

FORÊT

• NATURE



OUTILS POUR UNE GESTION RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS



Tiré à part du Forêt.Nature n° 153, p. 54-61

COMPRENDRE LE BILAN HYDRIQUE DES PEUPELEMENTS POUR L'INTÉGRER DANS LA GESTION AFIN D'ATTÉNUER LA SÉVÉRITÉ DES SÉCHERESSES

Sophie Bertin (Ekolog), Céline Perrier (CNPFF-IDF)

Rédaction : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. info@foretnature.be. T +32 (0)84 22 35 70. Photo de couverture : © Martin Dellicour.
La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction. foretnature.be

Comprendre le bilan hydrique des peuplements pour l'intégrer dans la gestion afin d'atténuer la sévérité des sécheresses



Sophie Bertin¹ | Céline Perrier²

¹ Ekolog

² CNPF-IDF, animatrice du RMT AFORCE

Face aux risques de sécheresses, il est indispensable que le sylviculteur comprenne comment l'eau circule dans le complexe sol-peuplement-climat. La synthèse élaborée par le RMT Aforce en France, fait le point des certitudes et incertitudes scientifiques sur le sujet.

RÉSUMÉ

L'eau joue un rôle déterminant mais complexe dans le fonctionnement et la croissance des arbres de nos forêts. Face aux sécheresses et canicules récurrentes, le gestionnaire forestier se pose de nombreuses questions concernant l'influence de la sylviculture sur le bilan en eau des peuplements et sur les marges de manœuvre dont il dispose pour atténuer la sévérité des sécheresses. Pour répondre à ces interrogations, les acteurs du réseau français pour l'adaptation des forêts au changement climatique, le RMT AFORCE, ont développé un guide interactif original : « Le bilan hydrique des



Description d'une fosse pédologique. Journée de formation sur l'adaptation du douglas aux plateaux calcaires du Nors-Est de la France. Public de gestionnaires et techniciens forestiers. Sol à couverture limoneuse importante avec transition progressive sur des argiles US n° 5. Très bon enracinement du douglas.

L'alimentation en eau, directement corrélée au climat, est un des facteurs fondamentaux de la croissance des arbres. Cette donnée est une évidence en régions sèches. Les écophysiologistes étudient la réponse des arbres aux variations de la disponibilité en eau depuis bien longtemps. Toutefois, la sécheresse historique de 2003 a relancé l'intérêt pour ces travaux. Outre les mortalités qu'elle a entraînées sur les jeunes plantations et sur les peuplements adultes, elle est intervenue à un moment où les forestiers prenaient pour la première fois conscience de l'évolution inexorable du climat, aujourd'hui très médiatisée. Cette sécheresse a été perçue comme caractéristique de ce qui pourrait se passer en année moyenne dans un demi-siècle : stress hydrique estival intense et températures extrêmes. De nombreux travaux ont alors été initiés pour envisager les chemins d'adaptation des forêts au changement climatique¹.

Dans ce contexte, le gestionnaire forestier se pose de nombreuses questions concernant l'influence de la sylviculture sur le bilan en eau des peuplements, celle-ci offrant les seules marges de manœuvre dont il dispose pour atténuer la sévérité des sécheresses des peuplements en place. C'est pour répondre à cet enjeu que le réseau français pour l'adaptation des forêts au changement climatique, le RMT AFORCE*, a mis en place un groupe de travail avec pour objectif d'élaborer et de valider des messages sur la gestion de l'eau dans la sylviculture des peuplements afin d'aider les forestiers à adapter leur sylviculture aux contextes pédo-climatiques actuels et futurs. Dans ce cadre, un partenariat efficace associant la recherche et les agents de développement forestier a permis d'élaborer un guide interactif original : « Le bilan hydrique des peuplements forestiers. État des connaissances scientifiques et technique. Implications pour la gestion ». Le guide s'appuie sur l'analyse et la synthèse des travaux de recherche sur ce sujet afin de les valoriser et

* www.reseau-aforce.fr

peuplements forestiers. État des connaissances scientifiques et techniques. Implications pour la gestion ». Ce guide, co-construit entre chercheurs et agents de développement, a pour objectif d'élaborer et de valider des messages concrets sur la gestion de l'eau dans la sylviculture des peuplements afin d'aider les forestiers à adapter leur sylviculture aux contextes pédo-climatiques actuels et futurs. Il s'appuie sur l'analyse et la synthèse des travaux de recherche sur ce sujet afin de les valoriser et d'aider le gestionnaire à se les approprier facilement. Le guide s'adresse aux gestionnaires

mais aussi aux conseillers forestiers et aux enseignants. Il s'articule autour de quatre parties : (1) les questions posées par les gestionnaires qui sont regroupées en lots en fonction du niveau de réponse aujourd'hui apporté par la recherche ; (2) les fiches de « synthèse des connaissances scientifiques et techniques » qui reprennent l'état des connaissances actuelles ; (3) les fiches « implications pour la gestion » qui fournissent des éléments de réponses aux questions des gestionnaires et (4) le glossaire.

d'aider le gestionnaire à se les approprier et à corriger des erreurs courantes. La collaboration mise en place au sein du groupe de travail a privilégié les échanges, la mise à profit de l'expertise de chacun, ainsi que la co-construction et la validation conjointe des messages. Cet article présente la façon dont le guide fonctionne et se veut une invitation à l'ouvrir chaque fois qu'une question sur ce sujet vous vient à l'esprit.

