



L'eau et la forêt

Synthèse bibliographique

Office National des Forêts
Direction Technique et Commerciale

Sommaire

INTRODUCTION

1. Le système Sol-Arbre-Atmosphère

- **11. Du sol vers la racine : l'approvisionnement en eau** **18**
 - 11.1.** L'offre en eau au niveau racinaire : teneur en eau et circulation de l'eau dans le sol **18**
 - 11.11.** La teneur en eau du sol
 - ▶ Les diverses expressions de l'humidité d'un sol (ou teneur en eau)
 - ▶ Les états de l'eau dans le sol
 - ▶ Notion de potentiel hydrique du sol (Ψ_{sol})
 - ▶ Méthodes de mesure
 - 11.12. Notion de réserve utile maximale et de réserve disponible
 - ▶ Réserve utile maximale
 - ▶ Réserve disponible (ou réserve en eau utilisable)
 - 11.2. La circulation de l'eau dans le sol **24**
 - 11.2.1.** Principes généraux
 - 11.2.2.** Circulation de l'eau en milieu saturé
 - 11.23. Circulation de l'eau en milieu non saturé
 - 11.24. Cas particulier : en présence d'une nappe d'eau
 - 11.3. Colonisation racinaire et alimentation en eau **26**
 - 11.31.** L'architecture racinaire
 - ▶ Influence de l'essence
 - ▶ Influence des propriétés physiques du sol
 - 11.32. Répartition des racines et exploitation des réserves en eau du sol
 - ▶ Diamètre des racines
 - ▶ Densité racinaire et alimentation en eau des plants

● 12. Du sol vers la feuille : la circulation de l'eau en phase liquide	29
12.1. Remarque préliminaire : le potentiel hydrique des différents organes végétaux	29
12.2. L'absorption de l'eau	29
12.21. Entrée d'eau dans la cellule	
▶ Structure racinaire et absorption hydrique	
▶ Qualité du contact sol-racine	
▶ Teneur en eau du sol	
▶ Physiologie racinaire	
▶ Les mycorhizes et leur rôle dans l'absorption racinaire	
▶ Remarque	
12.22. Des tissus corticaux aux éléments conducteurs de sève	
▶ Les voies de transfert	
▶ Remarque	
12.3. Circulation de l'eau des racines jusqu'aux feuilles, par les éléments conducteurs du xylème	3
12.31. Cadre anatomique	
12.32. Mesure de la vitesse de la conduction de la sève	
▶ Hétérogénéité de la vitesse de la conduction de la sève au sein de l'aubier	
● 13. La transpiration foliaire et ses conséquences sur la circulation de l'eau en phase liquide	37
13.1. Remarque préliminaire : l'humidité de l'air	37
13.2. Transpiration stomatique et cuticulaire	38
13.3. Mécanismes	39
13.4. Transpiration et transfert de l'eau liquide des racines jusqu'aux feuilles	39
13.41. Modélisation des flux d'eau des racines jusqu'aux feuilles : la représentation ohmique de Van Den Honert	
▶ Présentation du modèle	
▶ Importance relative des différentes résistances opposées au transfert de l'eau	
▶ Notion de capacités hydriques	
13.42. Remarque	
13.5. Méthodes de mesure et valeurs	42
● 14. Estimation de la consommation en eau d'un arbre	43
14.1. Méthodes de mesure et valeurs	43
14.2. Facteurs de variations	44
14.21. Influence des conditions climatiques	
14.22. Importance du statut social de l'arbre	
14.23. Remarque : notion d'efficacité d'utilisation de l'eau	
<i>En résumé</i>	46

