



**HAL**  
open science

# Quel avenir pour la forêt française ? Et qu'ont à nous dire les sols ? L'exemple du Morvan

Ponge Jean-François

## ► To cite this version:

Ponge Jean-François. Quel avenir pour la forêt française ? Et qu'ont à nous dire les sols ? L'exemple du Morvan. [0] Muséum National d'Histoire Naturelle. 2019. hal-02178971

**HAL Id: hal-02178971**

**<https://hal.science/hal-02178971>**

Submitted on 10 Jul 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## **Quel avenir pour la forêt française ? Et qu'ont à nous dire les sols ? L'exemple du Morvan**

par Jean-François Ponge

*Muséum National d'Histoire Naturelle, CNRS UMR 7179, 4 avenue du Petit Château, 91800 Brunoy, France*

**Mots-clés** : protection des sols, sylviculture intensive, exploitation durable, plantation, feuillus, résineux, acidification

### **Introduction**

La France est très fière, et à juste titre, de son patrimoine forestier, qui la place au quatrième rang des pays européens par sa superficie forestière, derrière la Suède, la Finlande et l'Espagne. Mais qu'en est-il de l'avenir de cette forêt dans le cadre de l'actuelle politique européenne en faveur de l'augmentation de la productivité, déclinée en France par le Plan d'Action Interministériel Forêt-Bois du 16 novembre 2018 ?

Partons d'un exemple régional, celui du Morvan, connu pour l'importance qu'y revêt la forêt, non seulement en termes de surface mais aussi en termes d'enjeux socio-économiques (Jouffroy-Bapicot, 2010), pour élargir ensuite le débat. Le Schéma Régional de Cohérence Écologique (SRCE) de la Région Bourgogne a fait l'objet d'un arrêté préfectoral en date du 6 mai 2015. Il fait le point sur les attentes de la région en matière de développement économique et préconise un certain nombre d'actions en faveur de la biodiversité, mais n'a pas un caractère contraignant.

La forêt morvandelle, qui couvre aujourd'hui la moitié de la superficie du Morvan, a subi depuis plusieurs siècles des mutations de très grande envergure, selon les aléas des besoins, en général totalement extérieurs à sa propre économie en raison de la très faible densité de population (15 habitants au km<sup>2</sup>). Les forêts du Morvan sont restées jusqu'à une époque très récente un produit que l'on pourrait qualifier de « colonial », essentiellement au profit de sociétés ou de particuliers n'habitant pas la région. D'où une certaine anarchie dans les objectifs économiques et bien entendu les pratiques qui leur sont liées, en raison d'une vision à très court-terme qui peut sembler un comble en matière de sylviculture et se retrouve aux antipodes du développement durable. Plantations de conifères (ou « résineux ») de même âge et taille, dites « équiennes », avec les coupes rases –c.-à-d. l'abattage de la totalité des arbres d'une parcelle- qui leur sont associées, cultures de sapins de Noël gourmandes de pesticides, forment aujourd'hui une part essentiel du paysage morvandeau.

Cet usage de la terre brade le patrimoine naturel et contribue à l'épuisement de sols déjà appauvris par des siècles d'utilisation intensive pour alimenter Paris en charbon de bois. Il était donc urgent d'encadrer cette évolution anarchique et de définir une fois pour toutes ce qui est bon et ce qui est mauvais pour le Morvan. Ce schéma est donc le bienvenu, mais

comme cela est souvent le cas et malgré l'ampleur de son volume (96 pages de rapport, 12 pages de conclusions), il présente de graves lacunes, qui laissent planer un doute sur les conséquences de son application et sur sa capacité à être appliqué. Les questions qui se posent concernent essentiellement les pratiques qui peuvent contribuer, ou nuire, à la biodiversité et surtout au respect du patrimoine morvandean en matière de sols, d'essences forestières, d'activités économiques liées au bois et aux autres produits de la forêt.

### Résineux et feuillus : quels effets sur les sols ?

Tout d'abord, il convient d'admettre que la végétation, quelle que soit sa nature (forêt, prairie, culture, lande, friche) acidifie les sols. Sans un apport sous la forme d'alluvions, de **colluvions\*** (en bas de pente), ou d'**amendements\***, un sol sur lequel poussent des plantes s'acidifie, et ce d'autant plus que la production végétale, qu'il s'agisse de fourrage, de céréales ou de bois, est exportée (Ulrich, 1986).

Ce processus inéluctable est lié à l'activité microbienne des sols (libération de nitrates, de CO<sub>2</sub>,...) ainsi qu'à l'assimilation préférentielle, par les racines des plantes, des ions positifs ou cations (ions ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, calcium Ca<sup>++</sup>, magnésium Mg<sup>++</sup>, potassium K<sup>+</sup>, fer Fe<sup>++</sup> ou Fe<sup>+++</sup>, etc.) par rapport aux ions négatifs ou anions (nitrates, phosphates,...). Ce phénomène accroît la proportion résiduelle d'anions dans les sols et génère de l'acidité sous la forme d'ions hydronium H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, excrétés par les racines pour maintenir la neutralité électrique du végétal (Hinsinger et al., 2003).