Présentation de la construction du guide

Le guide s'adresse aux gestionnaires qui désirent mieux comprendre le fonctionnement hydrique des peuplements forestiers, afin d'en tenir compte dans leurs décisions de gestion. Il a pour objectif de les aider à orienter et à raisonner leurs choix techniques adaptés à chaque contexte pédo-climatique, actuel et futur. Il se concentre uniquement sur la gestion de l'eau. Le guide est aussi destiné aux conseillers forestiers, aux agents de développement et aux enseignants qui peuvent l'utiliser comme support pour élaborer des présentations adaptées à leurs interlocuteurs (gestionnaires, propriétaires, politiques, décideurs, étudiants,

etc.) dans le cadre de formations, de journées d'information ou de réunions thématiques. Le diagnostic posé sur l'état des connaissances actuelles le rend aussi utilisable par les agences de financement de la recherche pour relancer des programmes dédiés.

Il s'articule autour de quatre parties décrites en détail ci-après et interagissant entre elles :

- Les questions posées par les gestionnaires.
- Les fiches « synthèse des connaissances scientifiques et techniques ».
- Les fiches « implications pour la gestion ».
- Le glossaire.

Il est conçu pour une lecture dynamique et possède donc de nombreux liens et renvois. Le lecteur peut l'aborder de différentes manières : pour trouver réponse à des questions de gestion, pour se remémorer certaines notions fondamentales ou enfin, pour mettre à jour ses connaissances (celles-ci datant parfois de ses études ou relevant de ses seules intuitions) sur les résultats scientifiques et techniques relatifs au fonctionnement hydrique des peuplements.

Les questions posées par les gestionnaires

Un recensement des questions posées par les gestionnaires concernant la gestion de l'eau dans les peuplements a été effectué. Ces questions ont servi de base pour élaborer les autres parties du guide. Elles ont été regroupées en trois lots en fonction du niveau de réponse qu'il était aujourd'hui possible d'apporter (tableau 1) :

- Les questions n° 1 à 10 (lot 1) sont des questions qui trouvent aujourd'hui des réponses dans la littérature scientifique et technique. Les connaissances

Peuplement feuillu mélangé en plateau calcaire du Nord-Est de la France. Photo prise fin septembre avec deux populations d'arbres : des arbres vert bien en feuille et des arbres défoliés. Il est donc vraisemblable que la défoliation soit due à une chute de feuilles anticipée causée par la sécheresse (sans qu'il soit possible de dire à partir de cette vue aérienne quelles sont les essences concernées).