2. De l'arbre au peuplement forestier : le cycle de l'eau en forêt

● 21. Couvert forestier et précipitations	50
21.1. Précipitations incidentes et pluviosité sous couvert	50
21.11. Interception	
21.12. La pluviosité sous couvert	
21.13. Exemples	
▶ Méthodes de mesure et valeurs moyennes	
21.2. Facteurs de variations de l'interception et de la pluviosité sous couvert forestier	54
21.21. Conditions climatiques	
▶ Brouillard et rosée matinale	
21.22. Caractéristiques du peuplement forestier : cas d'un couvert fermé	
▶ Indice foliaire	
▶ Caractéristiques architecturales de l'arbre	
21.23. Conséquences d'une éclaircie	
21.24. Conclusion	
21.3. Cas particulier des précipitations neigeuses	57
21.31. Interception et quantité de neige reçue au sol	
▶ Interception	
▶ Accumulation de la neige au sol	
21.32. Caractéristiques et évolution du manteau neigeux	
21.33. Fonte des neiges	
● 22. Devenir des précipitations arrivant au sol	59
22.1. Ruissellement et infiltration de l'eau de pluie	60
22.11. Principes généraux	
22.12. Influence du couvert forestier	
22.2. Stockage des eaux de pluie et circulation de l'eau dans le sol	61
22.3. Evapotranspiration en milieu forestier	61
22.31. Présentation générale	
▶ Définition	
▶ Estimation de l'évapotranspiration potentielle	
22.32. Mesure de l'évapotranspiration réelle d'un peuplement forestier	
▶ Evaporation du sol	
▶ Transpiration d'un peuplement forestier	
22.33. Facteurs de variations de la transpiration et de l'évapotranspiration d'un peuplement forestier	
▶ Facteurs climatiques	
▶ Caractéristiques du couvert forestier	
▶ Influence de l'espèce	
22.34. Evapotranspiration des forêts comparée à celle des autres formations végétales	

• 23. Le bilan hydrique d'un peuplement forestier	67
23.1. Définition	67
23.2. Quelques exemples	67
23.21. Bilan hydrique d'une jeune futaie feuillue, en l'absence de nappe phréatique	
23.22. Bilan hydrique d'un peuplement forestier résineux, en présence d'une nappe phréatique	
23.3. Intérêt du bilan hydrique et perspectives de recherche	70

<i>En résumé</i>	72
------------------	----

3. Espèces forestières et contraintes hydriques

• 31. Sécheresse	76
31.1. Notion de sécheresse	76
31.2. Les arbres face à une sécheresse "accidentelle"	77
31.21. Difficultés posées par la mesure de l'intensité de la contrainte subie	
31.22. Sécheresse édaphique et productivité forestière	
▶ Croissance en hauteur des arbres	
▶ Croissance en diamètre des arbres	
▶ Remarque	
3 1.23. Mécanismes impliqués	
▶ Sécheresse et grandissement cellulaire	
▶ Sécheresse et modification du rapport entre biomasse aérienne et biomasse racinaire	
▶ Sécheresse et résistance totale au transfert de l'eau en phase liquide	
▶ Régulation stomatique des arbres sous contrainte hydrique	
▶ Conséquences sur la transpiration et l'évapotranspiration des arbres forestiers	
▶ Conséquences sur la photosynthèse	
31.24. Les différentes stratégies de réponse des arbres à la sécheresse	
31.3. Les adaptations à la sécheresse	86
3 1.3 1. Les adaptations morphologiques	
31.32. Les adaptations anatomiques	
31.33. Les adaptations physiologiques	
31.34. Remarque	
31.4. Effets de la sécheresse sur les peuplements forestiers	87
31.41. Effets directs	
▶ Perte de productivité	
▶ Dessèchement et chute du feuillage	
▶ Mortalité	

31.42. Effets indirects	
▶ Relation entre sécheresse et attaques de pathogènes ou ravageurs	
▶ Relation entre sécheresse et dépérissements des forêts	
▶ Risques d'incendies accrus	
● 32. Excès d'eau dans le sol	89
32.1. Introduction	89
32.11. Généralités	
32.12. Excès d'eau dans le sol et disponibilité en oxygène	
▶ Déficit en oxygène et activités microbiennes	
▶ Déficit en oxygène et métabolisme végétal	
▶ Remarque	
32.13. Potentiel d'oxydo-réduction de la nappe	
32.14. Principaux facteurs influant sur l'intensité de l'hypoxie	
32.2. Les sols hydromorphes	91
32.21. Les sols à nappe temporaire	
32.22. Les sols à nappe permanente	
32.3. Excès d'eau et fonctionnement physiologique des arbres	93
32.31. Excès d'eau et germination des semences	
32.32. Excès d'eau et absorption de l'eau	
32.33. Excès d'eau et absorption minérale	
32.34. Excès d'eau et photosynthèse	
32.35. Excès d'eau et croissance des arbres	
32.4. Notion de sensibilité à l'hypoxie et phénomènes d'acclimatation	94
32.41. Acclimatation des arbres à un excès d'eau	
32.42. Différences de sensibilité à l'hypoxie entre essences forestières	
▶ Feuillus	
▶ Résineux	
32.43. En milieu naturel	
▶ Comportement des espèces forestières selon les caractéristiques physiques du sol	
▶ Influence des deux contraintes successives "hypoxie" et "déficit hydrique" sur le comportement des arbres	
▶ Topographie	
▶ Conclusion	
● 33. Classification des espèces forestières vis-à-vis du facteur "eau"	100