Les arbres et en particulier les résineux, mais aussi les chênes et les hêtres, sont au premier rang dans ce processus d'acidification en raison de leur préférence pour l'azote ammoniacal et leur fort degré de dépendance vis-à-vis des champignons mycorhiziens pour leur nutrition minérale (Plassard et al., 1991). Bien entendu, plus la plante croît vite, plus elle va acidifier les sols (Nilsson et al., 1982). On comprend aisément que la dynamisation de la sylviculture, prônée par la Loi d'Avenir pour l'Agriculture, l'Alimentation et la Forêt (LAAAF) du 13 octobre 2014, malgré ses beaux principes (respect de la biodiversité, etc.) n'est pas, en ce qui concerne l'acidification des sols, le « bon plan ». Et ce d'autant plus que les sols sont déjà naturellement acides, comme cela est le cas de la quasi-totalité du Morvan, en raison de sa géologie : malgré sa faible altitude (901 m au Haut Folin) le Morvan est une « montagne », ancienne et fortement érodée, ne présentant pratiquement plus aujourd'hui aucun terrain sédimentaire à l'exception des vallées cultivées (Carpéna et al., 1984).

D'autres phénomènes naturels acidifient les sols, comme la croissance des champignons. La surveillance des humus (**Humus Index\***) permet de déceler une évolution vers des formes qui privilégient les champignons (humus dit **moder\*** voire **mor\*** comme forme extrême d'évolution, particulièrement sous les résineux) au détriment des bactéries (humus dit **mull\***). Lorsque la matière organique s'accumule en surface (litières épaisses difficiles à décomposer), les champignons sont favorisés et le milieu s'acidifie. Ce phénomène est lié au métabolisme

respiratoire alternatif (et facultatif) des champignons, qui produit de l'acide oxalique (liquide, qui reste dans le sol et piège le calcium) ainsi que de l'acide citrique (liquide, qui entraîne le fer en profondeur), au lieu de dégager du gaz carbonique (Gadd, 1999).

Qui dit acidification des sols dit appauvrissement et perte progressive des stocks de calcium, magnésium, potassium, etc., *via* le **lessivage\***, processus naturel auquel s'ajoute l'exportation des nutriments par le bois récolté (Ulrich, 1986), donc des sols définitivement impropres à l'agriculture. La conversion des terres agricoles en plantations de conifères ou d'autres essences à nutrition ammoniacale – généralement, qui plus est, dans un but d'exploitation/exportation du bois – ne contribue donc pas à protéger le « patrimoine sol » de la région. Bien au contraire, on peut dire qu'elle le ruine (Brand et al., 1986).

Au contraire les feuillus « précieux » (frêne, merisier, érables, etc.), moins déséquilibrés dans leur nutrition minérale et aux litières facilement dégradables, qui ne demandent qu'à se développer spontanément lorsque les terres sont en friche, ne vont pas engager les sols dans ce processus de dégradation (De Schrijver et al., 2012). Malheureusement aucune aide financière n'est accordée, bien au contraire, lorsqu'un propriétaire laisse se boiser naturellement (sans planter ni semer) un terrain en friche. Et le Schéma Régional de Cohérence Écologique ne prévoit rien allant dans ce « bon » sens, malheureusement, puisqu'il ne veut en aucune sorte se substituer à la loi, même tenant compte des spécificités régionales.

Enfin, la façon dont la forêt est gérée intervient pour une large part pour freiner ou au contraire accélérer le processus d'acidification (Hornung, 1985). Le SRCE préconise la futaie irrégulière, telle que toutes les tranches d'âge soient présentes en mélange. C'est une bonne chose puisque cette technique, s'apparentant à la « cueillette » ancestrale, s'oppose à la coupe rase ou « à blanc », facteur d'érosion et esthétiquement déplorable, dont on a vu également les conséquences néfastes sur la durabilité des peuplements lors des tempêtes de décembre 1999 qui ont abattu ou cassé 140 millions de m<sup>3</sup> de bois, essentiellement des résineux (Carbiener, 1999). La forêt « allumette » n'est donc plus en odeur de sainteté et c'est très bien ainsi.

Il existe d'ailleurs en Morvan des peuplements de sapins de Douglas menés en « futaie jardinée », une technique proche de la futaie irrégulière, qui présentent des sols avec des « humus doux » (**mull\***). En dépit de leur acidité naturelle, comme dans tout le Morvan, ces sols montrent une forte activité de vers de terre (les « ingénieurs du sol »), capables de restituer au sol les nutriments renfermés dans les aiguilles de certains résineux, dont le sapin pectiné et le sapin de Douglas (Ranger et al., 2009). Les vers de terre, en favorisant les bactéries au détriment des champignons, sont également capables de « renverser » le processus d'acidification, ou du moins de le ralentir considérablement (McLean et al., 2006).