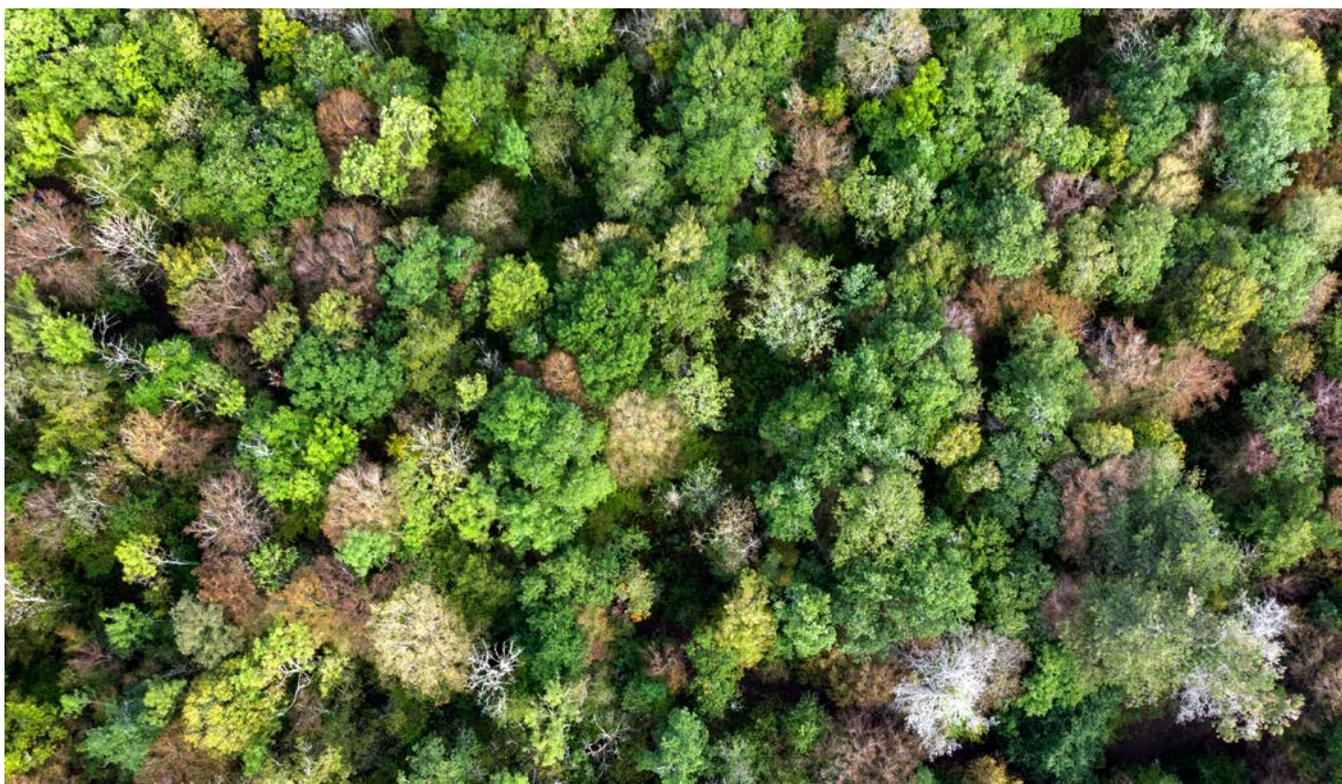


Tableau 1. Recensement des questions posées par les gestionnaires concernant la gestion de l'eau dans les peuplements en trois lots en fonction du niveau de réponse apporté.**Lot 1 – Questions faisant l'objet d'une réponse complète sous forme d'une fiche « Implication pour la gestion »**

Question n° 1 – Qu'est-ce qui fait varier l'indice foliaire dans un peuplement régulier ?

Question n° 2 – Comment évolue l'indice foliaire au cours de la vie d'un peuplement régulier ?

Question n° 3 – Quel est l'effet de l'intensité des éclaircies sur le bilan hydrique dans les peuplements réguliers ?

Question n° 4 – Quelle est l'influence de la rotation des coupes sur le bilan hydrique des peuplements réguliers ?

Question n° 5 – Quelle est l'influence du type d'éclaircie sur le bilan hydrique d'un peuplement régulier ?

Question n° 6 – Existe-t-il une relation simple entre la surface terrière et l'indice foliaire ?

Question n° 7 – Dans un peuplement régulier, l'effet des éclaircies sur le bilan hydrique n'est-il que temporaire, le temps que le couvert se referme ?

Question n° 8 – Deux peuplements réguliers de dimensions différentes mais de même indice foliaire ont-ils le même bilan hydrique ?

Question n° 9 – Le seuil de réserve relative en eau extractible du sol de 0,4 est-il universel ?

Question n° 10 – Les vieux peuplements réguliers ont-ils un bilan hydrique plus favorable que les jeunes ?

Lot 2 – Questions faisant l'objet d'une réponse partielle distillée dans les « Fiches de synthèse des connaissances scientifiques et techniques »

Question n° 11 – Après une intervention sylvicole ouvrant le couvert d'un peuplement, quelle serait l'incidence du développement d'une végétation herbacée (voire arbustive) sur son bilan hydrique global ?

Question n° 12 – Un peuplement clair avec une importante strate herbacée présente-t-il un bilan hydrique global moins favorable qu'un peuplement à couvert fermé sans strate herbacée ? En est-il de même si c'est la strate arbustive qui est importante ?

Question n° 13 – Est-il vrai que les peuplements mélangés favorisent une distribution des racines dans différents horizons du sol ? Cela a-t-il un effet sur la transpiration du peuplement ? Un peuplement monospécifique équienne avec les systèmes racinaires des arbres explorant les mêmes horizons de sol est-il plus exposé à la sécheresse qu'un peuplement mélangé ?

Question n° 14 – Quelles sont les associations d'essences qui permettent d'obtenir les bilans hydriques les plus favorables ?

Question n° 15 – Les flux d'eau qui composent le bilan hydrique sont-ils répartis différemment entre un peuplement pur et un peuplement mélangé ? L'un transpire-t-il plus que l'autre ?

Question n° 16 – Un peuplement mélangé feuillus-résineux a-t-il un bilan hydrique plus favorable qu'un peuplement pur de résineux ?

Question n° 17 – Est-il vrai que les peuplements irréguliers ou étagés favorisent l'exploration de couches de sol différentes et étagées ? Cela a-t-il un effet sur la transpiration totale du peuplement ? Un peuplement monospécifique équienne avec les systèmes racinaires des arbres explorant les mêmes horizons de sol est-il plus exposé à la sécheresse ?

Question n° 18 – Dispose-t-on d'éléments probants pour préciser si les peuplements irréguliers ou étagés (purs ou mélangés) ont un bilan hydrique plus favorable que les peuplements réguliers ?