En résumé

103

4. Eau et gestion des peuplements forestiers

• 41. Facteurs de répartition des espèces forestières et choix des essences objectif	106
41.1. Les différents facteurs explicatifs	106
4 1.11. Les facteurs climatiques	
41.12. Les facteurs édaphiques	
41.2. Choix des essences objectif	109
• 42. Fonction de production de la forêt : aménagement et sylviculture	110
42.1. Conduite du peuplement forestier en milieu "sec"	111
42.11. Travail du sol	
42.12. Maîtrise de la végétation d'accompagnement	
42.13. Entretiens, dépressages et éclaircies	
42.2. Conduite du peuplement forestier sur des sols à hydromorphie temporaire	115
42.21. Travail du sol	
42.22. Maîtrise de la végétation d'accompagnement	
42.23. Entretiens, dépressages et éclaircies	
42.3. Respect du sol par les engins forestiers	118
42.31. Au sein des parcelles forestières	
▶ Sensibilité des différents sols forestiers au tassement	
▶ Précautions et recommandations	
42.32. Infrastructure forestière	
• 43. Fonction de protection du patrimoine naturel	119
43.1. Les tourbières	120
43.11. Définition, valeurs écologique et patrimoniale des tourbières	
43.12. Recommandations sylvicoles	
▶ Restauration des tourbières	
▶ Entretien des tourbières (hors forêt tourbeuse)	
▶ Entretien des boisements ceinturant les tourbières	
43.2. Les mares	123
43.21. Définition, valeurs écologique et patrimoniale des mares	
43.22. Recommandations sylvicoles	
▶ Principes généraux	
▶ Restauration	
▶ Entretien	
▶ Remarque	

43.3. Les forêts alluviales et ripisylves	125
43.31. Définition	
43.32. Valeurs écologique et patrimoniale des forêts alluviales	
▶ Présentation générale	
▶ Cas particulier des ripisylves	
43.33. Gestion des ripisylves : recommandations sylvicoles	
▶ Principes généraux	
▶ Gestion des peuplements feuillus en place	
▶ Gestion des peuplements résineux en place	
▶ Plantation : choix des essences	
▶ Restauration des ripisylves	
43.34. Gestion des forêts alluviales “hors ripisylves”	
43.4. Les pelouses calcicoles atlantiques et méditerranéennes (Europe de l’ouest)	132
43.41. Définition, valeurs écologique et patrimoniale	
43.42. Recommandations sylvicoles	
▶ Restauration	
▶ Entretien	
▶ Remarque	
● 44. Fonction de protection de la qualité des eaux	134
44.1. Des eaux de haute qualité en milieu forestier	134
44.2. Sources et captages	136
44.21. Les sources intraforestières	
44.22. Les périmètres de protection des captages d’eau potable	
▶ Gestion des forêts au voisinage des captages d’eau potable	
▶ Remarque	
44.3. Cas particulier : les eaux de qualité médiocre	139
44.31. Epuration des eaux en provenance des parcelles non forestières	
44.32. Les boues d’épuration	
● 45. Fonction de protection contre les risques naturels liés à l’eau	143
45.1. Forêts et glissements de terrain	143
45.11. Définition et genèse	
45.12. Intérêts et limites du peuplement forestier	
45.13. Recommandations sylvicoles	
45.2. Forêt, neige et avalanches	144
45.21. Définition et genèse	
45.22. Intérêts et limites du peuplement forestier	
45.23. Gestion sylvicole des peuplements en place	

45.24. Choix des essences de reboisement	
45.25. Remarque	
45.3. Ruissellement et érosion superficielle des versants	147
• 46. Conclusion	147
En <i>résumé</i>	148

