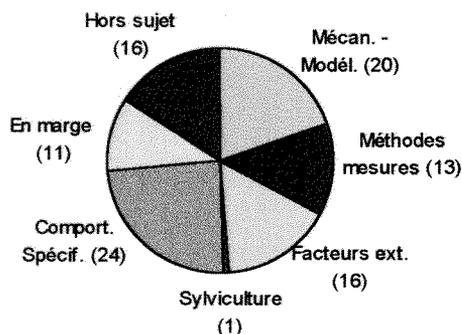
- nous avons ordonné les références selon le thème principal traité (déterminé à l'aide des champs titre, descripteurs et résumé)
- pour chacune, lorsque c'était possible, nous avons précisé sur quelle(s) essence(s) portait la publication et le pays d'origine des auteurs, ceci dans le but de vérifier la transposabilité des informations dans les conditions forestières françaises.
- lorsque le titre n'était pas suffisamment explicite, nous avons traduit quelques parties du résumé.

Ce travail a permis de fournir à C. Rigondaud, un document structuré facilitant la lecture des références et à partir duquel ont été choisis ensuite les éléments pour la synthèse.

Le plan de ce document de travail et un exemple des références mises en forme sont reproduits en Annexe 7.

2.2. Evaluation des résultats trouvés dans CAB Abstracts

Répartition des publications par thème dans CAB (101 réf.)

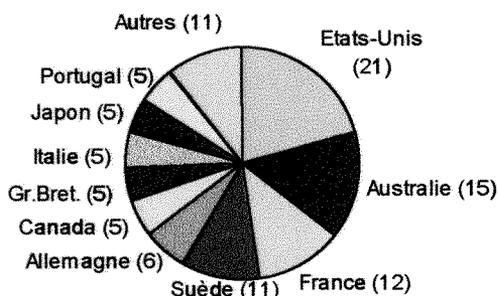


On obtient un taux de pertinence de **84 %** si on exclut les références hors sujet (73% si on y ajoute les références en marge).

Ce résultat confirme l'efficacité des descripteurs et de la base choisie.

On peut toutefois nuancer ce résultat si on observe les essences prises en compte dans les références trouvées : seules **57% des références portent sur des essences présentes en France**.

Répartition des publications par pays dans CAB (101 réf.)



On peut expliquer la forte proportion d'essences "étrangères" par la prédominance de publications issues des Etats-Unis et de l'Australie.

2.3. Apport de l'interrogation des autres bases de données

Base de données	Nb de réf. trouvées	Nb de réf. hors sujet (et en marge)	Taux de pertinence	Proportion de réf. sur les essences présentes en France
AGRIS	70	6 (10)	91% (77%)	58%
AGRICOLA	24	10 (1)	58% (54%)	--
BIOSIS	36	22	38%	--
PASCAL	113	38 (24)	66% (45%)	75%
UNCOVER	51	14 (3)	72% (67%)	--

Base de données	Nb de doublons avec CAB	Nb de réf. pertinentes complémentaires (non hors sujet et non en marge)
AGRIS	18	41
AGRICOLA	1	12
BIOSIS	1	13
PASCAL	8	44
UNCOVER	9	25

N.B. pour ces bases, des graphiques similaires à ceux présentés précédemment pour CAB Abstracts, sont fournis en Annexe 8.

Les interrogations d'AGRIS et de PASCAL ont apporté un gain substantiel à notre étude

- pour AGRIS, c'est une bonne surprise étant donné que nous n'avions pas imposé de limites géographiques : la bonne représentation des pays européens (plus de 50% des références) y compte pour beaucoup.
- pour PASCAL, nous avons imposé une limite géographique nous assurant de trouver des références intéressantes ; 1/3 a pourtant été classé hors sujet : ce bruit provient essentiellement du fait que le descripteur "SAP" a rapatrié des références non limitées à la notion de circulation (nombreux articles sur la composition chimique de la sève)

L'apport d'Uncover réside, comme nous l'avons déjà indiqué au § 1.4.3., dans la fraîcheur de son contenu : les références antérieures à 1997 ont pratiquement toutes été déjà trouvées dans les autres bases de données, alors que pour l'année 1997, on trouve des références qui n'ont pas encore été indexées ailleurs. Cependant les notices bibliographiques sont pauvres (titre, auteurs, revue) ce qui rend difficile la vérification de l'adéquation des réponses trouvées par rapport à des critères tels que l'essence ou le pays.

L'interrogation d'AGRICOLA et de BIOSIS a par contre été décevante, tant du point de vue du nombre total de références trouvées dans chaque base que du point de vue de leur pertinence :

- pour AGRICOLA, cela nous semble lié à la qualité de son indexation : dans les références déchargées, nous avons constaté que les documents notices contenaient peu de descripteurs, le résumé était souvent absent, le champ source (CS) ne nous a pas toujours permis d'identifier le pays et pour 20 réf./24 nous ne savons pas sur quelle(s) essence(s) elles portent.
- pour BIOSIS, on peut penser que malgré la mention d'une couverture forestière dans "Biosis Search Guide", ce n'est pas la priorité des producteurs de la base.

En conclusion, pour une prochaine recherche bibliographique dans le domaine forestier, nous préconisons l'interrogation en priorité de CAB Abstracts, suivie de PASCAL et AGRIS. Sans oublier Uncover sur le web si l'on cherche des références récentes.

3. Sélection et commande des références bibliographiques

Pour le travail de synthèse qui nous est demandé, le sujet a été limité à "l'influence des facteurs environnementaux sur la transpiration des arbres". La sélection des articles a été faite par C. Rigondaud à partir du document décrit au § 2.1. et en Annexe 7.

Les documents ont été entièrement fournis par l'ONF :

- les articles provenant de la Revue Forestière Française, des Annales des Sciences Forestières et du Canadian Journal of Forest Research étaient présents au Centre de Documentation Technique,
- pour les autres, ils ont été commandés à l'INIST auprès de qui l'ONF est client.

4. Estimation du temps et du coût de la recherche

4.1. Estimation du temps

Le schéma ci-dessous représente sur l'échelle de temps des 4 mois donnés pour faire notre recherche, la durée de chacune des tâches (pour la méthodologie et la synthèse) et l'estimation du temps passé. Le temps "facturable" pour cette recherche a été estimé à 15 jours (inférieur au temps réellement passé qui a nécessairement compris une phase d'apprentissage).

	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
METHODOLOGIE					
recherche des sources disponibles	2 j				
mise en équation du sujet / stratégie		1 j			
recherche sur Dialog		½ j	½ j		
recherche sur Internet	½ j	1 ½ j			
analyse des résultats		2 j		2 j	
SYNTHESE					
lecture et analyse des articles				3 j	
rédaction de la note de synthèse et des références bibliographiques					2 j



durée totale

1 j temps réel

4.2. Estimation du coût

4.2.1. coût d'interrogation des bases sur Dialog

Base interrogée	Nb de réf. déchargées	Nb d'heures	Tarif spécial école			
			Coût par référence	Coût par heure	TYMNET / heure	Total par base
AGRICOLA	33	0.25	0	15	6	5.25
AGRIS	70	0.57	0	15	6	11.97
BIOSIS	36	0.52	0	15	6	10.92
CAB	101	0.82	0	15	6	17.22
PASCAL	117	0.95	0	15	6	19.95

TOTAL 65.31 \$
soit 399 F

Base interrogée	Nb de réf. déchargées	Nb d'heures	Tarif normal			
			Coût par référence	Coût par heure	TYMNET / heure	Total par base
AGRICOLA	33	0.25	1.2	30	6	48.6
AGRIS	70	0.57	1.2	30	6	104.52
BIOSIS	36	0.52	1.45	60	6	86.52
CAB	101	0.82	1.4	30	6	170.92
PASCAL	117	0.95	1.45	45	6	218.1

TOTAL 629 \$
soit 3841 F

Le nombre de références déchargées est dans certains cas plus élevé que celui annoncé dans les paragraphes précédents. Il tient compte des quelques incidents de connexion au serveur Dialog.

Le coût de la recherche au tarif normal (obtenu sur les "Blue Sheets" de chacune des bases sur le site web de Knight-Ridder) montre des différences importantes selon les bases interrogées. Ainsi, l'interrogation de Biosis aurait coûté presque aussi cher qu'Aggris pour un niveau de satisfaction bien moindre.

4.2.2. coût des documents primaires

Sur la base tarifaire INIST de :

	jusqu'au 01/02/98	à partir du 01/02/98
les 10 premières pages	48 F	50 F
les 10 suivantes	24 F	25 F
droit de copie (par document)	6 F	7 F

le coût des documents primaires pour notre synthèse bibliographique s'est élevé à 1590 F. Il ne tient pas compte des frais de copie et de la répercussion des abonnements des revues disponibles à l'ONF.

5. Conclusion

Le recensement des sources d'information a dépassé le cadre du sujet de recherche bibliographique, mais il constitue un acquis important pour d'autres recherches dans le domaine forestier. Réalisé avant la recherche bibliographique proprement dite, il a ensuite facilité la traduction du sujet en langage documentaire et le choix de la stratégie.

Internet a plus été utilisé pour compléter des informations que comme véritable outil de recherche. Cela tient en partie au fait que nous recherchions essentiellement des données bibliographiques : dans ce cas, l'interrogation des bases de données est plus efficace car elle permet de choisir les sources d'informations les plus pertinentes par rapport au domaine étudié.

Internet nous semble tout à fait adapté pour la constitution d'un carnet d'adresses (en complément d'une analyse sur les auteurs et les sources des références bibliographiques trouvées). Le temps a manqué pour réaliser ce travail.

En conclusion, ce travail a été riche d'enseignements tant au niveau méthodologique que par l'utilisation des nombreux outils à la disposition du documentaliste.

DEUXIEME PARTIE



NOTE DE SYNTHESE

Préambule

La synthèse qui suit porte sur "l'influence des facteurs environnementaux sur la transpiration des arbres" et a été réalisée à partir de documents sélectionnés dans les résultats de notre recherche bibliographique.

Cinq références citées dans les documents que nous avons utilisés nous ont paru particulièrement importantes. Nous les avons reprises dans la liste des références en les faisant précéder du signe ♦.

Pour la citation des références dans le texte et la rédaction de la bibliographie, nous avons respecté la norme AFNOR Z 44-005 "Documentation - Références bibliographiques - Contenu, forme et structure" et utilisé la méthode du premier élément et de la date.

Par conséquent, la note de synthèse est suivie d'une liste de références appelée "bibliographie par auteur" classée par ordre alphabétique du premier élément suivi de l'année de publication.

Nous avons ensuite proposé une "bibliographie par essence" dont l'avantage est de pouvoir retrouver rapidement les références concernant une espèce d'arbre donnée.

INFLUENCE DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX SUR LA TRANSPIRATION DES ARBRES

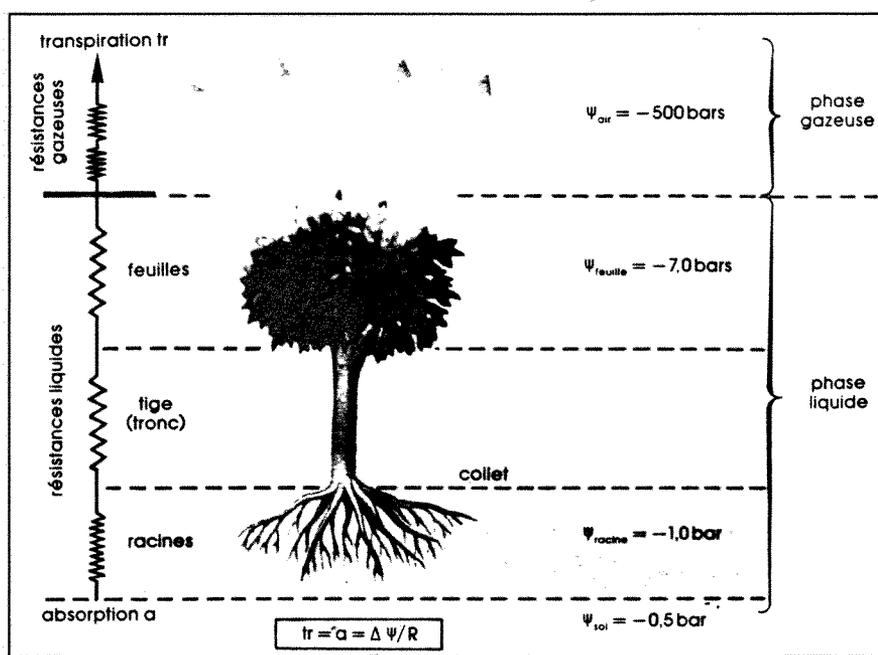
Les végétaux ligneux sont des êtres fixés réalisant l'interface entre les milieux édaphique et aérien. L'arbre se situe ainsi dans un système ouvert à ses deux extrémités, côté sol et côté atmosphère. Des échanges d'eau ont lieu de façon indépendante entre le sol, la plante et l'atmosphère.

Par simple processus physique d'évaporation, les feuilles transpirent par l'intermédiaire des stomates. Le régime de transpiration, déterminé par les conditions microclimatiques (rayonnement, déficit de saturation de l'air, vent), entraîne donc des pertes en eau que l'absorption hydrique racinaire doit compenser (Cruizat et Tyree, 1990).

1. Les facteurs physiologiques contrôlant la transpiration : plusieurs échelles à prendre en considération

La majorité des études cherchant à expliquer le transfert de sève et la transpiration se fait selon une approche analogique proposée par T.H. van den Honert en 1948 et appelée "le formalisme ohmique". S'agissant d'une notion de base, reprise implicitement dans de nombreux articles, il nous a semblé important de la réexpliquer brièvement en préambule de la synthèse qui suit.