Lot 3 – Questions dites « orphelines », pour lesquelles il n'est pas encore possible de formuler des réponses

Question n° 19 – Une éclaircie systématique en ligne, qui abaisserait brutalement l'indice foliaire, permettrait-elle d'amener au sol plus de pluie incidente qu'une éclaircie sélective, davantage par le bas ?

Question n° 20 – Raccourcir les révolutions implique de plus fréquentes exportations minérales pouvant épuiser la fertilité des sols. Cela peut-il avoir des conséquences sur la sensibilité des arbres au stress hydrique ?

Question n° 21 – Les résineux, dans leur globalité, ont la réputation de mieux résister au stress hydrique (par rapport aux grands feuillus sociaux, notamment). Comment expliquer cela ? Ont-ils une meilleure régulation de la transpiration des feuilles aciculaires en cas de stress hydrique important ?

Question n° 22 – Quels sont, essence par essence, à stress hydrique équivalent, les atouts et faiblesses pour résister aux sécheresses : mode de régulation stomatique (évitement par exemple), résistance à la cavitation, particularité du système racinaire (racines plongeantes par exemple), particularités de l'architecture du houppier (plus ou moins forte interception), etc. ?

Question n° 23 – À la suite d'une plantation, comment évolue le bilan hydrique avec le développement des plants (en fonction des densités initiales par exemple), lorsque le couvert commence à se fermer (entre 8 et 12-14 mètres de hauteur pour des densités standard) ?

Tableau 2. Liste des fiches de synthèse des connaissances scientifiques et techniques développées pour répondre aux questions posées par les gestionnaires.

Fiche A – Le bilan hydrique

Fiche B – Le réservoir d'eau du sol

Fiche C – De la surface foliaire de l'arbre à l'indice foliaire du peuplement

Fiche D – Les facteurs de variation de l'indice foliaire

Fiche E – Estimation de l'indice foliaire : méthodes directes

Fiche F – Estimation de l'indice foliaire : méthodes indirectes

Fiche G – Facteurs de variation de la transpiration des arbres et statut social

Fiche H – Évapotranspiration réelle de la strate inférieure d'un peuplement

Fiche I – Bilan hydrique d'un peuplement mélangé

Fiche J – Bilan hydrique d'un peuplement irrégulier

assemblées dans le guide permettent ainsi de formuler une réponse sous forme d'une fiche « implications pour la gestion » pour chaque question.

- Les questions n° 11 à 18 (lot 2) sont des questions pour lesquelles il est possible de formuler uniquement des réponses partielles compte-tenu de l'état des connaissances. Ces éléments de réponse sont consignés dans les fiches de « synthèse des connaissances scientifiques et techniques » H, I et J (tableau 2).
- Les questions n° 19 à 23 (lot 3) sont des questions dites « orphelines » adressées à la recherche et pour lesquelles il n'est pas possible aujourd'hui de fournir des éléments de réponse.

Les fiches de « synthèse des connaissances scientifiques et techniques »

Un bilan des connaissances scientifiques et techniques a été réalisé, sur la base d'un état de l'art de la bibliographie existante et de consultation d'experts, pour fournir, lorsqu'elles existent, des réponses aux questions recensées et préciser les lacunes nécessitant encore des travaux de recherche. Ces connaissances ont été rassemblées dans dix « Fiches de synthèse des connaissances scientifiques et techniques » (tableau 2) :

- Les fiches A à G sont des fiches pour lesquelles on dispose d'informations dans la littérature scientifique et technique. Elles contiennent des rappels des connaissances fondamentales avec des références bibliographiques associées et des exemples concrets et illustrés. Les connaissances regroupées dans ces fiches sont la base des éléments de réponse aux questions n° 1 à 10 regroupés dans les fiches « implications pour la gestion ».
- Les fiches H à J sont des fiches conçues à partir de travaux de synthèse récents ou en cours. Elles ont vocation à fournir un état des lieux sur des sujets pour lesquels la recherche ne dispose encore que

d'éléments très incomplets. Elles constituent notamment une aide pour aborder les questions n° 11 à 18.

L'ensemble de ces fiches constitue la première partie de l'ouvrage. Elles peuvent se lire indépendamment.

Les fiches « implications pour la gestion »

Des éléments de réponses aux questions du lot 1 (tableau 1) posées par les gestionnaires ont été apportés en mettant en parallèle les messages délivrés par les fiches de « synthèse des connaissances scientifiques et techniques » avec les pratiques actuelles de gestion. Ce travail souligne quelles sont les implications concrètes à mettre en œuvre afin de prendre en compte le bilan en eau des peuplements dans une perspective d'adaptation des forêts aux impacts du changement climatique. Seule la question de l'amélioration du bilan hydrique dans les peuplements a été prise en considération. Ces fiches ne sont en aucun cas des recommandations ou des itinéraires sylvicoles clefs en main. Il s'agit d'une synthèse des différents éléments de réponse qu'apporte la littérature à des questions de gestion. Il est ainsi vivement conseillé de consulter les fiches de « synthèse des connaissances scientifiques et techniques » afin de s'approprier les connaissances et mécanismes qui ont servi à les élaborer. Pour un passage à la pratique, le gestionnaire devra intégrer simultanément dans la décision la prise en compte des objectifs du propriétaire, les autres risques (sanitaires, tempêtes, etc.), les composantes économiques, et bien évidemment son contexte pédo-climatique.