5. Forêt et gestion des ressources en eau dans l'espace rural

• 51. Forêt et régime des cours d'eau	152
5 1.1. Généralités	152
5 1.2. Méthodologie	154
51.21. Détermination du bilan hydrologique d'un bassin versant	
51.22. Démarche expérimentale	
51.3. Influence de la forêt sur les écoulements annuel et saisonnier, à l'échelle des petits bassins versants	155
51.31. Forêt et écoulement annuel	
▶ Résultats généraux	
▶ Remarque	
51.32. Répartition saisonnière	
51.4. Influence de la forêt sur les crues, à l'échelle des petits bassins versants	158
51.41. Présentation générale	
▶ Définition	
▶ Facteurs déclenchants	
▶ Genèse	
51.42. Influence de la forêt sur le volume d'eau mobilisé lors des crues	
▶ Cas des crues d'origine essentiellement pluviale	
▶ Cas des crues d'origine nivale	
51.43. Couvert forestier et transport solide	
▶ Couvert forestier et érosion des versants	
▶ Relations entre exploitation forestière et érosion des versants	
▶ Cas particulier des incendies de forêt	
5 1.44. Conclusion	

• 52. Forêt et qualité des cours d'eau	165
52.1. Généralités	165
52.2. Acquisition de la composition chimique des cours d'eau	165
52.21. Les apports atmosphériques	
▶ Présentation générale	
▶ Méthodologie	
▶ Facteurs de variations	
52.22. Des précipitations incidentes aux pluviessivats	
▶ Caractéristiques des pluviessivats	
▶ Méthodes d'études	
▶ Conséquences : les apports d'éléments minéraux au sol	
52.23. Evolution de la composition chimique des pluviessivats au cours de leur infiltration dans le sol	
▶ Principes généraux et notion de pouvoir tampon du sol	
▶ Méthodologie	
52.24. Modification du pH et de la composition minérale des eaux entre les horizons profonds du sol et les cours d'eau	
▶ Observations générales	
▶ Influence de la nature du sous-sol	
▶ Méthodologie	
52.25. Impact de la sécheresse sur la qualité des eaux	
52.26. Conclusion	
52.3. Influence de la nature du couvert forestier sur la qualité des cours d'eau	175
52.31. D'importantes différences selon les composés chimiques	
52.32. Incidences de la nature du couvert forestier	
▶ Cas général	
▶ Exemple	
52.33. Dépôts atmosphériques et acidification des eaux	
▶ Notion de charge critique	
▶ Perspectives concernant les émissions dans l'atmosphère	
52.34. Exploitation forestière et qualité de l'eau	
▶ Observations générales	
▶ Impact d'une coupe rase	
52.35. Relations entre incendie de forêt et qualité des eaux	
▶ Principes généraux	
▶ Relation entre qualité des eaux et intensité de l'incendie	
52.36. Conclusion : interventions du sylviculteur	
52.4. Comparaison des milieux forestiers et agricoles	184
52.41. Présentation générale	
52.42. Cas particulier des bassins versants mixtes	
52.43. Conclusion	
• 53. Nécessité d'une gestion concertée des ressources en eaux	186
53.1. Notion de solidarité amont-aval, au travers d'un exemple : la rivière Drôme	
53.11. La situation physique actuelle et les problèmes qui en résultent	

- 53.12. Exemple de l'Esconavette
 - ▶ Présentation sommaire du bassin versant de l'Esconavette
 - ▶ Diagnostic géomorphologique
- 53.13. Propositions de gestion
 - ▶ Gestion de la ressource sédimentaire du ruisseau
 - ▶ Gestion du risque d'érosion latérale

53.14. Conclusion

53.2. Forêts, aménagement du territoire et ressources en eau	190
53.21. Généralités	
53.22. Le cas du Massif Central	
53.23. La région méditerranéenne	
53.24. Conclusion	

<i>En résumé</i>	192
------------------	------------

CONCLUSION

- Annexes	199
------------------	------------

- 1 Méthodes et mesures
- 2 Le diagramme de Jamagne
- 3 Exemples de formules climatiques de l'évaporation potentielle d'un peuplement forestier ou ET^P
- 4 Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers
- 5 Conditions de mise en alerte incendie dans les Bouches-du-Rhône
- 6 Caractéristiques auxquelles doit répondre une eau destinée à la consommation humaine
- 7 Grille standard d'appréciation globale de la qualité des eaux

- Glossaire	215
--------------------	------------

- Table de correspondance entre les noms français et les noms latins des essences forestières	217
------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

BIBLIOGRAPHIE

- Contacts de l'étude	231
------------------------------	------------

- Résumé/Summary	234
-------------------------	------------

Introduction

Après les synthèses consacrées au gaz carbonique (N° 29, paru en 1995) et à la lumière (N° 34, paru en 1997), ce numéro du Bulletin Technique de l'ONF aborde l'eau, troisième élément clé de la photosynthèse.