Tout comme un courant électrique prend naissance dans un circuit de résistances en série aux bornes duquel existe une différence de potentiel, la sève se déplace à travers la plante, du sol jusqu'à l'atmosphère grâce à l'existence d'une différence de potentiel hydrique entre racines, tiges et feuilles, qui est entretenue par la transpiration (Cruizat et Tyree, 1990).



Chaque organe végétal est caractérisé par une résistance R au transfert de la sève. Lorsque la transpiration (flux d'eau entre les feuilles et l'air) et l'absorption (flux d'eau entre le sol et les racines) sont égales, la valeur de ces flux est donnée par le rapport de la différence de potentiel entre deux points à la résistance entre ces deux points.

(Source : Cruizat et Tyree, 1990)

Comme tronc et racines peuvent constituer des réservoirs d'eau non négligeables, il convient de compléter ce modèle en introduisant des capacités à tous les niveaux du circuit (Dreyer et al., 1990).

Ainsi, le flux de sève dépend à la fois de l'état hydrique des surfaces transpirantes (défini par le potentiel hydrique foliaire), de la disponibilité en eau du sol (défini par le potentiel hydrique du sol) et des propriétés hydrauliques (conductivité, capacité) des différentes parties du réseau conducteur (Loustau et al., 1990).

1.1. à l'échelle de la feuille : les stomates

L'eau, parvenue au niveau de la feuille par le mécanisme décrit ci-dessus, s'évapore dans les cavités sous-stomatiques et est évacuée dans l'atmosphère par ouverture des stomates. C'est grâce à ce dispositif que la plante entretient et contrôle ses échanges gazeux avec l'extérieur : elle perd de la vapeur d'eau d'une part, et d'autre part absorbe le dioxyde de carbone de l'air, nécessaire à la photosynthèse (Cruziat et Tyree, 1990).

C'est au niveau des stomates que se situe la résistance la plus importante, d'une part parce qu'elle est la valeur la plus élevée de l'ensemble du circuit et qu'elle limite ainsi les flux, d'autre part parce que cette résistance est variable, contrairement aux résistances précédentes, et contrôlée par la plante par l'intermédiaire du degré d'ouverture des stomates (Dreyer et al, 1990).

1.2. l'échelle de l'arbre et du peuplement

Si le contrôle stomatique de la transpiration est bien caractérisé à l'échelle de la feuille, il reste important d'étudier les régulations des pertes d'eau à l'échelle du couvert.

a) la surface foliaire

D'une façon générale, on a pu constater que la transpiration des arbres augmentait fortement avec la surface foliaire, donc avec les dimensions du houppier. Pour le Frêne (*Fraxinus excelsior*) par exemple, les arbres au houppier le plus développé sont ceux qui transpirent le plus et l'intensité de la transpiration diminue avec l'état de concurrence de l'arbre, c'est-à-dire lorsque la hauteur relative du houppier diminue (Le Goff et al., 1995).

Pour caractériser la surface foliaire, les chercheurs utilisent très souvent l'indice foliaire (LAI) qui est le ratio de surface foliaire par unité de surface au sol.

Bréda et Granier (1996) ont étudié l'influence de LAI sur la transpiration d'un peuplement de Chêne sessile (*Quercus petraea*) âgé de 35 ans. Les mesures effectuées pendant cinq années successives ont montré que l'augmentation de la transpiration du peuplement au printemps, lorsque la teneur en eau du sol n'est pas limitante (pourcentage d'eau extractible supérieur à 40%) était linéairement corrélée à LAI ($r^2=0,82$).

Lors de l'élaboration d'un modèle de régulation des pertes d'eau à l'échelle du couvert ils ont montré que la conductance du couvert augmentait presque linéairement avec l'indice foliaire sous de hauts rayonnements (>500 w.m⁻²) (Granier et Bréda, 1996).

Chez le Pin maritime (*Pinus pinaster*), le taux de transpiration du couvert d'un peuplement situé au Portugal est apparu de 12-15% inférieur à ceux mesurés au nord de son aire naturelle de distribution. Pour Loustau et al. (1996), cela s'explique surtout par un LAI faible dû à des aiguilles plus courtes et qui ont tendance à se regrouper ("clumping").

b) la disposition des feuilles dans le houppier

En plus de la surface foliaire, il faut également tenir compte de la disposition des feuilles dans le houppier et notamment de leur possibilité d'accès à la lumière (Cf. § 2.1.).

Des mesures de conductance stomatique sur *Populus interamericana* montrent que les valeurs maximum observées varient avec la profondeur dans le houppier : de 0,48 mol.m⁻².s⁻¹ dans les feuilles situées au sommet à 0,074 mol.m⁻².s⁻¹ à la base du houppier (Hinckley et al., 1994). Le même phénomène a été rapporté chez l'Epicéa commun (*Picea abies*) : 0,22 cm.s⁻¹ au sommet et 0,06 cm.s⁻¹ à la base (Granier et Claustres, 1989 in Hinckley et al., 1994).

D'autre part, Granier et Bréda (1996) ont constaté que suite au printemps froid de 1991, les nouvelles feuilles de Chêne sessile se sont disposées différemment selon une distribution plus touffue menant à une exposition moins favorable au soleil. Ce facteur avait affecté la conductance maximale du couvert.

c) la structure du couvert

Même si un lien existe entre la résistance de la feuille et celle du couvert, cette dernière ne peut pas être simplement vue comme la résultante d'un réseau de résistances représentant la strate feuillée, car elle inclut généralement des composants additionnels liés à l'aérodynamique de l'intérieur du couvert. (Pitacco et Gallinaro, 1996).

Selon Hinckley et al. (1994) à l'échelle, et notamment dans des conditions de cuvette ventilée, c'est le mouvement des stomates qui contrôle la perte d'eau par les feuilles. Cependant, à une échelle plus grande, la couche d'air qui entoure les feuilles (couche limite) s'oppose, elle aussi, au transfert de l'eau des feuilles vers l'atmosphère : c'est la résistance aérodynamique. Lorsque celle-ci est faible, la transpiration dépend fortement de la conductance stomatique et donc des conditions climatiques. On parle alors de couverts « couplés » avec l'atmosphère. Par opposition, de nombreux couverts, notamment denses et uniformes, sont tellement « découplés » de l'atmosphère que les principaux facteurs contrôlant la transpiration sont ceux qui influencent les propriétés de la couche limite du couvert (vent, rugosité du couvert).

Le facteur de découplage Ω (qui varie de 0 à 1) quantifie la dépendance de la transpiration par rapport au climat. En général, les couverts lisses, uniformes, à grandes feuilles (i.e. forêts humides tropicales) ont plutôt des hautes valeurs de Ω alors que les couverts irréguliers, à petites feuilles (i.e. forêts résineuses) ont plutôt de petites valeurs de Ω (Jarvis et McNaughton, 1986 in Hinckley et al., 1994 - Granier et Bréda, 1996).

Dans les études menées sur le Chêne sessile en Lorraine, du fait d'un facteur de découplage faible (Ω a été proche de 0,1), les radiations étaient encore disponibles à la base du houppier. Par conséquent, la transpiration est restée proportionnelle à l'indice foliaire même lorsque celui-ci atteint une valeur élevée ($LAI=6$) (Bréda et Granier, 1996).

Dans les peuplements résineux, les auteurs s'accordent à dire que le facteur essentiel déterminant la transpiration d'un arbre est la conductance stomatique en raison d'un plus grand degré de couplage entre le couvert et l'atmosphère (Lu et al., 1995; Loustau et al., 1996).

2. Influence des facteurs climatiques autres que l'eau

Même si peu d'articles traitent spécifiquement et indépendamment de l'influence de ces facteurs sur la transpiration des arbres, nous avons voulu les présenter de façon indépendante car ils jouent un rôle particulier et sont généralement mis en avant dans l'explication des phénomènes physiologiques (Cf. Heller et al., 1993).

2.1. la lumière

L'énergie solaire est le principal moteur de la transpiration : c'est elle qui permet de faire passer l'eau liquide arrivant aux feuilles sous forme de vapeur (Cruziat et Tyree, 1990).

Par ailleurs, chez la plupart des plantes, et cela est vrai pour tous les arbres, la lumière solaire agit en provoquant l'ouverture des stomates. La nuit, la transpiration est généralement faible (Heller et al., 1993).

Lors de l'élaboration d'un modèle de conductance d'un couvert de Chênes sessiles, Granier et Bréda (1996) ont étudié l'effet du rayonnement global et ont constaté que la conductance du couvert était une fonction croissante du rayonnement global et atteint 50% de sa valeur maximale pour $W=82 \text{ W.m}^{-2}$

2.2. la température

Elle intervient fortement avec la lumière dans le mécanisme d'ouverture des stomates et par conséquent influence le cycle horaire et journalier de la transpiration. Aux heures les plus chaudes de la journée, on constate généralement un ralentissement de la transpiration appelé dépression de midi (Heller et al., 1993). La température agit en fait directement sur la sécheresse de l'air (Cf § 3.1.).

Des chercheurs suédois ont appliqué des scénarios de changements climatiques à des peuplements de Pin sylvestres (*Pinus sylvestris*). L'un de ces scénarios consistait en une augmentation de température (en réponse à une augmentation de CO_2 atmosphérique prévue dans les prochaines années). Une augmentation de 3 à 5°C a provoqué une augmentation importante de la transpiration liée à un fort stress hydrique subit par le Pin sylvestre (Gårdenäs, et al., 1995).

2.3. le vent

Le vent, qui renouvelle l'air, favorise la transpiration comme il accélère le séchage du linge (Heller et al., 1993).

Sans que des recherches particulières aient été faites sur l'influence de ce facteur, quelques auteurs soulignent le fait qu'il doit être pris en compte dans la compréhension de la transpiration au niveau du couvert forestier. Avec d'autres facteurs climatiques tels que le rayonnement net et le déficit de saturation de l'air, il joue un rôle important pour les peuplements à faible indice foliaire (Bréda et al., 1995).

Pour les peuplements fermés très découplés de l'atmosphère, son influence sur les propriétés de la couche limite du couvert lui confère un rôle important dans le contrôle de la transpiration (Hinckley et al., 1994).

3. Influence de la disponibilité en eau

3.1. l'eau atmosphérique

Une faible sécheresse de l'air entraîne le départ d'une partie de l'eau des cellules épidermiques sans affecter la turgescence des cellules stomatiques, aux parois plus épaisses, et aboutit à l'incurvation des cellules stomatiques qui ne sont plus comprimées par les cellules épidermiques voisines : les ostioles s'ouvrent et la transpiration augmente. Au contraire, une sécheresse plus accusée provoque en outre l'évaporation d'une partie de l'eau des cellules stomatiques qui se détendent : les ostioles se ferment et la transpiration diminue (Heller et al., 1993).

a) réduction de la conductance stomatique

La fermeture des stomates, induite par un fort déficit de saturation de l'air (v_{pd} = vapeur pressure deficit), va donc limiter la conductance stomatique et, lorsque le facteur de découplage par rapport à l'atmosphère est faible, la conductance du couvert.

Dans un peuplement de Chêne sessile bien irrigué, Bréda et al. (1993a) ont constaté qu'en été la transpiration divergeait fortement de l'évapotranspiration potentielle (ETP) lorsque celle-ci dépassait 4 mm/jour. Ils ont pu relier cet effet à la limitation de la conductance stomatique par la fermeture des

stomates induite par un fort déficit de saturation de l'air. Ils ont par suite vérifié ce phénomène en établissant une relation entre vpd et la conductance maximum du couvert (Granier et Bréda, 1996).

A l'échelle d'un peuplement de Chêne vert (*Quercus ilex*), une étude de la résistance du couvert a également montré une relation linéaire avec vpd (Pitacco et Gallinaro, 1996).

Dans des peuplements résineux sous des conditions hydriques du sol non limitantes, de nombreux auteurs rapportent que le déficit de saturation de l'air est le facteur essentiel déterminant la transpiration. Cela a été vérifié notamment pour le Pin maritime (Loustau et al., 1990 et 1996), l'Epicéa (Lu et al., 1995) et le Sapin pectiné (Guicherd, 1994).

La fermeture des stomates en réaction à un déficit de saturation de l'air intervient cependant à des seuils différents selon les espèces. Ainsi pour l'Epicéa dans les Vosges la conductance stomatique baissait de 50% quand le déficit de saturation de l'air passait de 0.5 à 1.5 MPa (Lu et al., 1995) alors que chez le Sapin pectiné dans les Alpes les stomates se fermaient quand le déficit de saturation de l'air atteignait seulement 0.3 kPa (Guicherd, 1994).

b) cycle diurne de la transpiration

Associées aux variations de lumière et de température, les variations du contenu de l'air en vapeur vont déterminer un cycle diurne de la transpiration passant par un maximum vers le milieu de la journée avec généralement un ralentissement (dépression de midi) aux plus chaudes heures du jour (quand vpd est maximum) (Heller et al., 1993).

Loustau et al. (1996) ont constaté au Portugal sur le Pin maritime un pic le matin, une dépression à midi et un second pic en fin d'après-midi de la conductance du couvert et par suite de la transpiration.

De même des mesures de conductance stomatique et d'assimilation nette en CO₂ sur le Chêne sessile ont montré une forte fermeture stomatique à midi durant les jours chauds avec un fort déficit de saturation de l'air (Epron et al., 1992).