Les réponses formulées ont été rassemblées sous forme de dix fiches « Implications pour la gestion » et font l'objet de la deuxième partie de l'ouvrage. Elles concernent les dix questions pour lesquelles une réponse a pu être apportée suite à l'état des connais-



De la surface foliaire de l'arbre à l'indice foliaire du peuplement

Objectifs généraux

Distinguer la notion de couvert et celle d'indice foliaire du peuplement.

Comprendre comment on procède au changement d'échelle, de l'arbre au peuplement, de manière à calculer l'indice foliaire d'un peuplement.

Identifier pourquoi l'indice foliaire est l'un des paramètres clé pour analyser le fonctionnement d'un peuplement et son bilan hydrique.

Prérequis

- Savoir comment s'établit le bilan hydrique* d'un peuplement forestier* et quels sont les différents flux qui le composent (cf. Fiche A).
- Distinguer les différentes strates* d'un peuplement forestier (cf. Figure C1).

Surface foliaire de l'arbre et indice foliaire du peuplement

Le système étudié* dans le cadre du bilan hydrique est le peuplement forestier (cf. Fiche A). Son indice foliaire* est directement relié à la surface foliaire* des arbres qui le composent.

Surface foliaire de l'arbre

Au niveau individuel, la surface du feuillage qu'un arbre porte pendant la saison de végétation peut se mesurer

(cf. Fiche E) : il s'agit de sa surface foliaire (en m²). Elle correspond à la somme des surfaces de chaque feuille de l'arbre. Elle résulte à la fois du nombre de feuilles et de leur surface élémentaire.

Surface foliaire du peuplement

Lorsqu'on s'intéresse au bilan hydrique du peuplement, il faut considérer la surface foliaire totale du peuplement (en m², ha ou km²). Elle correspond à la somme des surfaces foliaires de l'ensemble des plantes le constituant, toutes strates* confondues (cf. Figure C1). Une mesure de cette surface consisterait à mesurer la surface couverte par toutes les feuilles de toutes les plantes du peuplement, posées à plat sur le sol (cf. Fiche F).

Indice foliaire du peuplement

L'indice foliaire (F ou Leaf Area Index ou LAI, en anglais) n'est pas un concept nouveau, puisqu'il a été défini par

De la surface foliaire de l'arbre à l'indice foliaire du peuplement

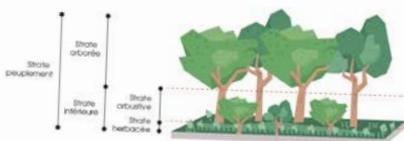


Figure C1 : Les différentes strates du peuplement forestier. Pour rappel, la strate peuplement est composée de plusieurs strates : la strate arborée* et la strate inférieure* qui comprennent les strates arbustive* et herbacée*.

Watson, en 1947 (Bréda, 2003) comme étant la surface projetée (une face) des feuilles par unité de surface de sol. L'indice foliaire du peuplement correspond donc à la surface foliaire contenue dans la strate feuillée* du peuplement rapportée à une unité de surface au sol. Il se calcule en divisant la surface foliaire totale du peuplement (S) par la surface occupée par le peuplement (A) (Bréda et al., 2002 ; cf. Encadré C1).

L'indice foliaire exprime donc des m² de feuilles par m² de sol. Il s'agit ainsi d'une grandeur sans dimension.

Attention, la surface foliaire du peuplement (S) est beaucoup plus grande que A. Pour donner un ordre de gran-

Calcul de l'indice foliaire d'un peuplement (IF)

CF

$$IF = S / A$$

S = surface foliaire totale du peuplement (en m²)
A = surface qu'occupe le peuplement (en m²)

deur, l'indice foliaire varie couramment entre 3 et 9 ; cela signifie que, pour un hectare de parcelle, toutes les feuilles étalées sur le sol couvriraient entre 3 ha (F = 3) et 9 ha (F = 9).

Par définition, l'indice foliaire du peuplement intègre toutes les surfaces foliaires, quelque soit le niveau, sans distinction de strates.

Ne pas confondre indice foliaire et couvert du peuplement

Le forestier ou le phytosociologue est parfois plus familier avec la notion de couvert*, une notion différente de celle d'indice foliaire. Les trois exemples théoriques qui suivent illustrent les différences et l'absence de corrélation entre indice foliaire et couvert du peuplement (= surface de sol occupée par le peuplement) :

verticale de l'ensemble des feuillages des arbres) (cf. Figures C2 et C3). Il s'agit de trois peuplements a, b et c, pour lesquels :
- une des deux caractéristiques de l'arbre moyen change (diamètre de houppier moyen par arbre (Dh) et/ou surface foliaire moyenne par arbre (Sf), selon le cas) ;
- la surface occupée par le peuplement (A = 1 ha) et la densité (N = 542 tiges/ha) sont les mêmes pour chaque cas.