Constamment présente autour de nous, l'eau peut paraître banale. Il s'agit pourtant d'un élément aux propriétés physiques et chimiques à bien des égards remarquables, dont les principales sont rappelées dans l'encadré ci-dessous.

L'eau : des propriétés originales liées à sa structure moléculaire

La molécule d'eau (H₂O) est électriquement chargée, positivement au niveau des atomes d'hydrogène, négativement sur l'atome d'oxygène. Ces charges créent des liaisons entre les molécules (attraction entre l'hydrogène d'une molécule et l'oxygène d'une autre); la viscosité élevée de l'eau liquide et le fait exceptionnel que la glace a une densité inférieure à celle de l'eau en résultent.

L'eau peut dissoudre de nombreux sels et molécules polaires. C'est un vecteur par lequel de nombreuses substances dissoutes sont transportées, à la surface du globe et à l'intérieur même des êtres vivants.

L'eau présente une tension superficielle élevée, ce qui favorise sa condensation (rosée), et la formation d'aérosols (nuages).

L'eau absorbe fortement les rayonnements dans l'Ultra-violet et l'Infra-rouge: c'est l'un des principaux gaz à effet de serre de l'atmosphère.

L'eau possède la capacité calorifique¹ et les chaleurs latentes² de fusion et de vaporisation les plus élevées de tous les fluides. A la surface du globe, la présence d'eau ralentit fortement les variations de température des masses d'air. En se formant, un kilogramme de vapeur d'eau peut ainsi refroidir de 1°C près de 2000 m³ d'air.

De l'eau, élément vital pour les arbres et les peuplements forestiers, à la forêt.

En France métropolitaine, les précipitations apportent chaque année 450 milliards de m³ d'eau (soit un peu plus de 800 litres par m²). L'abondance et la répartition des pluies sont l'un des paramètres clés des climats, qui déterminent l'existence, la composition et la productivité des écosystèmes. Dans nos forêts, chaque m³ de bois produit a ainsi nécessité en moyenne que 150 m³ d'eau soient transpirés par les arbres. Chaque année, la forêt française transpire donc environ 13 milliards de m³ d'eau. Les premiers scénarios, très perfectibles, d'évolution des climats au cours du prochain siècle annoncent des modifications dans le volume et la répartition des précipitations. Les forestiers ont donc tout intérêt à connaître la circulation et à comprendre le rôle de l'eau dans les écosystèmes dont ils ont la responsabilité.

¹: Capacité calorifique, ²: chaleurs latentes : quantités de chaleur qu'il faut fournir à une masse unitaire d'eau pour respectivement élever sa température d'un degré ou la faire changer d'état (fusion de solide à liquide, vaporisation de liquide à gazeux).

Les trois premiers chapitres de ce bulletin sont consacrés aux mécanismes physiologiques et biologiques de base qui régissent le transfert et l'utilisation de l'eau dans les peuplements forestiers: transport de l'eau du sol aux feuilles des arbres (chapitre 1), bilan hydrique des peuplements forestiers (chapitre 2), comportement des différentes espèces ligneuses forestières face aux contraintes hydriques (chapitre 3).

Lorsqu'il fixe les objectifs de gestion de la forêt, l'aménagiste tient compte des contraintes liées à l'eau, notamment pour le choix des essences, et pour la mise en valeur des milieux à haute valeur patrimoniale, secs ou humides. Le sylviculteur module ses interventions selon que l'eau est rare ou en excès. Le chapitre 4 présente les divers aspects de la gestion de l'eau en forêt. Sont successivement passées en revue la production de bois, la protection des captages et des sources, la sauvegarde des milieux à haute valeur patrimoniale et la prévention de l'érosion et des avalanches en montagne. Rappelons que la surface des forêts jouant un rôle de protection et l'étendue des périmètres de protection des captages d'eau potable figurent parmi les indicateurs nationaux de la gestion durable des forêts françaises, publiés par le Ministère chargé de l'agriculture.