3.2. l'eau édaphique

La disponibilité en eau du sol pour les végétaux s'exprime par le ratio de la fraction extractible par rapport à la quantité d'eau totale à une profondeur donnée. On parle aussi de contenu en eau relatif du sol ou de réserve relative (REW= relative extractable water).

La variabilité de la disponibilité en eau du sol associée aux variations de température va déterminer le rythme saisonnier de la transpiration avec une baisse en hiver et en été (Heller et al., 1993).

a) effets de la sécheresse

Le seuil de REW correspondant à un stress hydrique de l'arbre varie selon les essences, mais plusieurs auteurs mentionnent un seuil vers 0,4.

Ainsi, lorsque REW est compris entre 0,4 et 1, la transpiration (T) des arbres est proportionnelle à l'évapotranspiration potentielle (ETP). Pour les résineux et les feuillus en peuplement fermé, T/ETP est égal à 0,7-0,8 (les valeurs maximum de T/ETP étant proportionnelles à l'indice foliaire du peuplement). Par contre, la transpiration des arbres se réduit par fermeture stomatique lorsque REW est inférieur à 0,4 (Granier et al., 1995).

Dans la première partie, nous avons vu que dans un peuplement de Chêne sessile au printemps, la transpiration augmente linéairement avec l'indice foliaire (LAI). Au cours, de la seconde partie de la saison, même si LAI continue à augmenter en raison de la croissance rythmique des pousses, la transpiration est fortement réduite par la sécheresse édaphique et le rapport T/ETP diminue fortement dès que REW chute en-dessous de 0.4 (Bréda et Granier, 1996).

Loustau et al. (1990), dans un peuplement de Pin maritime ont relevé que le débit de sève (et par suite la transpiration) diminue fortement et ne suit plus l'ETP lorsque la fraction d'eau disponible du sol passe en-dessous de 0.2 en été.

On estime généralement que la plante est en situation de déficit hydrique lorsque son potentiel hydrique de base diminue au-delà d'un certain seuil. Il s'ensuit généralement une réduction de la conductance stomatique plus ou moins importante selon les espèces. Elle est divisée par 5 lorsque le potentiel hydrique de base passe de -0,6 MPa à -1,2 MPa pour le Pin maritime (Loustau et al., 1990), par 2 lorsque le potentiel hydrique de base passe de -0,4 MPa à -0,8 MPa pour l'Epicéa (Lu et al., 1995), par 3 lorsque le potentiel hydrique de base passe de -0,6 MPa à -2,0 MPa pour les Chênes sessile et pédonculé (Bréda et al., 1993b).

Cependant certains auteurs considèrent que le potentiel hydrique de base des feuilles n'est pas le meilleur indicateur de l'intensité du stress quand le sol commence à sécher car il ne peut expliquer la diminution très précoce de la conductance. Pour Bréda et al. (1993b), le potentiel hydrique mesuré dans les 30 premiers cm du sol qui contient 60% des racines fines serait probablement une meilleure caractéristique à relier à la conductance stomatique.

b) effets d'un apport d'eau

Dans un scénario de changement climatique où l'on augmente à la fois la température (3 à 5°C) et les précipitations (de 40 à 70 mm selon les saisons), la transpiration sur différents sites suédois peuplés en Pin sylvestre augmente de 30 à 50%. La disponibilité en eau du sol influence la transpiration directement et indirectement par son influence implicite sur le développement de l'indice foliaire - en régulant l'apport en minéraux et la croissance de l'arbre (Gärdenäs et al., 1995).

Une expérience d'irrigation a été menée sur des Hêtres (*Fagus sylvatica*) de gros diamètre dépérissants poussant sur des sols argileux lourds en montagne. La sécheresse estivale prolongée avait provoqué une diminution de flux de sève importante dans les arbres ayant un petit houppier et un système racinaire limité. Ils avaient grandi dans un couvert dense et ont soudain été exposés à un brutal apport de lumière suite à des chablis et à une éclaircie. Une forte irrigation en fin d'été a rapidement fait augmenter le taux de flux de sève brute de 2 à 5 fois (Cermak et al., 1993).

c) rôle de la topographie

En Australie (Barrett et al., 1996), les forêts humides situées dans les fonds de ravines ont des taux de transpiration par unité de surface de couvert plus élevés que les forêts d'Eucalyptus en haut des pentes exposées au nord (ce qui correspondrait au sud dans l'hémisphère nord) : cela est dû à la combinaison d'une surface de couvert plus grande et d'une situation drainante favorable. Ainsi, les mêmes essences sur les versants exposés au sud montrent des taux de transpiration identiques car malgré un indice foliaire plus important le système racinaire superficiel des forêts humides ne peut faire face à la demande évaporative en période de sécheresse.

3.3. réponses des arbres face à la sécheresse

a) les réservoirs d'eau dans l'arbre

Les arbres sont capables de stocker de l'eau dans leur tronc, leur houppier et leurs racines, comme par exemple le Pin maritime (Loustau et al., 1996).

Chez l'Epicéa (*Picea abies*) le réservoir d'eau disponible a été estimé à 0.5 mm ce qui représente environ un quart de la quantité d'eau moyenne transpirée par jour en conditions hydriques non limitantes, en Suède (Cienciala et al., 1994). La mise au point d'un modèle sol-plante-atmosphère (SPAC) sur ce peuplement a montré que l'absorption en eau (et par suite la transpiration) était surtout sensible à la conductance du couvert et dans une moindre mesure à la conductance de la plante, la taille du réservoir d'eau dans la plante et la conductance aérodynamique.

Pour des Pins maritimes (*Pinus pinaster*) au Portugal la quantité d'eau stockée dans le tronc s'élevait à 12% (10 kg par arbre et par jour) de la transpiration journalière au printemps et la capacité de stockage dans le houppier était du même ordre de grandeur. Le stockage dans le tronc a augmenté jusqu'à représenter 40% de la transpiration journalière à la fin de l'été en conditions de sécheresse. Comparé à d'autres espèces résineuses, la capacité de stockage du Pin maritime est proche des valeurs trouvées pour le Pin sylvestre et plus hautes que celles de l'Epicéa ou du Mélèze (Loustau et al., 1996).

b) accès à l'eau profonde

Certaines essences peuvent par un enracinement profond accéder à de l'eau disponible dans les étages inférieurs du sol et de ce fait mieux résister au stress hydrique. En Australie, les Eucalyptus qui ont accès à de l'eau profonde maintiennent une humidité de l'aubier identique en été, en hiver et en automne, alors que cette humidité diminue en été dans les arbres des forêts humides au système racinaire plus superficiel (Barrett et al., 1996).

Dans un peuplement de Chênes sessiles, l'imposition d'une sécheresse progressive particulièrement marquée (jusqu'à un potentiel hydrique de base de -2,0 MPa) a provoqué une baisse de la conductance hydraulique dont la progressivité a été attribuée à la grande profondeur d'enracinement des arbres (Bréda et al., 1993a). Généralement, la plupart des chênes ont un système racinaire profond, leur permettant de maintenir un potentiel hydrique de base élevé pendant la sécheresse (Vivin et al., 1993).

Selon le niveau de sécheresse du sol, les arbres peuvent prélever l'eau à différentes profondeurs. Les traceurs isotopiques classiquement utilisés en hydrologie offrent des potentialités pour déterminer la profondeur moyenne à laquelle les racines des arbres forestiers prélèvent leur eau d'alimentation. Une expérience comparative sur le Pin sylvestre et l'Epicéa en Suède a ainsi mis en évidence une différence fonctionnelle préalablement établie sur des bases morphologiques et écophysiologicals, à savoir que l'enracinement du Pin est plus profond que celui de l'Epicéa (Bishop et Dambrine, 1995).

c) principaux types de comportement des arbres face à la sécheresse

La stratégie d'évitement

Certaines essences réagissent très rapidement à une situation de stress hydrique par une fermeture précoce des stomates qui va "éviter" des pertes d'eau importantes et permettre de maintenir le potentiel hydrique foliaire à un niveau optimal.

Ce comportement est souvent relaté pour les pins et notamment le Pin maritime dont la sensibilité stomatique élevée lui permet de maintenir un état hydrique foliaire stable au cours de phases de sécheresse édaphique prolongées (Loustau et al., 1990 - Guehl et al., 1994). Dans le peuplement étudié par Loustau et al., un stress hydrique a été observé durant trois saisons de végétation climatiquement contrastées, dans un site pourtant considéré localement comme humide. Cela confirme la nécessité de prise en compte du fonctionnement hydrique du Pin maritime dans la conduite des peuplements landais.

Le Sapin pectiné montre également une réaction très précoce au stress hydrique cohérente avec la légendaire sensibilité du Sapin à l'humidité atmosphérique ainsi qu'à l'eau du sol : la baisse du potentiel hydrique de base à -1 MPa entraîne une chute dramatique de la conductance stomatique (Guicherd, 1994).

La tolérance à la sécheresse

Le fonctionnement hydrique des chênes a été très étudié en France et en Europe suite à des dépérissements constatés après des années de grande sécheresse. Après celle de 1976, des études phytocécologiques ont montré que seul le Chêne pédonculé était sujet au dépérissement tandis que le Chêne sessile n'était pas affecté et le facteur déterminant semblait être le déficit du sol (Becker et Lévy, 1982).

Vivin et al., 1993 ont étudié les effets d'un déficit édaphique contrôlé sur les relations hydriques de jeunes plants cultivés dans de grandes cuves (pour ne pas limiter leur développement racinaire) de Chênes sessile et pédonculé, et également de Chêne rouge (*Quercus rubra*). D'après les résultats expérimentaux, il n'est pas possible, au moins pour de jeunes plants, de mettre en avant une hypothèse sur le comportement différent des espèces de chênes indigènes par rapport au stress hydrique : en particulier, ils n'ont pas constaté de différence de la régulation des échanges gazeux entre le Chêne sessile et le Chêne pédonculé. Par contre les deux espèces diffèrent dans leur taux de survie à de très sévères stress hydriques, et cela correspond avec les différences observées sur la sensibilité de leurs vaisseaux à l'embolie (Cochard et al., 1992). D'autre part les résultats ont confirmé que le chêne rouge est une espèce résistante à la sécheresse, mais que néanmoins sa croissance pouvait être fortement affectée par un déficit hydrique (Vivin et al., 1993).

D'autres chercheurs ont confirmé suite à des études sur peuplement adultes, que les deux espèces de chênes indigènes étaient tolérantes au stress hydrique et qu'il n'y avait pas de différence majeure entre les deux existant dans des conditions naturelles (Bréda et al., 1993b). La transpiration légèrement plus faible observée pour le Chêne pédonculé a été interprétée comme résultant de différences dans le statut social des deux espèces.

Dans une autre étude portant plus particulièrement sur le Chêne sessile, ces mêmes auteurs (Bréda et al., 1993a) ont conclu qu'il s'agissait d'une espèce assez tolérante à la sécheresse du fait à la fois de son enracinement, de l'efficacité de son système de transport de sève et de la capacité à maintenir une certaine ouverture stomatique (au moins pendant des parties de la journée), et donc une transpiration non négligeable jusqu'à des niveaux de dessèchement poussés.

L'adaptation à des alimentations hydriques défavorables suppose non seulement l'économie de l'eau disponible pour les plantes et une résistance au dessèchement, mais aussi la capacité à produire de la biomasse, c'est-à-dire en premier lieu à maintenir une photosynthèse significative même en conditions défavorables (Dreyer et al., 1990).

Le comportement du Chêne tauzin (*Quercus pyrenaica*) diffère de ceux rapportés pour les autres chênes caduques. En réponse à une baisse progressive de la disponibilité en eau du sol, aucun changement substantiel n'a été observé dans le potentiel hydrique de base des feuilles ou dans la conductance stomatique. Ceci indique une gestion non conservatrice de l'utilisation de l'eau avec une tendance à utiliser les réserves en eau progressivement dans les couches les plus profondes évitant ainsi la fermeture des stomates. Cela suggère que l'espèce est bien adaptée pour survivre aux déficits hydriques estivaux tout en maintenant une production photosynthétique (Gallego et al., 1994).

Le Frêne (*Fraxinus excelsior*) peut être considéré comme une espèce grosse consommatrice d'eau dans la mesure où elle ne contrôle que très tardivement sa transpiration. Ce comportement a pour conséquence, toutes choses égales par ailleurs, d'amener cette espèce à des stress hydriques très élevés et ceci beaucoup plus rapidement par exemple que le Chêne pédonculé qui est une espèce écologiquement voisine. Dans l'hypothèse d'une alimentation en eau déficiente, le Frêne se trouve donc beaucoup plus précocement en position difficile que le Chêne (Aussenac et Lévy, 1992).

En 1994, malgré les contraintes hydriques assez fortes subies par les arbres, aucune régulation stomatique n'a pu être détectée : c'est ainsi que la conductance stomatique est restée stable malgré la chute du potentiel hydrique de base des arbres (jusqu'à -1.5 MPa) au cours de la saison de végétation. Ce résultat obtenu sur des arbres en conditions naturelles est à rapprocher des résultats expérimentaux obtenus par Aussenac et Lévy avec des arbres cultivés en cases de végétation et soumis à la sécheresse. Le Frêne apparaît ainsi comme une espèce tolérante à la sécheresse, au regard d'espèces qui régulent leur transpiration très rapidement comme par exemple les Pins (Le Goff et al., 1995).

Conclusion

Quoi qu'il en soit, la stratégie adoptée par les espèces forestières ne présage en rien d'une résistance plus ou moins grande à la sécheresse.