Feuillage de la strate arborée vu depuis l'intérieur du peuplement.



Peuplement mélangé de hêtre, sapin et pin sylvestre dans la strate arborée, avec du sapin, de l'épicéa et du hêtre dans la strate arbustive. L'indice foliaire de ce peuplement intègre toutes les surfaces foliaires de toutes les essences et de toutes les strates (cf. Fiches H et J).



De la surface foliaire de l'arbre à l'indice foliaire du peuplement

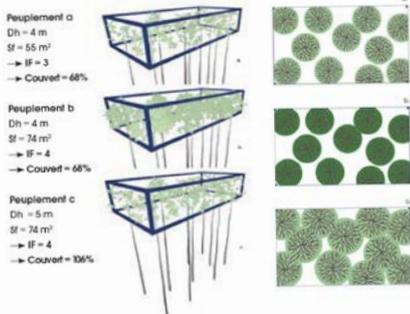


Figure C2 : Représentation schématisée en 3D des trois peuplements a, b et c. (Source: Parle Achteche II) pour BIOLOG. Les proportions des peuplements forestiers ont été conservées.

Figure C3 : Représentation schématisée en 2D du couvert pour les trois peuplements a, b et c. (Source: Parle Achteche II) pour BIOLOG.

Dans ces 3 exemples, il pourrait s'agir du même peuplement (b) initialement en bonne santé, qui viendrait d'être éclairci et qui :
- la même année, aurait subi un stress (sécheresse, parasites, etc.) ayant provoqué une perte partielle de feuillage (correspond à la situation a) ;
- après quelques années, aurait commencé à se resemeler (houppiers plus larges), mais aurait été à nouveau soumis à un stress (feuillage peu dense, correspond à la situation c).

Ces exemples mettent en évidence qu'il est possible :
- d'avoir un indice foliaire du peuplement différent pour des peuplements ayant un même couvert ;
- qu'une augmentation de l'indice foliaire ne se traduit pas nécessairement par une augmentation du couvert ;
- qu'à indice foliaire identique, le couvert peut être sensiblement différent.

De la surface foliaire de l'arbre à l'indice foliaire du peuplement

Principaux enseignements de la fiche

- La surface foliaire* totale d'un peuplement résulte de la somme des surfaces foliaires de tous les éléments du feuillage qui le composent.
- L'indice foliaire* du peuplement exprime la surface foliaire totale du peuplement rapportée à la surface au sol de la parcelle forestière correspondante. Il ne s'agit donc pas d'une simple projection au sol des houppiers*. Il ne distingue pas les strates*.

Références bibliographiques

BRÉDA N. (2003). Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany*, 54 (392), 2403-2417.
BRÉDA N., SOUDANI K. & BERGONZINI J.-C. (2002). Mesure de l'indice foliaire en forêt. *GIP ECOFOR* éd. 157 pages. ISBN 2-914770-02-2.
WATSON D. J. (1947). Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*, 11, 41-76.

Pour en savoir plus

INRA (2010). Bijaoui - Modèle de bilan hydrique forestier. Fiche pédagogique « Phénologie et indice foliaire » <https://ap-prod03.nancy.inra.fr/bijaoui/fiche/indice-foliaire-et-phénologie>. INRA, UMR Ecologie et écophysologie forestières.

Pour rappel, les différentes illustrations de cette fiche sont données à titre d'exemple. Elles sont dépendantes du contexte. Il convient par conséquent de ne pas en déduire des généralités.

Fiches de synthèse des connaissances scientifiques et techniques associées

A F H J

Implications pour la gestion associées

1 2 3 5 6 8



10

Les vieux peuplements réguliers ont-ils un bilan hydrique plus favorable que les jeunes ?

D'un point de vue sylvicole, le regard du forestier

Au cours des différents stades de développement d'un peuplement forestier, les systèmes racinaires et foliaires des arbres évoluent en fonction de ses caractéristiques (essence, structure, mélange, etc.), du contexte pédo-climatique et sous l'influence des interventions sylvicoles. Les peuplements âgés gérés ont généralement des densités d'arbres moindres que les jeunes peuplements mais les arbres y ont des diamètres de tronc plus importants et des houppiers plus étalés. À l'inverse, les peuplements jeunes sont souvent plus denses mais les arbres sont moins gros avec des houppiers plus étiqués. On peut donc se demander s'il existe une différence de bilan

1 Dans cette fiche, la notion de « jeune » peuplement n'inclut pas les stades de régénération.

hydrique* entre ces deux situations et si oui, quel traitement* sylvicole adopter pour chaque situation ?