De la forêt à l'eau : la gestion d'une ressource à l'échelle de territoires

La ressource renouvelable en eau douce d'un pays est définie comme la quantité d'eau disponible pour la population. Elle se calcule à partir de la pluviométrie, en décomptant l'évapotranspiration et en ajoutant les apports transfrontaliers. Pour la France, cette ressource s'établit à 216 milliards de m³, soit un peu plus de 3000 m³ par habitant et par an³. De ce total, les activités humaines consomment actuellement de l'ordre de 41 milliards de m³ par an. Cette consommation est stable pour les besoins domestiques (16%), en baisse pour l'industrie (60% pour le refroidissement des centrales électriques et 12% pour les autres usages industriels), en hausse pour l'agriculture (12% : pour une surface irriguée de 2 700 000 ha). Le taux d'utilisation de la ressource nationale en eau est donc de 21% en moyenne, ce qui justifie une gestion attentive.

Le Ministère chargé de l'Environnement et les Agences de l'eau surveillent régulièrement la qualité des eaux superficielles. Celle-ci s'est nettement améliorée depuis le début des années 1980, les émissions de matières en suspension et de matières oxydables ayant été fortement réduites. En 1995, la qualité des eaux issues des bassins versants forestiers a été trouvée globalement bonne (cf. critères et indicateurs de gestion durable des forêts françaises). Néanmoins, des problèmes persistent localement, en raison surtout des pollutions diffuses dues à l'agriculture, et des concentrations de polluants qui se produisent lors des années de sécheresse. Ainsi, les effectifs des populations susceptibles de recevoir une eau non conforme restent élevés : 11,5 millions de personnes pour les normes microbiologiques, 6 millions pour les nitrates (données 1991). Les Agences de l'eau consacrent des moyens considérables à la protection et à l'amélioration des ressources françaises en eau : 40 milliards de Francs d'aides pour un programme global de 91 milliards de Francs d'investissements sur la période 1992-96. Rappelons que la politique de l'eau propre, et notamment l'application du principe "pollueur-payeur", ont des répercussions sensibles pour le consommateur: le prix moyen de l'eau est passé de 8,5 F/m³ en 1980 à 14,1 F/m³ en 1995 (dont 7,6 F/m³ d'assainissement, de redevances et taxes).

Gérant l'eau dans ses parcelles, le forestier doit garder en mémoire le fait qu'il gère aussi l'eau de la collectivité. Couvrant le quart du territoire, les forêts jouent un rôle majeur dans l'approvisionnement en eau du pays. Elles donnent naissance à de nombreux cours d'eau, et approvisionnent les nappes aquifères. Les éléments chimiques apportés en forêt, volontairement (actions du sylviculteur) ou non (dépôts d'origine atmosphérique), peuvent se retrouver dans les eaux de ruissellement ou d'infiltration. La présence de forêts peut aussi modifier le volume des eaux disponibles pour les rivières, et la vitesse de leur écoulement. Ces phénomènes s'apprécient à l'échelle de bassins versants, ou de vastes territoires, au sein desquels la forêt joue un rôle spécifique, à côté d'autres modes de mise en valeur du sol. Tel est le thème du chapitre 5.

3 : Quelques références européennes à titre de comparaison : Pays-Bas / 000, Allemagne et Belgique 2 000. Finlande 23 000.

Quelques remarques finales

Signalons que ce bulletin ne traite pas de la pisciculture, ni des aspects juridiques et culturels des eaux en forêt. Sur ces sujets, le lecteur est renvoyé aux deux récents numéros (N° 69 et 70 , Juillet-Août et Septembre-Octobre 1997) de la revue "Arborescences" .

Comme pour "La lumière et la forêt", chaque chapitre comporte un résumé final, sur pages vertes, à l'intention des lecteurs voulant se borner à l'essentiel.

Bonne lecture.

BIBLIOGRAPHIE

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE, DERF, 1995. Les Indicateurs de gestion durable des forêts françaises. Document français de mise en oeuvre des décisions des pays participant aux conférences ministérielles pour la protection des forêts en Europe.

OCDE 1997. Examens des performances environnementales. France.

RAMADE F., 1993. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie. Ediscience international.