3.4. cas particulier des essences méditerranéennes

Dans les régions méditerranéenne, la sécheresse est la principale contrainte environnementale que la végétation doit assumer. Cette contrainte est caractérisée par une diminution de la disponibilité en eau du sol en été. Sa durée et son intensité montrent de grandes variations inter-annuelles, et les stratégies de survie varient selon les espèces.

Une hiérarchie des mécanismes opérant à différentes échelles augmente l'efficacité d'utilisation de l'eau et diminue l'utilisation d'eau des plantes méditerranéennes. Une réduction de la surface foliaire exposée est citée comme une réponse à long terme (années) des plantes méditerranéennes à l'intensité et à la durée de la période sèche sur différents sites. Les systèmes racinaires profond agissent pour "tamponner" les oscillations de disponibilité d'eau (mois), comme les changements saisonniers de précipitations. A une échelle plus courte (heures, journées), le contrôle stomatique sensible des pertes d'eau fournit un moyen dynamique par lequel l'utilisation de l'eau par le couvert est réduite et les effets dommageables d'une sécheresse prolongée sont évités (Sala et Tenhunen, 1996).

a) les résineux

Guehl et al. (1991) ont publié une étude importante comparant les différentes réponses à la sécheresse fournies par des sapins méditerranéens. *Abies cephalonica* et *Abies marocana* étaient caractérisés par un contrôle stomatique optimal des échanges gazeux. Mais dans cette expérience, la haute efficacité d'utilisation de l'eau (accumulation de biomasse/quantité d'eau transpirée) d'*Abies cephalonica* et *Abies marocana* était davantage liée à de hautes valeurs d'assimilation de CO₂ indiquant une bonne adaptation de ces espèces à la sécheresse. Leur coût d'assimilation du CO₂ (ratio transpiration/assimilation) était en particulier plus faible que pour *Abies nordmanniana* et *Abies alba*.

Le comportement d'*Abies bornmulleriana* est complètement différent car son adaptation à la sécheresse est liée à sa capacité d'éviter un stress hydrique interne. Ainsi à une sécheresse du sol, *Abies bornmulleriana* répond par une fermeture précoce des stomates avant même que le potentiel hydrique de base ne soit affecté de façon sensible.

b) les feuillus

Les feuilles sempervirentes et caduques ont une économie différente de l'assimilation et dans les régions méditerranéennes, les espèces sempervirentes sont plus efficaces que les espèces caduques car leur assimilation se produit pendant toute l'année : la réduction causée par la sécheresse estivale est ainsi minimisée. Une feuille avec une longue durée de vie cependant est métaboliquement plus coûteuse car elle doit être plus résistante aux blessures climatiques et aux prédateurs. (Tretiach, 1993)

Sous des conditions arides, sclérophylle et autres traits xéromorphiques ont été proposés comme des caractéristiques adaptatives importantes des arbres. Cela peut être considéré comme le moyen le plus efficace pour faire face à un environnement potentiellement stressant, sans trop diminuer les échanges gazeux lors de conditions favorables (Pitacco et Gallinaro, 1996).

Ainsi, le Chêne vert (*Quercus ilex*), l'une des espèces méditerranéennes sempervirentes les plus caractéristiques, semble ne pas être plus productif, en conditions de sécheresse, que les espèces caduques. Mais la haute capacité de compétition de cette espèce sempervirente peut être expliquée par une période d'assimilation plus longue pendant l'année, et par des taux de photosynthèses plus élevés pendant les périodes d'équinoxe (Tretiach, 1993).

Le Chêne pubescent (*Quercus pubescens*), espèce caduque, n'évite pas la sécheresse durant l'été. La fermeture progressive des stomates lui permet de conserver des échanges gazeux significatifs même à des potentiels hydriques de base assez faibles, confirmant que cette espèce est tolérante à la sécheresse (Damesin et Rambal, 1995).

Cependant si certaines espèces caduques peuvent être plus efficaces que le Chêne vert durant le stress estival, leur activité est interrompue durant l'hiver, et donc leur assimilation annuelle totale est plus basse (Tretiach, 1993).

4. Influence de la composition atmosphérique

4.1. augmentation de CO₂ atmosphérique

Les relations hydriques de Chênes pubescents et de Chênes verts ayant poussé dans un site naturellement enrichi en CO₂ ont été étudiées en Italie (Tognetti et al., 1996). Comparés à un témoin, les chênes pubescents soumis à des concentrations de CO₂ (on notera [CO₂]) élevées ont une conductance foliaire et une transpiration plus faibles. En même temps les valeurs de potentiel hydrique foliaire étaient plus élevées pour les arbres sous des [CO₂] plus élevées pendant une grande partie de la journée. Dans ce sens, un effet bénéfique de [CO₂] élevées sur les relations hydriques du Chêne pubescent est évident. Par contre, les Chênes verts poussant sous [CO₂] élevées ne montrent pas de différence significative de conductance foliaire et de transpiration par rapport au témoin. Pour les mesures faites en juillet, cela s'explique par la relative insensibilité des stomates à [CO₂] lors de fortes sécheresses.

Sur des semis de Chênes pédonculés, l'application de [CO₂] doublées a induit une augmentation du nombre de feuilles et de la surface foliaire de 30%. Sous l'effet du CO₂, le taux de transpiration a été réduit, mais la transpiration n'a pas été affectée, ce qui traduit une compensation entre l'augmentation de surface foliaire et la fermeture des stomates (confirmé dans Beerling et al., 1996). L'efficacité d'utilisation de l'eau est augmentée de 47% par l'augmentation de [CO₂] en régime favorable et seulement de 18% en régime hydrique limitant (Picon et al., 1996).

Une même expérience a été menée sur le Chêne sessile et le Pin maritime (Guehl et al., 1994). L'efficacité d'utilisation de l'eau a été améliorée dans tous les traitements (augmentation de [CO₂] seule ou combinée avec une sécheresse) mais a toujours été plus élevée pour le Chêne sessile (80%) que pour le Pin maritime (50%). Selon ces auteurs, l'effet de l'augmentation de [CO₂] sur l'efficacité de l'utilisation de l'eau ne peut pas être attribué uniquement au mécanisme de fonctionnement des stomates et des échanges gazeux. Ils suggèrent un rôle possible d'autres caractéristiques physiologiques spécifiques incluant des schémas d'allocation du carbone et des éléments minéraux et des réponses respiratoires.

Le Hêtre (*Fagus sylvatica*) et le Bouleau (*Betula pubescens*) se caractérisent par une sensibilité moindre à des augmentations de [CO₂]. En conditions de sécheresse, pour le Hêtre le contrôle stomatique de la transpiration par unité de surface foliaire semble incapable de compenser le grand développement de la surface foliaire (Beerling et al., 1996 - Overdieck et Forstreuter, 1994).

Si l'augmentation de [CO₂] atmosphérique améliore généralement l'efficacité d'utilisation de l'eau par unité de surface foliaire, il ne faut donc pas en conclure que cela permettrait à toutes les plantes d'acquiescer une meilleure tolérance à la sécheresse dans le futur (Beerling et al., 1996).

4.2. pollution de l'air

De nombreux travaux ont été réalisés pour déterminer le lien entre la fonction stomatique et la pollution de l'air. Les résultats suggèrent que les polluants de l'air - et tout spécialement SO₂ et l'ozone - attaquent directement les cellules de garde des stomates de sorte qu'elles perdent leur capacité à réguler les pertes d'eau (Maier-Maercker, 1997).

a) pollution spécifique à l'ozone

Une expérience menée sur des rameaux d'un Epicéa (*Picea abies*) de 18 ans a permis à Maier-Maercker (1997) de confirmer les résultats de travaux précédents. L'action de l'ozone sur les stomates a provoqué une délignification des cellules de garde, privant ces cellules de leur capacité à percevoir de petits changements d'humidité atmosphérique ou cellulaire.

Des plants de six provenances de Sapin pectiné (*Abies alba*) âgés de trois ans soumis à 10 jours d'exposition à l'ozone ont tous réagi par une réduction de photosynthèse et de transpiration et par une augmentation de respiration : une forte relation dose-réponse a été observée. Par contre, trois mois plus tard, les auteurs n'ont plus observé d'effet sur les échanges gazeux (Larsen et al., 1990). fermeture stomatique était principalement responsable de la réduction de la capacité photosynthétique.

Par ailleurs, des expériences similaires ont été menées aux Etats-Unis sur différentes provenances de *Pinus ellioti* (Johnson et al., 1995). Si la réponse des arbres a montré un potentiel hydrique du xylème très identique entre les jours échantillonnés, les familles et les traitements, par contre, la conductance des aiguilles et le taux photosynthétique montrent des différences significatives selon la famille ou l'exposition à l'ozone. De plus la réponse de la conductance des aiguilles au déficit de saturation de l'air a diminué quand l'exposition à l'ozone augmentait. Pour les provenances sensibles, l'augmentation du niveau d'ozone dans l'air induit une diminution de la sensibilité au déficit de saturation de l'air et un vieillissement accéléré des aiguilles.

b) les autres polluants de l'air

Des études ont été faites en Allemagne sur des Epicéas endommagés (perte et jaunissement des aiguilles) poussant sur un site soumis à des concentrations élevées de SO₂, de NO_x, d'ozone et de NH₄. Les mesures de transpiration le long d'une journée montrent de plus grandes pertes d'eau par les aiguilles des arbres endommagés. De plus les mesures à l'échelle de l'année révèlent que dans les arbres endommagés les vieilles aiguilles ne montrent pas de réduction de transpiration durant les mois d'été et d'hiver. Les fortes pertes d'eau par les aiguilles mènent à une détérioration du statut hydrique de l'arbre, développant un stress hydrique énorme et finalement menant à la chute prématurée des aiguilles. La cause d'une transpiration croissante des aiguilles des arbres endommagés vient probablement d'une détérioration de la structure cellulaire des stomates et notamment à la mort des cellules de garde. (Wild et al., 1996)

L'effet induit d'une augmentation de la transpiration avec la pollution de l'air a également été constaté pour le Pin sylvestre. L'augmentation de la pollution a eu par ailleurs un effet de diminution très forte de la densité de flux de sève près du bois de cœur (Rust et al., 1995).

5. Influence de la sylviculture

Au-delà de l'augmentation de l'éclairage, l'éclaircie se traduit par une amélioration notable de la disponibilité en eau dans le sol et, par voie de conséquence, par une diminution de l'importance et de la durée du stress hydrique : certains auteurs ont pu le vérifier pour un peuplement de Douglas âgé de 19 ans (Aussenac et Granier, 1988) et pour des peuplements de Chêne de 34 ans (Bréda et al., 1994) (in Aussenac et al., 1995) et 43 ans (Bréda et al., 1995).

Cette diminution de contrainte hydrique a une influence notable sur la conductance stomatique et la capacité de photosynthèse. L'augmentation de la photosynthèse se traduit essentiellement par une augmentation de croissance en circonférence des arbres qui se produit dès la première année suivant l'ouverture du couvert : c'est le résultat d'une vitesse de croissance plus grande et d'une durée plus importante de la période d'accroissement. Mais le gain en croissance dépend du rang social des arbres.

Ainsi, chez le Douglas (Aussenac et al., 1988), ce sont les arbres co-dominants qui ont le plus bénéficié de l'éclaircie alors que chez le Chêne (Bréda et al., 1994) l'effet est moins net et ce sont les arbres les plus gros qui ont été principalement concernés (in Aussenac et al., 1995).

D'autre part, ces mêmes auteurs soulignent que dans le bilan hydrique des écosystèmes forestiers, l'influence de la végétation au sol est souvent sous estimée. Négligeables dans les peuplements à couverts très denses comme les pessières artificielles, les strates herbacées et arbustives jouent un rôle non négligeable dans le bilan hydrique des peuplements à couvert principal plus clair tels que les pineraies, les chênaies ou même les douglasaies. L'enlèvement partiel ou total de ces strates a pour conséquence une baisse de l'interception des précipitations et un abaissement de la compétition pour l'eau (Aussenac et al., 1995).

Au Canada l'explication des mauvais résultats d'une éclaircie de Douglas a été attribuée à la combinaison d'un stress hydrique pendant l'été et du rôle important du sous-étage dans le bilan hydrique du peuplement (Spittlehouse, 1997) : après l'éclaircie, les arbres individuels transpiraient plus d'eau, mais cela s'est accompagné d'un doublement de la transpiration du sous-étage tendant à couvrir les gains obtenus par la coupe des autres arbres.

Nous avons vu précédemment que LAI limitait la transpiration dans les couverts avec de grands indices foliaires. En couvert ouvert, donc avec un faible indice foliaire, la transpiration devient plus dépendante de facteurs climatiques tels que le rayonnement net, le vent et le déficit en eau de l'air (Bréda et al., 1995).

Les données disponibles permettent donc maintenant d'envisager une définition moins classique des éclaircies sur des bases écophysiologicals et notamment hydriques. L'enlèvement d'une partie des arbres d'un peuplement se traduit par des changements microclimatiques qui entraînent des modifications notables dans le fonctionnement écophysiological des arbres : au niveau des phénomènes de photosynthèse et de transpiration et au niveau de la croissance, de la forme et de l'importance des houppiers. (Aussenac et al., 1995)

Conclusion :

L'art de la transpiration chez les arbres, consiste

- à éviter un trop grand stress hydrique qui pourrait provoquer des dépérissements tels que le dessèchement, la perte des aiguilles, l'embolie, ...
- tout en maintenant une activité photosynthétique nécessaire à la vie de l'arbre et sa croissance.