D'un point de vue hydrique

Dès le stade juvénile, la totalité du volume de sol disponible est rapidement colonisée par les racines fines du système racinaire des arbres, si les interactions avec d'autres racines (cf. fiches H et I) ou les caractéristiques du sol ne heurtent pas cette colonisation (biométrie grossière, structure compacte, etc.). Ces racines à faible durée de vie se renouvellent régulièrement. Dans les forêts gérées où les arbres atteignent rarement le stade sénescence, le volume qu'elles prospectent et leur dynamique de renouvellement varient donc ensuite assez peu avec l'âge. Cette prospection par les racines fines est déterminante pour l'alimentation en eau des plantes puisque ce sont ces racines qui assurent la majeure partie de l'ab-

sorption de l'eau et des nutriments dans le sol. Plus la prospection est importante, plus grand est le réservoir d'eau du sol*. L'eau réellement extractible (réserve utile ou eau*) dépend cependant des propriétés du sol (texture notamment), et de son remplissage grâce aux apports des précipitations (cf. fiche B).

Pour que la plante puisse bénéficier de conditions d'alimentation en eau favorables, il est indispensable que la réserve en eau du sol soit alimentée par les précipitations d'une part, et que la demande climatique* (rayonnement, vent, déficit de saturation en vapeur d'eau de l'air*) n'entraîne pas une forte évapotranspiration* d'autre part, sinon la réserve en eau du sol* serait vite épuisée. L'équilibre entre ces différents flux est conditionné par l'indice foliaire* du peuplement (cf. fiche G).

Dans les peuplements gérés, il n'est pas possible d'établir une relation entre l'âge du peuplement et son indice foliaire. Dans les peuplements peu ou pas gérés, il augmente au fur et à mesure que le peuplement vieillit, jusqu'à atteindre un maximum où il se stabilise. Il a ensuite parfois tendance à diminuer légèrement avec l'âge (cf. fiches D et E). Cette diminution n'est cependant pas systématique et reste très variable selon les peuplements et selon leur cycle de vie (maturaison, vieillissement physiologique, etc.).

Ainsi, deux peuplements réguliers* composés de la même essence, l'un au stade perché et l'autre au stade futaie mature (égée), situés dans un même contexte pédo-climatique, pourront avoir sensiblement la même taille de réservoir d'eau du sol. En revanche, la réserve réellement disponible pour la végétation à un temps 1



ne sera pas forcément la même car elle est en partie conditionnée par l'indice foliaire (plus ou moins grande évapotranspiration et interception* des pluies), qui peut ne pas être la même entre les deux peuplements, et ceci sans lien avec l'âge.

Implications sylvicoles

Dans un contexte pédo-climatique donné, ce n'est pas l'âge du peuplement qui influe sur son bilan hydrique, mais ses caractéristiques – en particulier son

indice foliaire – liées notamment à la gestion (ou à l'absence de gestion) qui lui est appliquée. Ainsi, certains jeunes peuplements pourront avoir un bilan hydrique plus favorable que certains peuplements âgés, mais pour d'autres cela pourra être l'inverse.

En pratique, quel que soit l'âge du peuplement, il est donc indispensable de tenir compte du contexte pédo-climatique dans lequel il évolue et de son indice foliaire pour évaluer le partitionne-



Futaie mature de chêne sessile en forêt domaniale de Bercé (Sarthe). Dans ce peuplement âgé, les diamètres des troncs des arbres ont de faibles importances (a) et les houppiers sont plus étalés que dans un jeune peuplement (b).

Figure 2. Les quatre pages composant la fiche 10 « implications pour la gestion ».

ment* des différents flux qui composent le bilan hydrique (cf. fiche A). Il est alors plus facile d'anticiper d'éventuelles situations de déficit hydrique*. Pour des peuplements amenés à se trouver dans ces situations, qu'ils soient jeunes ou vieux, il existe plusieurs moyens d'action :

- préserver la réserve en eau du sol et favoriser l'étalement de la prospection racinaire en évitant les phénomènes de tassement qui empêchent l'infiltration de l'eau dans le sol et limitent l'enracinement (modification de la structure et de la porosité, augmentation de la compacité, etc.) ;
- contrôler l'indice foliaire en réalisant des éclaircies* dont la fréquence, le type et l'intensité* devront être adaptés au contexte pédo-climatique et économique du site (cf. implications 3, 4, 5 et 7).

Ces différentes précautions peuvent permettre de limiter l'impact d'éventuels déficits hydriques en diminuant, selon le cas, la durée ou l'intensité du déficit. Le risque d'une baisse de croissance (origne la proportion de réserve utile en eau du sol disponible chute en dessous de 40%), voire d'une mortalité des arbres, est ainsi réduit (cf. implication 9).

Mises en garde

Ne pas penser que les peuplements sont de plus en plus résistants à la sécheresse avec l'âge. En effet, il ne faut pas confondre résistance à la sécheresse (qui dépend de mécanismes complexes liés par le vieillissement physiologique de l'arbre) et exposition à la sécheresse (qui dépend du bilan hydrique).

Fiches de synthèse des connaissances scientifiques et techniques associées



Implications pour la gestion associées

sances scientifiques et techniques (lot 1 dans le tableau 1). Elles peuvent se lire indépendamment.