Les répercussions du fonctionnement transpiratoire sur la croissance ont été décrites par de nombreux auteurs. Bréda et Granier (1996) ont mis en évidence que ces répercussions pouvaient dépasser le cadre de la saison de végétation. Lors d'une étude sur le Chêne sessile, ils ont observé sur des mesures d'accroissement en circonférence 43% de l'accroissement annuel était réalisé avant le développement des feuilles, donc avant la reprise de la transpiration et d'assimilation du carbone. La surface de chaque cerne était étroitement corrélée à la transpiration cumulée au cours de la saison de végétation.

La compréhension du fonctionnement hydrique des arbres au travers des travaux décrits dans cette synthèse, devrait permettre aux écophysiologicals de fournir aux forestiers des renseignements précieux sur le choix et la conduite des essences dans un environnement donné (Aussenac et al., 1995).

TROISIEME PARTIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bibliographie par auteur

- ♦ **AUSSENAC, G., GRANIER, A.** 1988. Effects of thinnings on water stress and growth in Douglas-fir. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 18, no. 1, p. 100-105.

- AUSSENAC, G., LEVY, G.** 1992. Les exigences en eau du frêne (*Fraxinus excelsior* L.). *Revue Forestière Française*, vol. 44, no. spécial, p. 32-38.

- AUSSENAC, G., GRANIER, A., BRED A N.** 1992. Effets des modifications de la structure du couvert forestier sur le bilan hydrique, l'état hydrique des arbres et la croissance. *Revue Forestière Française*, vol. 47, no. 1, p. 54-62.

- BARRETT, D.J., HATTON, T.J., ASH, J.E., BALL, M.C.** 1996. Transpiration by Trees From Contrasting Forest Types. *Australian Journal of Botany*, vol. 44, no. 3, p. 249-263.

- BECKER, M., LEVY, G.** 1982. Le dépérissement du chêne en forêt de Tronçais : les causes écologiques. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 39, p. 439-444.

- BEERLING, D.J., HEATH, J., WOODWARD, F.I., MANSFIELD, T.A.** 1996. Drought-CO₂ interactions in trees : observations and mechanisms. *New Phytologist*, vol. 134, no. 2, p. 235-242.

- BISHOP, K., DAMBRINE, E.,** 1995. Localization of tree water uptake in Scots pine and Norway spruce with hydrological tracers. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 25, no. 2, p. 286-297.

- BRED A N., COCHARD, H., DREYER, E., GRANIER, A.** 1993. Water transfer in a mature oak stand (*Quercus petraea*) : seasonal evolution and effects of a severe drought. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 23, no. 6, p. 1136-1143.

- BRED A N., COCHARD, H., DREYER, E., GRANIER, A.** 1993. Field comparison of transpiration, stomatal conductance and vulnerability to cavitation of *Quercus petraea* and *Quercus robur* under water stress. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 50, no. 6, p. 571-582.

- ♦ **BRED A N.** 1994. *Analyse du fonctionnement hydrique des Chênes sessile (*Quercus petraea*) et pédonculé (*Quercus robur*) en conditions naturelles. Effets des facteurs du milieu et de l'éclaircie.* Thèse de Doctorat : Université Henri-Poincaré - Nancy 1, 59 p.

- BRED A N., GRANIER, A., AUSSENAC, G.** 1995. Effects of thinning on soil and tree water relations, transpiration and growth in an oak forest (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). *Tree Physiology*, vol. 15, no. 5, p. 295-306.

- BRED A N., GRANIER, A.** 1996. Intra- and interannual variations of transpiration, leaf area index and radial growth of a sessile oak stand (*Quercus petraea*). *Annales des Sciences Forestières*, vol. 53, no. 2/3, p. 521-536.

- CERMAK, J., MATYSSEK, R., KUCERA, J.** 1993. Rapid response of large drought-stressed beech trees to irrigation. *Tree Physiology*, vol. 12, p. 281-290.

- CIENCIALA, E., ECKERSTEN, H., LINDROTH, A., HALLGREN, J.E.** 1994. Simulated and measured water uptake by *Picea abies* under non-limiting soil water conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 71, p. 147-164.

- COCHARD, H., BREDA, N., GRANIER, A., AUSSENAC, G.** 1992. Vulnerability to air embolism of three oak species (*Quercus petraea*, *Q. pubescens*, *Q. robur*). *Annales des Sciences Forestières*, vol. 49, p. 225-233.
- COCHARD, H., BREDA, N., GRANIER, A.** 1996. Whole tree hydraulic conductance and water loss regulation in *Quercus* during drought : evidence for stomatal control of embolism ? *Annales des Sciences Forestières*, vol. 53, no. 2/3, p. 197-206.
- CRUIZIAT, P., TYREE, M.T.** 1990. La montée de la sève dans les arbres. *La Recherche*, vol. 21, no. 220, p. 406-414.
- DAMESIN, C., RAMBAL, S.** 1995. Field study of leaf photosynthetic performance by a Mediterranean deciduous oak tree (*Quercus pubescens*) during a severe summer drought. *New Phytologist*, vol. 131, no. 2, p. 159-167.
- DREYER, E., COLIN-BELGRAND, M., SCUILLER, I. et al.** 1990. Diversité des caractéristiques écophysologiques des chênes européens. Quelques exemples. *Revue Forestière Française*, vol. 42, no. 2, p. 174-181.
- EPRON, D., DREYER, E.** 1992. Photosynthesis of oak trees (*Q. petraea* (Matt) Liebl) during drought under field conditions : diurnal course of net CO₂ assimilation and photochemical efficiency of photosystem II. *Plant, Cell and Environment*, vol. 15, p. 335-341.
- GALLEGO, H.A., RICO, M., MORENO, G., REGINA, I.S.** 1994. Leaf water potential and stomatal conductance in *Quercus pyrenaica* Willd. forests : vertical gradients and response to environmental factors. *Tree Physiology*, vol. 14, no. 7/9, p. 1039-1047.
- GARDENAS, A.I., JANSSON, P.E.** 1995. Simulated water balance of Scots pine stands in Sweden for different climate change scenarios. *Journal of Hydrology*, vol. 166, no. 1/2, p. 107-125.
- ♦ **GRANIER, A., CLAUSTRÉS, J.P.** 1989. Relations hydriques d'un épicéa (*Picea abies* L.) en conditions naturelles: variations spatiales. *Acta Oecologica*, vol. 10, p. 295-310.
- GRANIER, A., BADEAU, V., BREDA, N.** 1995. Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers. *Revue Forestière Française*, vol. 47, no. spécial, p. 59-68.
- GRANIER, A., BREDA, N.** 1996. Modelling canopy conductance and stand transpiration of an oak forest from sap flow measurements. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 53, no. 2/3, p. 537-546.
- GUEHL, J.M., AUSSENAC, G., BOUACHRINE, J. et al.** 1991. Sensitivity of leaf gas exchange to atmospheric drought, soil drought, and water-use efficiency in some Mediterranean *Abies* species. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 21, no. 2/3, p. 1507-1515.
- GUEHL, J.M., PICON, C., AUSSENAC, G., GROSS, P.** 1994. Interactive effects of elevated CO₂ and soil drought on growth and transpiration efficiency and its determinants in two European forest tree species. *Tree Physiology*, vol. 14, no. 7/9, p. 707-724.
- GUICHERD, P.** 1994. Water relations of European silver fir (*Abies alba* Mill.) in 2 natural stands in the French Alps subject to contrasting climatic conditions. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 51, no. 6, p. 599-611.
- HELLER, R., ESNAULT, R., LANCE, C.** 1993. *Physiologie végétale. 1. nutrition*. Paris : Masson. 294 p.

- HINCKLEY, T.M., BROOKS, J.R., CERMAK, J., et al.** 1994. Water flux in a hybrid poplar stand. *Tree Physiology*, vol. 14, no. 7/9, p. 1005-1018.
- ♦ **JARVIS, P.G., McNAUGHTON, K.G.** 1986. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. *Advanced Ecological Research*, vol. 15, p. 1-49.
- JOHNSON, J.D., BYRES, D.P., DEAN, T.J.** 1995. Diurnal water relations and gas exchange of two slash pine (*Pinus elliottii*) families exposed to chronic ozone levels and acidic rain. *New Phytologist*, no. 3, vol. 131, p. 381-392.
- LARSEN, J.B., YANG, W., TIEDEMANN, A.V.** 1990. Effects of ozone on gas exchange, frost resistance, flushing and growth of different provenances of European silver fir (*Abies alba* Mill.). *European Journal of Forest Pathology*, vol. 20, no. 4, p. 211-218.
- LE GOFF, N., GRANIER, A., OTTORINI, J.M. et al.** 1995. Croissance du frêne, structure de l'appareil photosynthétique et disponibilité en eau. *Revue Forestière Française*, vol. 47, no. spécial, p. 156-164.
- LOUSTAU, D., GRANIER, A., EL HADJ MOUSSA, F.** 1990. Evolution saisonnière du flux de sève dans un peuplement de pins maritimes. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 21, no. 6, p. 599-618.
- LOUSTAU, D., BERBIGIER, P., ROUMAGNAC, P., et al.** 1996. Transpiration of a 64-year-old maritime pine stand in Portugal. 1. Seasonal course of water flux through maritime pine. *Æcologia*, vol. 107, no. 1, p. 33-42.
- LU, P., BIRON, P., BREDI, N., GRANIER, A.** 1995. Water relations of adult Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) under soil drought in the Vosges mountains: water potential, stomatal conductance and transpiration. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 52, no. 2, p. 117-129.
- MAIER-MAERCKER, U.** 1997. Experiments on the water balance of individual attached twigs of *Picea abies* (L.) Karst. in pure and ozone-enriched air. *Trees: Structure and Function*, vol. 11, no. 4, p. 229-239.
- OVERDIECK, D., FORSTREUTER, M.** 1994. Evapotranspiration of beech stands and transpiration of beech leaves subject to atmospheric CO₂ enrichment. *Tree Physiology*, vol. 14, no. 7/9, p. 997-1003.
- PICON, C., GUEHL, J. M., AUSSENAC, G.** 1996. Growth dynamics, transpiration and water-use efficiency in *Quercus robur* plants submitted to elevated CO₂ and drought. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 53, no. 2/3, p. 431-446.
- PITACCO, A., GALLINARO, N.** 1996. Micrometeorological assessment of sensitivity of canopy resistance to vapour pressure deficit in a Mediterranean oak forest. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 53, no. 2/3, p. 513-520.
- RUST, S., LUETTSCHWAGER, D., HUETTL, R.F.** 1995. Transpiration and hydraulic conductivity in three Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands with different air pollution histories. *Water, air and soil pollution*, vol. 85, no. 3, p. 1677-1682.
- SALA, A., TENHUNEN, J.D.** 1996. Simulations of canopy net photosynthesis and transpiration in *Quercus ilex* L. under the influence of seasonal drought. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 78, no. 3/4, p. 203-222.

- SPITTLEHOUSE, D. L.** 1997. Modeling the effect of thinning on tree water use. *17th Conference on Agricultural and Forest Meteorology and seventh Conference on Biometeorology and Aerobiology, May 21-24, 1985, Scottsdale, Ariz. : preprint volume / sponsored by the American Meteorological Society*. p. 256-258.
- TOGNETTI, R., GIOVANNELLI, A., LONGOBUCCO, A. et al.** 1996. Water relations of oak species growing in the natural CO₂ spring of Rapolano (central Italy). *Annales des Sciences Forestières*, vol. 53, no. 2/3, p. 475-485.
- TRETIACH, M.** 1993. Photosynthesis and transpiration of evergreen Mediterranean and deciduous trees in an ecotone during a growing season. *Acta Œcologica*, vol. 14, no. 3, p. 341-360.
- VIVIN, P., AUSSENAC, G., LEVY, G.** 1993. Differences in drought resistance among 3 deciduous oak species grown in large boxes. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 50, no. 3, p. 221-233.
- WILD, A., SABEL, P., WILD-PETERS, L., SCHMIEDEN, U.** 1996. Photosynthesis and Transpiration in Damaged and Undamaged Spruce Trees. *Zeitschrift für Naturforschung*, vol. 51c, no. 4, p. 200-210.

Bibliographie par essence

CRUIZIAT, P., TYREE, M.T. 1990. La montée de la sève dans les arbres. *La Recherche*, vol. 21, no. 220, p. 406-414.

HELLER, R., ESNAULT, R., LANCE, C. 1993. *Physiologie végétale. 1. nutrition*. Paris : Masson. 294 p.

- ♦ **JARVIS, P.G., McNAUGHTON, K.G.** 1986. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. *Advanced Ecological Research*, vol. 15, p. 1-49.

1. LES ESSENCES FEUILLUES

• CHENES

BECKER, M., LEVY, G. 1982. Le dépérissement du chêne en forêt de Tronçais : les causes écologiques. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 39, p. 439-444.

VIVIN, P., AUSSENAC, G., LEVY, G. 1993. Differences in drought resistance among 3 deciduous oak species grown in large boxes. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 50, no. 3, p. 221-233.

Quercus petraea

AUSSENAC, G., GRANIER, A., BREDA N. 1992. Effets des modifications de la structure du couvert forestier sur le bilan hydrique, l'état hydrique des arbres et la croissance. *Revue Forestière Française*, vol. 47, no. 1, p. 54-62.

BREDA, N., COCHARD, H., DREYER, E., GRANIER, A. 1993. Water transfer in a mature oak stand (*Quercus petraea*) : seasonal evolution and effects of a severe drought. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 23, no. 6, p. 1136-1143.

BREDA, N., COCHARD, H., DREYER, E., GRANIER, A. 1993. Field comparison of transpiration, stomatal conductance and vulnerability to cavitation of *Quercus petraea* and *Quercus robur* under water stress. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 50, no. 6, p. 571-582.

- ♦ **BREDA, N.** 1994. *Analyse du fonctionnement hydrique des Chênes sessile (*Quercus petraea*) et pédonculé (*Quercus robur*) en conditions naturelles. Effets des facteurs du milieu et de l'éclaircie*. Thèse de Doctorat : Université Henri-Poincaré - Nancy 1, 59 p.

BREDA, N., GRANIER, A., AUSSENAC, G. 1995. Effects of thinning on soil and tree water relations, transpiration and growth in an oak forest (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). *Tree Physiology*, vol. 15, no. 5, p. 295-306.

BREDA, N., GRANIER, A. 1996. Intra- and interannual variations of transpiration, leaf area index and radial growth of a sessile oak stand (*Quercus petraea*). *Annales des Sciences Forestières*, vol. 53, no. 2/3, p. 521-536.

COCHARD, H., BREDA, N., GRANIER, A., AUSSENAC, G. 1992. Vulnerability to air embolism of three oak species (*Quercus petraea*, *Q. pubescens*, *Q. robur*). *Annales des Sciences Forestières*, vol. 49, p. 225-233.

COCHARD, H., BREDA, N., GRANIER, A. 1996. Whole tree hydraulic conductance and water loss regulation in *Quercus* during drought : evidence for stomatal control of embolism ? *Annales des Sciences Forestières*, vol. 53, no. 2/3, p. 197-206.

- DREYER, E., COLIN-BELGRAND, M., SCULLER, I. et al.** 1990. Diversité des caractéristiques écophysologiques des chênes européens. Quelques exemples. *Revue Forestière Française*, vol. 42, no. 2, p. 174-181.
- EPRON, D., DREYER, E.** 1992. Photosynthesis of oak trees (*Q. petraea* (Matt) Liebl) during drought under field conditions : diurnal course of net CO₂ assimilation and photochemical efficiency of photosystem II. *Plant, Cell and Environment*, vol. 15, p. 335-341.
- GRANIER, A., BADEAU, V., BREDA, N.** 1995. Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers. *Revue Forestière Française*, vol. 47, no. spécial, p. 59-68.
- GRANIER, A., BREDA, N.** 1996. Modelling canopy conductance and stand transpiration of an oak forest from sap flow measurements. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 53, no. 2/3, p. 537-546.
- GUEHL, J.M., PICON, C., AUSSENAC, G., GROSS, P.** 1994. Interactive effects of elevated CO₂ and soil drought on growth and transpiration efficiency and its determinants in two European forest tree species. *Tree Physiology*, vol. 14, no. 7/9, p. 707-724.
- VIVIN, P., AUSSENAC, G., LEVY, G.** 1993. Differences in drought resistance among 3 deciduous oak species grown in large boxes. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 50, no. 3, p. 221-233.

Quercus robur

- BEERLING, D.J., HEATH, J., WOODWARD, F.I., MANSFIELD, T.A.** 1996. Drought-CO₂ interactions in trees : observations and mechanisms. *New Phytologist*, vol. 134, no. 2, p. 235-242.
- BREDA, N., COCHARD, H., DREYER, E., GRANIER, A.** 1993. Field comparison of transpiration, stomatal conductance and vulnerability to cavitation of *Quercus petraea* and *Quercus robur* under water stress. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 50, no. 6, p. 571-582.
- ♦ **BREDA, N.** 1994. *Analyse du fonctionnement hydrique des Chênes sessile (Quercus petraea) et pédonculé (Quercus robur) en conditions naturelles. Effets des facteurs du milieu et de l'éclaircie.* Thèse de Doctorat : Université Henri-Poincaré - Nancy 1, 59 p.
- COCHARD, H., BREDA, N., GRANIER, A., AUSSENAC, G.** 1992. Vulnerability to air embolism of three oak species (*Quercus petraea*, *Q. pubescens*, *Q. robur*). *Annales des Sciences Forestières*, vol. 49, p. 225-233.
- DREYER, E., COLIN-BELGRAND, M., SCULLER, I. et al.** 1990. Diversité des caractéristiques écophysologiques des chênes européens. Quelques exemples. *Revue Forestière Française*, vol. 42, no.2, p. 174-181.
- PICON, C., GUEHL, J. M., AUSSENAC, G.** 1996. Growth dynamics, transpiration and water-use efficiency in *Quercus robur* plants submitted to elevated CO₂ and drought. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 53, no. 2/3, p. 431-446.
- VIVIN, P., AUSSENAC, G., LEVY, G.** 1993. Differences in drought resistance among 3 deciduous oak species grown in large boxes. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 50, no. 3, p. 221-233.

Quercus pyrenaica

- GALLEGO, H.A., RICO, M., MORENO, G., REGINA, I.S.** 1994. Leaf water potential and stomatal conductance in *Quercus pyrenaica* Willd. forests : vertical gradients and response to environmental factors. *Tree Physiology*, vol. 14, no. 7/9, p.1039-1047.

- **HETRE**

Fagus sylvatica

BEERLING, D.J., HEATH, J., WOODWARD, F.I., MANSFIELD, T.A. 1996. Drought-CO₂ interactions in trees : observations and mechanisms. *New Phytologist*, vol. 134, no. 2, p. 235-242.

CERMAK, J., MATYSSEK, R., KUCERA, J. 1993. Rapid response of large drought-stressed beech trees to irrigation. *Tree Physiology*, vol. 12, p. 281-290.

GRANIER, A., BADEAU, V., BREDA, N. 1995. Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers. *Revue Forestière Française*, vol. 47, no. spécial, p. 59-68.

OVERDIECK, D., FORSTREUTER, M. 1994. Evapotranspiration of beech stands and transpiration of beech leaves subject to atmospheric CO₂ enrichment. *Tree Physiology*, vol. 14, no. 7/9, p. 997-1003.

- **FRENE**

Fraxinus excelsior

AUSSENAC, G., LEVY, G. 1992. Les exigences en eau du frêne (*Fraxinus excelsior* L.). *Revue Forestière Française*, vol. 44, no. spécial, p. 32-38.

LE GOFF, N., GRANIER, A., OTTORINI, J.M. et al. 1995. Croissance du frêne, structure de l'appareil photosynthétique et disponibilité en eau. *Revue Forestière Française*, vol. 47, no. spécial, p. 156-164.

- **BOULEAU**

Betula pubescens

BEERLING, D.J., HEATH, J., WOODWARD, F.I., MANSFIELD, T.A. 1996. Drought-CO₂ interactions in trees : observations and mechanisms. *New Phytologist*, vol. 134, no. 2, p. 235-242.

- **PEUPLIER**

Populus interamericana

HINCKLEY, T.M., BROOKS, J.R., CERMAK, J., et al. 1994. Water flux in a hybrid poplar stand. *Tree Physiology*, vol. 14, no. 7/9, p. 1005-1018.

2. LES ESSENCES RESINEUSES

- **PINS**

Pinus pinaster

GUEHL, J.M., PICON, C., AUSSENAC, G., GROSS, P. 1994. Interactive effects of elevated CO₂ and soil drought on growth and transpiration efficiency and its determinants in two European forest tree species. *Tree Physiology*, vol. 14, no. 7/9, p. 707-724.

LOUSTAU, D., GRANIER, A., EL HADJ MOUSSA, F. 1990. Evolution saisonnière du flux de sève dans un peuplement de pins maritimes. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 21, no. 6, p. 599-618.

- LOUSTAU, D., BERBIGIER, P., ROUMAGNAC, P., et al.** 1996. Transpiration of a 64-year-old maritime pine stand in Portugal. 1. Seasonal course of water flux through maritime pine. *Æcologia*, vol. 107, no. 1, p. 33-42.

Pinus sylvestris

- BISHOP, K., DAMBRINE, E.**, 1995. Localization of tree water uptake in Scots pine and Norway spruce with hydrological tracers. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 25, no. 2, p. 286-297.
- GARDENAS, A.I., JANSSON, P.E.** 1995. Simulated water balance of Scots pine stands in Sweden for different climate change scenarios. *Journal of Hydrology*, vol. 166, no. 1/2, p. 107-125.
- RUST, S., LUETTSCWAGER, D., HUETTL, R.F.** 1995. Transpiration and hydraulic conductivity in three Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands with different air pollution histories. *Water, air and soil pollution*, vol. 85, no. 3, p. 1677-1682.

• EPICEA

Picea abies

- BISHOP, K., DAMBRINE, E.**, 1995. Localization of tree water uptake in Scots pine and Norway spruce with hydrological tracers. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 25, no. 2, p. 286-297.
- CIENCIALA, E., ECKERSTEN, H., LINDROTH, A., HALLGREN, J.E.** 1994. Simulated and measured water uptake by *Picea abies* under non-limiting soil water conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 71, p. 147-164.
- **GRANIER, A., CLAUSTRES, J.P.** 1989. Relations hydriques d'un épicéa (*Picea abies* L.) en conditions naturelles: variations spatiales. *Acta Æcologica*, vol. 10, p. 295-310.
- GRANIER, A., BADEAU, V., BREDA, N.** 1995. Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers. *Revue Forestière Française*, vol. 47, no. spécial, p. 59-68.
- LU, P., BIRON, P., BREDA, N., GRANIER, A.** 1995. Water relations of adult Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) under soil drought in the Vosges mountains: water potential, stomatal conductance and transpiration. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 52, no. 2, p. 117-129.
- MAIER-MAERCKER, U.** 1997. Experiments on the water balance of individual attached twigs of *Picea abies* (L.) Karst. in pure and ozone-enriched air. *Trees: Structure and Function*, vol. 11, no. 4, p. 229-239.
- WILD, A., SABEL, P., WILD-PETERS, L., SCHMIEDEN, U.** 1996. Photosynthesis and Transpiration in Damaged and Undamaged Spruce Trees. *Zeitschrift für Naturforschung*, vol. 51c, no. 4, p. 200-210.

• SAPIN

Abies alba

- GUICHERD, P.** 1994. Water relations of European silver fir (*Abies alba* Mill.) in 2 natural stands in the French Alps subject to contrasting climatic conditions. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 51, no. 6, p. 599-611.
- LARSEN, J.B., YANG, W., TIEDEMANN, A.V.** 1990. Effects of ozone on gas exchange, frost resistance, flushing and growth of different provenances of European silver fir (*Abies alba* Mill.). *European Journal of Forest Pathology*, vol. 20, no. 4, p. 211-218.

- **DOUGLAS**

Pseudotsuga menziesii

- ♦ **AUSSENAC, G., GRANIER, A.** 1988. Effects of thinnings on water stress and growth in Douglas-fir. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 18, no. 1, p. 100-105.
- AUSSENAC, G., GRANIER, A., BREDA N.** 1992. Effets des modifications de la structure du couvert forestier sur le bilan hydrique, l'état hydrique des arbres et la croissance. *Revue Forestière Française*, vol. 47, no. 1, p. 54-62.
- GRANIER, A., BADEAU, V., BREDA, N.** 1995. Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers. *Revue Forestière Française*, vol. 47, no. spécial, p. 59-68.
- SPITTLEHOUSE, D. L.** 1997. Modeling the effect of thinning on tree water use. *17th Conference on Agricultural and Forest Meteorology and seventh Conference on Biometeorology and Aerobiology, May 21-24, 1985, Scottsdale, Ariz. : preprint volume / sponsored by the American Meteorological Society* . p. 256-258.

3. LES ESSENCES MEDITERRANEENNES

- **CHENES MEDITERRANEENS**

Quercus pubescens

- COCHARD, H., BREDA, N., GRANIER, A., AUSSENAC, G.** 1992. Vulnerability to air embolism of three oak species (*Quercus petraea*, *Q. pubescens*, *Q. robur*). *Annales des Sciences Forestières*, vol. 49, p. 225-233.
- DAMESIN, C., RAMBAL, S.** 1995. Field study of leaf photosynthetic performance by a Mediterranean deciduous oak tree (*Quercus pubescens*) during a severe summer drought. *New Phytologist*, vol. 131, no. 2, p. 159-167.
- TOGNETTI, R., GIOVANNELLI, A., LONGOBUCCO, A. et al.** 1996. Water relations of oak species growing in the natural CO₂ spring of Rapolano (central Italy). *Annales des Sciences Forestières*, vol. 53, no. 2/3, p. 475-485.
- TRETIACH, M.** 1993. Photosynthesis and transpiration of evergreen Mediterranean and deciduous trees in an ecotone during a growing season. *Acta Oecologica*, vol. 14, no. 3, p. 341-360.

Quercus ilex

- PITACCO, A., GALLINARO, N.** 1996. Micrometeorological assessment of sensitivity of canopy resistance to vapour pressure deficit in a Mediterranean oak forest. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 53, no. 2/3, p. 513-520.
- SALA, A., TENHUNEN, J.D.** 1996. Simulations of canopy net photosynthesis and transpiration in *Quercus ilex* L. under the influence of seasonal drought. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 78, no. 3/4, p. 203-222.
- TOGNETTI, R., GIOVANNELLI, A., LONGOBUCCO, A. et al.** 1996. Water relations of oak species growing in the natural CO₂ spring of Rapolano (central Italy). *Annales des Sciences Forestières*, vol. 53, no. 2/3, p. 475-485.

TRETIACH, M. 1993. Photosynthesis and transpiration of evergreen Mediterranean and deciduous trees in an ecotone during a growing season. *Acta Œcologica*, vol. 14, no. 3, p. 341-360.