Le glossaire

Les termes techniques utilisés dans le document sont définis dans cette partie. Des différences d'usage pour certains termes techniques ont été constatées entre chercheurs, agents de développement et gestionnaires, lors de la conception des documents. Par conséquent, pour éviter tout risque de mauvaise interprétation, les termes les plus indispensables à la compréhension de l'ouvrage ont été redéfinis. C'est le cas notamment des mots comme « couvert », « peuplement forestier », « sous-étage », « strate arbustive »

pour lesquels il est recommandé de consulter la définition avant de s'engager dans la lecture.

Deux exemples

Exemple de la fiche C « synthèse des connaissances scientifiques et techniques » : De la surface foliaire de l'arbre à l'indice foliaire du peuplement (figure 1)

Chaque fiche « synthèse des connaissances scientifiques et techniques » est identifiée en première page par une lettre, ceci afin de faire la distinction avec les fiches « implications pour la gestion » (figure 2). Un onglet existe qui permet de naviguer facilement



Le bilan hydrique des peuplements forestiers

État des connaissances scientifiques et techniques
Implications pour la gestion

Coordination

Sophie BERTIN
Céline PERRIER

Auteurs

Sophie BERTIN
Philippe BALANDIER
Jacques BECQUEY
Damien BONAL
Nathalie BRÉDA
Céline PERRIER
Philippe RIOU-NIVERT
Éric SEVRIN

d'une fiche à l'autre. La fiche est illustrée par des cas concrets extraits de la littérature et mise en relation avec d'autres travaux complémentaires tels que l'outil *Biljou**. Les prérequis avec les connaissances fondamentales qu'il est préférable de connaître avant de s'engager dans la lecture sont indiqués. Les principaux messages à retenir dans la fiche sont rappelés. Les références bibliographiques citées dans la fiche sont fournies ainsi que certaines recommandées pour approfondir le sujet. Des liens vers les autres fiches de « synthèse des connaissances scientifiques » complémentaires, ainsi que des renvois vers les fiches « implications pour la gestion » auxquelles la fiche contribue à répondre sont fournis en dernière page.

Exemple de la fiche 10 « implications pour la gestion » : Les vieux peuplements réguliers ont-ils un bilan hydrique plus favorable que les jeunes ? (figure 2)

Chaque fiche « implications pour la gestion » est identifiée en première page par un numéro et un onglet pour faciliter la navigation. La fiche est de couleur bleue pour la différencier de la fiche « synthèse des connaissances scientifiques et techniques » (figure 1).

* Modèle de bilan hydrique forestier développé par l'UMR Écologie et Écophysio­logie Forestières de l'INRA : <https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/>

POINTS-CLEFS

- ▶ Recensement des questions que se posent les gestionnaires concernant la gestion de l'eau dans les peuplements.
- ▶ Identification, analyse et synthèse des travaux de recherche sur le sujet du bilan hydrique des peuplements forestiers afin de les valoriser et de permettre aux gestionnaires de se les approprier facilement.
- ▶ Élaboration de messages concrets sur la gestion de l'eau dans la sylviculture des peuplements afin d'aider les gestionnaires à raisonner et adapter leur sylviculture aux contextes pédo-climatiques actuels et futurs.
- ▶ Développement d'un guide interactif original intégrant les éléments précédemment cités.

Elle présente un point de vue sylvicole à travers le regard du forestier, un point de vue hydrique, des implications sylvicoles et des mises en garde. Elle est générale et ne peut de ce fait pas s'appliquer sans prendre en compte les caractéristiques de chaque peuplement dans son environnement pédo­climatique. Des liens vers les autres fiches « implications pour la gestion » complémentaires, ainsi que des renvois vers les fiches de « synthèse des connaissances scientifiques » qui ont permis d'élaborer ces réponses sont fournis en dernière page. ■

Bibliographie

- ¹ ONERC (2015). *L'arbre et la forêt à l'épreuve d'un climat qui change*. Rapport au Premier ministre et au Parlement. La Documentation Française. 182 pages.

Pour aller plus loin

Cet article est une présentation du livre « **Le bilan hydrique des peuplements forestiers. État des connaissances scientifiques et techniques. Implications pour la gestion** » (190 pages) coordonné par **Sophie Bertin** (Ekolog) et **Céline Perrier** (CNPFF-IDF) en 2016 et rédigé par Sophie Bertin, Philippe Balandier, Jacques Becquey, Damien Bonal, Nathalie Bréda, Céline Perrier, Philippe Riou-Nivert et Éric Sevrin. Il est produit et diffusé par le RMT AFORCE, en disponible en ligne : reseau-aforce.fr/data/ouvrage_bilan_hydrique.pdf

Crédits photos. S. Gaudin/CNPFF

Sophie Bertin¹

Céline Perrier²

sophie.bertin@ekolog.fr

¹ Ekolog | F-75010 Paris

² CNPF-IDF | 175 Cours Lafayette | F-69006 Lyon