- **AUTRES FEULLUS MEDITERRANEENS**

Carpinus orientalis, Fraxinus ornus, Pistacia terebinthus, Phillyrea latifolia

TRETIACH, M. 1993. Photosynthesis and transpiration of evergreen Mediterranean and deciduous trees in an ecotone during a growing season. *Acta Œcologica*, vol. 14, no. 3, p. 341-360.

- **SAPINS MEDITERRANEENS**

Abies cephalonica, Abies marocana, Abies bornmulleriana, Abies nordmanniana

GUEHL, J.M., AUSSENAC, G., BOUACHRINE, J. et al. 1991. Sensitivity of leaf gas exchange to atmospheric drought, soil drought, and water-use efficiency in some Mediterranean *Abies* species. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 21, no. 2/3, p. 1507-1515.

4. AUTRES

Eucalyptus maculata, Doryphora sassafras, Ceratopeltum apetaum

BARRETT, D.J., HATTON, T.J., ASH, J.E., BALL, M.C. 1996. Transpiration by Trees From Contrasting Forest Types. *Australian Journal of Botany*, vol. 44, no. 3, p. 249-263.

Pinus elliottii

JOHNSON, J.D., BYRES., D.P., DEAN, T.J. 1995. Diurnal water relations and gas exchange of two slash pine (*Pinus elliottii*) families exposed to chronic ozone levels and acidic rain. *New Phytologist*, no. 3, vol. 131, p. 381-392.

QUATRIEME PARTIE



ANNEXES

Annexe 1 - décomposition du sujet "l'eau et la forêt"

(compte-rendu de la réunion du 24/10/97 avec C. Rigondaud)

- à l'échelle de la forêt véritablement ou du peuplement forestier :

la forêt et le cycle de l'eau :

climat, microclimat : amélioration, perturbation

bioclimatologie

interception, ruissellement, absorption, évapotranspiration

bilan hydrique, bilan hydrologique sur bassin versant

la forêt filtre et donc protège :

captage de sources

capacité de stockage

rôle d'épuration : filtrage d'eau qui tombe sur la forêt, amélioration de la qualité

- à l'échelle de l'arbre : l'eau et sa circulation dans l'arbre depuis ses racines jusqu'à la dernière feuille du houppier

l'eau et l'arbre

physiologie de l'arbre

consommation d'eau selon les essences, autécologie

l'eau dans le sol

aspect chimique : comportement des essences en fonction de l'hydromorphie du sol

- d'autres aspects ont également été évoqués :

forêt et pluies acides

Cf. Renecofor

point d'eau ou passage d'eau en forêt

richesse alliotique

richesse faunistique

zones humides et biodiversité : tourbières, marais

eau, forêt et paysage

pôle d'attraction en forêt

eau, neige et forêt

risques naturels, : avalanches, érosion, correction torrentielle, inondation

protection des sols

manque d'eau, sécheresse

défense des forêts contre l'incendie

problèmes phytosanitaires

Annexe 2 - Les thesaurus dans le domaine forestier
(Source : "Base Thesauri sur serveur Echo de la Communauté Européenne")

FORESTRY AND FOREST VOCABULARY

TI	: FORESTRY AND FOREST VOCABULARY Oxford, GB 1984, XIV, 495 p. ISBN 0-85198-548-8
CT	: FORESTRY; forest product industry; forest resources; forest biology; forest utilization; forestry economics; wood preservation; wood technology; wood chemistry; forest products+; forestry+
LA	: English
TE	: number of terms, total: ca. 12000

TINKER THESAURUS

TI	: TINKER THESAURUS (Timber Information Keyword Retrlevel) (not published yet), ca. 125 p.
CT	: FORESTRY; forest product industry; forest resources; forest biology; forest utilization; furniture; marketing of wood; wood preservation; wood technology; wood chemistry; forest products+; forestry+; timber+
LA	: English
TE	: number of terms, total: ca. 3000

THESAURUS OF FOREST PRODUCTS TERMS

TI	: THESAURUS OF FOREST PRODUCTS TERMS for use with the AIDS/FOREST PRODUCTS Information Retrieval System Madison, WI, US 03.1980, VI, 167 p.
CT	: FORESTRY; forest product industry+; forest resources; forest biology; forest utilization; forestry economics; furniture; marketing
LA	: English
TE	: number of terms, total: ca. 3821

THESAURUS FORESTIER

TI	: THESAURUS FORESTIER Liste alphabetique des termes et de leur relations. Versailles, FR: CNRA, Service de documentation 1977, V, 162 p.
CT	: FORESTRY; dendrometry; forest ecology; forest genetics; forest industry; leisure time in the forest; silviculture; wood chemistry; forestry economics+
LA	: French
TE	: number of terms, total: ca. 4000

FAO INDEX TERMS

TI	: FAO INDEX TERMS Vol.1: KWOC List. I. 164 p. Vol.2: Classified List. 76 p. 2 nd ed. Roma. IT 08.1981. 2 vols
CT	: AGRICULTURE GENERAL; forestry+; fisheries+;
LA	: English (French and Spanish descriptors equivalences are included in the 1978 edition only)
TE	: number of terms, total: ca. 15000

CAB THESAURUS

TI	: CAB THESAURUS Vol. 1: A-I Vol. 2: J-Z Wallingford GB 1990, Total : 1207 p.
CT	: AGRICULTURE; GENERAL; phytopathology; animal breeding; horticulture; mycology; nutrition; parasitology; plant breeding; soil technology; agriculture+
LA	: English (scientific terms: Latin)
TE	: number of terms, total: ca. 56000

Annexe 3 - Les sources d'information forestière sur CD-ROM

(Source : "The CD-ROM directory 1995 with multimedias CDs – TPFL publishing – 13th edition")

- Acid Rain – Canadian Government Documents on Acid Rain

Publisher / Provider:	University of Vermont; Bailey / Howe Library		
Type :	full text, images	Language :	English
Geographic coverage :	Canada		
Updates :	not updated		
Subject :	climatology, meteorology, forestry, pollution		

- Ag. Round – Australian agriculture and natural resources

Publisher / provider	CSIRO / Info one International / Numerous		
Type :	bibliographic, reference	Language :	English
Geographic coverage :	Australia		
Time span :	1975 - present		
Subject :	agriculture, fishing and fisheries, forestry, horticulture, land and water resources		

- Agriculture and Human Resources Series - Agriculture

Publisher / provider	Rocket Shareware / Minnesota Extension Service, University of Minnesota		
Type :	full text, bibliographic, images, reference	Language :	English
Geographic coverage :	world-wide		
Updates :	irregular		
Subject :	forestry, agriculture, horticulture, botany		

- Arbres experts

Publisher :	Softissimo – Centre National d'Etudes et de Ressources et Technologie Avancée.		
Type :	Images	Language :	French
Geographic coverage :	France		
Updates :	Not updated		
Subject :	education, training, forestry		

- Big Trees – The Redwoods, Giant Sequoias and King', Canyon National Park.

Publisher :	Carol Mach Family Interactive Multimedia & CD-ROM		
Type :	Multimedia	Language :	English
Geographic coverage :	World-wide		
Subject :	forestry, earth sciences, national history, travel		

- Biological & Agricultural Index

Publisher / provider	SilverPlatter Informative / H.W. Wilson Company		
Type :	Bibliographic	Language :	English
Geographic coverage :	USA, Europe		
Time span :	1983 - current	Updates :	Monthly
Subject :	food science, forestry, genetics, biology, agriculture, animal science, biochemistry, biology, botany, earth sciences, economics, life sciences, nutrition, physiology, veterinary science, zoology.		

- CABCD

Publisher / provider	SilverPlatter Information / CAB international		
Type :	Full text	Language :	English
Geographic coverage :	World-wide		
Time span :	1984 - current	Updates :	Quarterly
Subject :	Forestry, agriculture, veterinary science		

- Compact International Agricultural Research Library Basic Retrospective Set (1962-1986) (CIARL – BRS)

Publisher :	Cons. Group on Intern. Agric. Research (CGIAR) / 20 Intern. Research Centers		
Type :	Full text, bibliographic, images, references, graphics, numeric/statistics		

Language :	English, French, Spanish		
Geographic coverage :	World-wide		
Time span :	1962-1986	Updates :	To be determined
Subject :	biotechnology, forestry.		

- Current contents on CD-ROM – Agricultural, Biology & Environmental Sciences.

Publisher / Provider :	Institute for Scientific Information (ISI)		
Type :	Bibliographic	Language :	English
Geographic coverage :	World-wide		
Time span :	Current year	Updates :	Weekly
Subject :	agriculture, forestry, ecology, aquatic sciences, biology, botany		

- Environmental Periodicals Bibliography en CD-ROM

Publisher / provider	National Information Services Corporation (NISC) ; International Academy of Santa Barbara / Environment Studies Institute		
Type :	Bibliographic, reference	Language :	English
Geographic coverage :	World-wide		
Time span :	1973 – current	Updates :	Twice per year
Subject :	forestry, biotechnology, health, toxicology, aquatic sciences, environment, pollution		

- HYPP – Hypermedia for Plant Protection

Publisher / provider	Commission of the EC Joint Research Centre / INRA		
Language :	All major European languages		
Geographic coverage :	Europe		
Subject :	forestry, pesticides		

- Natural Resources Metabase

Publisher :	Nat. Info. Services Corp. (NISC)		
Type :	Bibliographic, reference	Language :	English
Geographic coverage :	USA, Canada, Pacific Islands, World-wide		
Updates :	Twice per year		
Subject :	forestry, rural development, ecology, environment, government informative		

- Poltox III - CAB

Publisher / provider	Compact Cambridge, SilverPlatter Information Inc. / CAB international		
Type :	Bibliographic	Language :	English
Geographic coverage :	World-wide		
Time span :	1984 – current		
Subject :	agriculture., forestry, environment. food science, pollution, toxicology		

- SHIP Agricultural Statistics

Publisher / provider	Slater Hall Info. Products (SHIP) / US Bureau of Census, US Bureau of Commerce		
Type :	Full text, numeric/statistics	Language :	English
Geographic coverage :	USA		
Time span :	1969-1987		
Subject :	fishing and fisheries, forestry, economics, census data.		

- TROPAG & RURAL

Corresponds to the printed publications abstracts on Tropical Agriculture (TROPAG) and Abstracts on Rural Development in the Tropics (RURAL)

- TREE CD

Publisher / provider	Silver Platter Information / CAB International		
Type :	Bibliographic	Language :	English
Geographic coverage :	World-wide		
Time span :	1939 – current	Updates :	Quarterly
Subject :	forestry		

Annexe 4 - Les pays de l'OCDE

A l'exception du Japon, du Mexique et de la Corée du Sud, l'ensemble des pays de l'OCDE entre bien dans le cadre géographique de notre étude.

De plus, outre les pays européens, la prise en compte du Canada, des Etats-Unis, de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande est toute à fait pertinente pour notre travail, car ces pays possèdent des zones forestières importantes et l'effort de recherche y est substantiel.

Informations issues du CD-ROM Encyclopædia Universalis®. (ISBN: 2-85229-293-9) Version 3.0 :

O.C.D.E. (Organisation de coopération et de développement économiques)

Instituée en 1960, pour succéder à l'O.E.C.E. (Organisation européenne de coopération économique), l'O.C.D.E. s'efforce par ses travaux de promouvoir chez ses membres des politiques de nature à y réaliser la plus forte expansion possible de l'économie et de l'emploi. Elle se veut également soucieuse de contribuer à l'expansion économique des pays non membres de l'organisation ainsi qu'au développement du commerce mondial sur une base multilatérale et non discriminatoire. Les pays membres depuis l'origine sont **l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Luxembourg, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie**. Ils ont été rejoints ultérieurement par **le Japon** (1964), **la Finlande** (1969), **l'Australie** (1971), **la Nouvelle-Zélande** (1973). Au cours des années 1990, les progrès de la mondialisation conduisent l'O.C.D.E. à accueillir de nouveaux membres : pays émergents comme **le Mexique** (1994) et **la Corée du Sud** (1996), pays anciennement communistes d'Europe centrale et orientale convertis à l'économie de marché (**République tchèque** en 1995, **Hongrie et Pologne** en 1996). La Commission européenne participe aux travaux de l'organisation, qui a son siège à Paris.

Le Comité d'aide au développement de l'organisation regroupe les principaux pays dispensateurs de l'aide publique au développement.

Annexe 5 - Détail des interrogations en ligne sur les autres base de données que CAB Abstracts

Interrogation d'AGRICOLA (10)

Les descripteurs d'AGRICOLA sont contrôlés aussi par CAB Thesaurus. Nous souhaitons adopter la même démarche que pour CAB Abstracts, mais étant donné le faible nombre de références à l'issue de notre première question, nous nous arrêtons à ce stade sans faire plus de restrictions.

Application de l'équation de recherche dans Dialog :

?ss (forest trees)/de and ((sap flow)/de and transpiration/de)

S1	3270	(FOREST TREES)/DE
S2	168	(SAP FLOW)/DE
S3	1776	TRANSPIRATION/DE
S4	24	S1 AND (S2 OR S3)

Interrogation d'AGRIS (203)

Les descripteurs sont contrôlés par "AGROVOC, Thésaurus Agricole Multilingue"⁷. Alors que ce thésaurus est en vente au prix de 100\$, nous avons pu le télécharger depuis le serveur FTP à Vienne de l'Unité de Traitement AGRIS.

Les termes trouvés étant pratiquement les mêmes que ceux trouvés dans CAB Thesaurus, nous n'avons pas reproduit de tableau similaire à celui de la page 10.

Par contre la notion de flux de sève ou d'ascension de la sève n'apparaissant pas clairement dans AGROVOC, nous avons préféré abandonner cet aspect de la recherche plutôt que de récupérer beaucoup de bruit en utilisant le descripteur SAP uniquement.

La base AGRIS ne comporte pas de champs donnant des indications géographiques. Le jour de l'interrogation, nous n'avons pas pensé à apporter une restriction sur le champ source (CS : corporate source). Nous avons donc téléchargé la totalité des références trouvées, soit 70.

?ss (forest trees)/de and transpiration/de

S1	11298	(FOREST TREES)/DE
S2	2020	TRANSPIRATION/DE
S3	128	S1 AND S2

?ss s3 and py>=1990

	128	S3
S4	627313	PY>=1990
S5	106	S3 AND PY>=1990

?ss s5 and (la=english or la=french)

	106	S5
S6	844460	LA=ENGLISH
S7	198402	LA=FRENCH
S8	95	S5 AND (LA=ENGLISH OR LA=FRENCH)

?ss s8 not seedling?

	95	S8
S9	22554	SEEDLING?
S10	70	S8 NOT SEEDLING?

Interrogation de PASCAL (144)

Nous avons interrogé Pascal selon le schéma décrit page 10. Pour limiter les réponses, après accord du commanditaire, nous avons imposé que le pays source (CS) soit la France, l'Allemagne, l'Italie, le Canada, l'Angleterre ou les Etats-Unis.

Pour éviter une troncature à gauche nous avons profité du fait que la recherche sur descripteurs français était possible :

⁷ FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION. AGROVOC, Thésaurus Agricole Multilingue. 3^{ème} éd. Rome : FAO, 1996. 631 p. ISBN 92-5-203769-1.

?ss arbre forestier?/de and (sap/de or transpiration/de)

S1 31006 ARBRE FORESTIER?/DE
 S2 904 SAP/DE
 S3 3913 TRANSPIRATION/DE
 S4 489 S1 AND (S2 OR S3)

?ss s4 and py>=1990

489 S4
 S5 3940449 PY>=1990
 S6 283 S4 AND PY>=1990

?ss s6 and (la=english or la=french)

283 S6
 S7 9028837 LA=ENGLISH
 S8 1019952 LA=FRENCH
 S9 271 S6 AND (LA=ENGLISH OR LA=FRENCH)

?ss s9 not seedling?

271 S9
 S10 16031 SEEDLING?
 S11 232 S9 NOT SEEDLING?

?ss cs=France or cs=Germany or cs=Italy or cs=Canada or cs=England or cs=USA

S12 754103 CS=FRANCE
 S13 623093 CS=GERMANY
 S13 280384 CS=ITALY
 S15 392017 CS=CANADA
 S16 11002 CS=ENGLAND
 S17 2614830 CS=USA
 S18 4675429 S12 OR S13 OR S14 OR S15 OR S16 OR S17

?ss s11 and s18

232 S11
 4675429 S18
 S19 113 S11 AND S18

Ce résultat est très voisin de celui obtenu par CAB Abstracts mais avec ici une couverture géographique plus restreinte.

Interrogation de BIOSIS PREVIEWS (55)

Avant de faire cette interrogation, nous avons consulté le Master Index du Biosis Search Guide à l'URFIST.

La notion d'arbre forestier n'apparaissant pas dans les descripteurs, nous avons voulu utiliser les "concept codes" (CC) pour définir le domaine de recherche.

Notion à traduire	Termes associés dans Master Index	champ DIALOG
domaine forestier	53500 (FORESTRY AND FOREST PRODUCTS) 51502 (PLANT PHYSIOLOGY, BIOCHEMISTRY AND BIOPHYSICS) TREE OR TREES	CC= CC= /DE
transpiration	TRANSPIRATION	/DE
circulation de la sève	SAP	/DE
sauf semis	NOT SEEDLING	---

?ss cc=53500 and cc=51502

S1 67722 CC=53500 FORESTRY AND FOREST PRODUCTS
 S2 46718 CC=51502 PLANT PHYSIOLOGY, BIOCHEMISTRY AND BIOPHYSICS
 S3 4819 S1 AND S2

?ss tree?/de and (sap/de or transpiration/de)

S4 10729 TREE?/DE
 S5 724 SAP/DE
 S6 2938 TRANSPIRATION/DE
 S7 38 S1 AND (S2 OR S3)

?ss s7 and (la=english or la=french)

38 S7
 S8 6041575 LA=ENGLISH
 S9 110979 LA=FRENCH
 S10 36 S7 AND (LA=ENGLISH OR LA=FRENCH)

Annexe 6 – Utilisation de la fonction “refine” d’Altavista

Restriction de l’interrogation (transpiration near tree*)

Altavista: (transpiration near tree*)

Page 1 of 1



Refine your search by requiring a few relevant topics,
excluding irrelevant ones, and ignoring the others.

GRAPH ▶

search refine

Require	<input type="checkbox"/>
...	<input type="checkbox"/>
Require	<input type="checkbox"/>
...	<input type="checkbox"/>
...	<input type="checkbox"/>

Transpiration, photosynthesis, trees, soil, nutrients, respiration, tree,
photosynthetic, water

Carbon, dioxide

Forest, ecosystem

Hydrology, hydrological

Fir, spruce

[Help](#) . [Preferences](#) . [New Search](#) . [Simple Search](#)

[Our Network](#) [Add/Remove URL](#) [Feedback](#) [Help](#)
[Advertising Info](#) [About AltaVista](#) [Jobs](#) [Text-Only](#)



Digital Equipment Corporation

[Disclaimer](#) [Privacy Statement](#)

Copyright 1995-98 © All Rights Reserved



Annexe 7 : Organisation et mise en forme des références trouvées

1. Plan d'organisation des références bibliographiques en fonction des principaux thèmes traités

Mécanismes - Modélisation

Mécanismes

Modélisation

Evaluation de méthodes de mesures :

Influences des facteurs extérieurs :

variations saisonnières

facteurs climatiques

alimentation en eau : stress hydrique, sécheresse / bonne irrigation

sylviculture, éclaircies :

enrichissement en CO₂

autres facteurs extérieurs

Etude du comportement spécifique de certaines essences

En marge ...

Flux de CO₂ et d'énergie

Echanges gazeux

Photosynthèse

Efficacité de l'utilisation de l'eau

Bioclimatologie

Le gui

Arbres ornementaux / arboriculture

Composition de la sève :

Autres, hors sujet :

2. Exemple de références mises en formes avec Référence Manager

Mécanismes

BIOT-3. AUSSENAC, G., GRANIER, A., BREDA, N. Effects of alterations in the structure of the forest cover on the water balance, tree water status and growth. *Revue Forestière Française*, vol. 47, p. 54-62, 1995.

Quercus petraea, *Pseudotsuga menziesii*

FRA

PASC-8. BLAKE, T J, BEVILACQUA, HUNT, G A, ABRAMS, S R. Effects of abscisic acid and its acetylenic alcohol on dormancy, root development and transpiration in three conifer species. *Physiologia plantarum*, vol. 80, p. 371-378, 1990.

Picea engelmannii, Pinus contorta, Pseudotsuga menziesii

CAN

CAB-23./UNCT-09. DAWSON, T.E., <Editors> WHITEHEAD, D., KELLIHER, F.M. Determining water use by trees and forests from isotopic, energy balance and transpiration analyses : the roles of tree size and hydraulic lift. *Tree Physiology*, vol. 16, p. 263-272, 1999.

Acer saccharum

USA

Moyens d'investigation : isotopes, bilans énergétiques, et pour mesurer la transpiration : porométrie, mesure de flux de sève et méthode du ration de Bowen.

Les arbres de différentes tailles ont des taux de transpiration très différents que l'on explique par un accès différent aux eaux profondes et à l'eau du sol. Les petits arbres sont plus sensibles aux facteurs environnementaux qui influencent la transpiration (déficit en eau du sol, aug. de la demande "évaporative"). Les grands arbres transpirent seulement les eaux profondes et ont un flux d'eau plus élevés que les petits arbres : impact sur le bilan hydrologique des eaux profondes.

BIOS-9. EHLERINGER, J. R., DAWSON, T.E. Water uptake by plants perspectives from stable isotope composition. *Plant, Cell and Environment*, vol.15, p. 1073-1082, 1992.

USA

Le poids d'objets accrochés dans les petits trous verticaux du xylème des arbres change apparemment en fonction de l'heure dans la journée. Un petit accéléromètre placé dans les trous horizontaux confirme l'effet.

AGRC-5. FRANKS, P. J., COWAN, I.R., FARQUHAR, G.D. The apparent feedforward reponse of stomata to air vapour pressure deficit : information revealed by different experimental procedures with two rainforest trees. *Plant, cell and environment*, vol. 20, p. 142-145, 1997.

AGRC-6. GARTNER, B.L., BULLOCK, S.H., MOONEY, H.A., BROWN, V.B., WHITBECK, J.L. Water transport properties of vine and tree stems in a tropical deciduous forest. *American journal of botany*, vol. 77, p. 742-749, 1990.

CAB-34. GRANIER, A., ANFODILLO, T., SABATTI, M., COCHARD, H., DREYER, E., TOMASI, M., VALENTINI, R., BREDA, N. Axial and radial water flow in the trunks of oak trees: a quantitative and qualitative analysis. *Tree Physiology*, vol. 14, p. 1383-1396, 1991.

Quercus petraea, Quercus robur

FR

Quatre méthodes de mesure : absorption d'eau par une tige coupée, mesure de flux de sève, "heat pulse velocity", "thermo-imaging".

La plus grosse partie du flux passe dans les cernes de l'année courante. Néanmoins une quantité de flux significative emprunte les cernes les plus vieux du xylème.

Le flux d'eau est peu réduit par une embolisation artificielle des vaisseaux jeunes : l'embolisation des vaisseaux de l'année réactive le transport dans les vieux vaisseaux.

UNCT-21. GREEN, S.R. Radiation balance, transpiration and photosynthesis of an isolated tree. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 64, p. 201, 1993.

CAB-43. HINCKLEY, T.M., BROOKS, J.R., CERMAK, J., CEULEMANS, R., KUCERA, J., MEINZER, F.C., ROBERTS, D.A., SCARACIA-MUGNOZZA, G.E.E. Water flux in a hybrid poplar stand. *Tree Physiology*, vol. 14, p. 1005-1018, 1994.

Populus interamericana

USA

A une échelle réduite, le mouvement des stomates contrôle la perte d'eau par les feuilles.

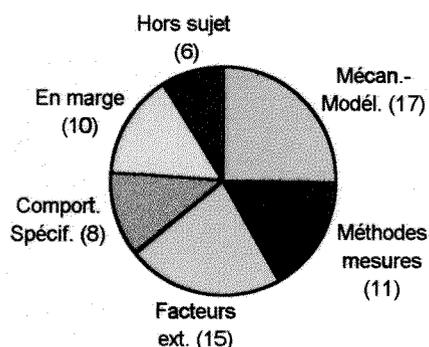
A une échelle plus grande (celle du peuplement), de nombreux houppiers d'arbres sont tellement "découplés" de l'atmosphère que les principaux facteurs contrôlant les pertes d'eau sont les radiations nettes et ces facteurs qui influencent les propriétés des limites du houppier, plutôt que le déficit de saturation atmosphérique.

Expériences sur le peuplier.

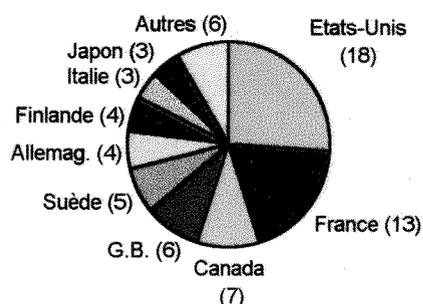
Suggestion : la conductance stomatique et la conductivité hydraulique spécifique des feuilles sont liés à la possibilité d'exploiter la lumière.

Annexe 8 – Analyse des résultats par thème et par pays pour les autres bases que CAB Abstracts

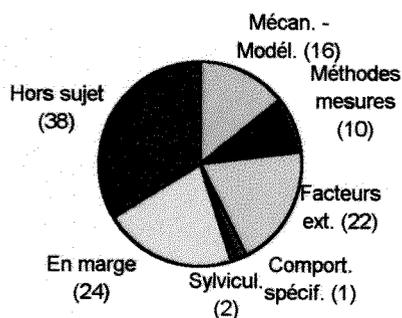
Répartition des publications par thème dans AGRIS (70 réf.)



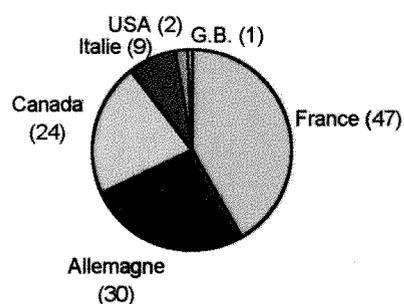
Répartition des publications par pays dans AGRIS (70 réf.)



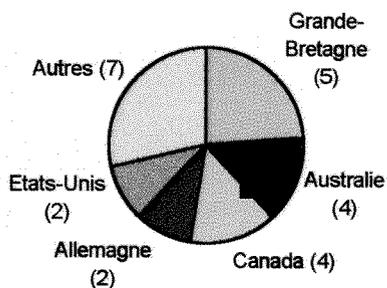
Répartition des publications par thème dans PASCAL (113 réf.)



Répartition des publications par pays dans PASCAL (113 réf.)



Répartition des publications par pays dans AGRICOLA (24 réf.)



Répartition des publications par pays dans BIOSIS (36 réf.)