Au-delà du choix des essences, ce sont donc bien les pratiques sylvicoles qui importent, la façon dont sont menés les peuplements. Cet aspect est pris en compte dans le SRCE mais

aucune contrainte n'est mentionnée et une meilleure coordination avec le Centre Régional de la Propriété Forestière (CRPF), chargé d'orienter les décisions des propriétaires en matière de sylviculture, aurait été la bienvenue.

### **Changements globaux et intensification de la sylviculture**

Un des prétextes fournis pour justifier l'intensification de la sylviculture (inscrite dans la LAAAF) est l'augmentation de la croissance des arbres observée sous les effets conjoints de l'augmentation de la teneur de l'atmosphère en dioxyde carbone (un « fertilisant » naturel de la croissance végétale) et du réchauffement climatique qui lui est lié (« effet de serre ») (Bréda et al. 2000). Un autre prétexte est la lutte nécessaire contre l'effet de serre, en utilisant les arbres pour « pomper » du dioxyde de carbone et le « fixer » sous forme de bois (Luyssaert et al., 2008). Examinons de plus près ces deux arguments.

Les mesures effectuées sur la forêt française par le L'Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA, ex-CEMAGREF) et le Centre Régional de la Propriété Forestière (CRPF) ont montré en effet un accroissement en hauteur et en épaisseur des arbres, qu'il s'agisse de feuillus (hêtres) ou de résineux (pins), sous les effets conjoints de l'allongement de la saison de végétation et de l'augmentation de la température (un « stimulant » naturel de l'activité biologique). On peut donc penser que l'on peut raccourcir la durée des rotations forestières et exploiter les arbres à un âge moins avancé, pour obtenir le même volume de bois sur un pas de temps raccourci et, au final, avoir une production annuelle moyenne en augmentation. Du point de vue de la démographie des arbres, cela se traduit par un rajeunissement des peuplements.

C'est sans compter, malheureusement, sur le fait que l'on augmente ainsi, sur l'ensemble d'un territoire boisé, la part des peuplements en phase de croissance active, plus gourmands en nutriments et donc plus acidifiants pour les sols, au détriment des peuplements en phase de maturation, permettant un meilleur équilibre entre production et décomposition (Ryan et al., 1997). L'observation des humus montre que la litière se décompose mieux (et donc le recyclage est plus intense, d'où une moindre acidification) sous les peuplements âgés que sous les peuplements jeunes, du fait d'une augmentation des populations de vers de terre, liée à une moindre captation des nutriments du sol par l'arbre (Bernier et Ponge, 1994). L'arbre « jeune » acidifie le sol (et donc l'appauvrit) dans une plus grande mesure que l'arbre « mature » (Ryan et al., 1997).

Le développement de la demande en bois-énergie renforce bien évidemment ce processus, en appelant à des rotations forestières de plus en plus courtes, jointes à la tentation de récolter l'arbre dans sa totalité (parties aériennes et racines), pour ne rien en perdre. On enlève ainsi au sol une plus grande quantité d'éléments (calcium, magnésium, azote, etc...) qui lui seraient autrement restitués par la décomposition, un appauvrissement des ressources dont on connaît les effets néfastes sur la biodiversité (Ponge, 2003). Le danger est donc grand, si on

laisse s'implanter en région Bourgogne des usines de traitement du bois destinées à la fabrication de « granulats » (utilisables en lieu et place du fuel dans les chaudières domestiques), de voir la forêt morvandelle passée à la moulinette comme elle l'a été dans le passé pour la fabrication de charbon de bois (Buttoud, 1977).

La sylviculture intensive permet-elle de lutter contre l'effet de serre ? Bien entendu, l'arbre, comme toutes les plantes, fixe du carbone atmosphérique *via* ce que l'on appelle la « photosynthèse », grâce au soleil comme source d'énergie. Et plus la plante (donc l'arbre en particulier) pousse vite, plus elle (ou il) fixe du carbone et donc contribue, du moins à première vue, à lutter contre l'effet de serre. C'est vrai, mais ce que l'on oublie c'est que si le carbone ainsi fixé est destiné à être brûlé, le bilan est nul : ni fixation ni relargage, on se retrouve au même point qu'avant (Malhi et al., 1999).

Les seuls processus industriels ou agronomiques qui peuvent contribuer à « faire durer » le carbone ainsi fixé sont le compostage, la fumure organique (en incluant dans cette catégorie l'utilisation du Bois Raméal Fragmenté), qui utilisent le sol (l'humus) pour assurer la suite du processus de fixation, et, bien entendu et surtout, l'utilisation pérenne du bois pour la construction de meubles, de bâtiments, ou de ponts (Harmon et al., 1990). C'est donc tout le problème de la filière-bois qui est ainsi posé.

Sans une filière économique visant à utiliser le bois ou les sous-produits ligneux de la forêt pour produire autre chose que... du dioxyde de carbone (c'est-à-dire de l'énergie), nous ne pourrions pas utiliser la production forestière pour lutter contre l'effet de serre. Toute autre stratégie est vouée à l'échec. La forêt lutte contre l'effet de serre, certes, mais à condition de savoir l'utiliser durablement et non comme une ressource énergétique. Il vaut mieux utiliser du bois que du pétrole (on remplace un bilan négatif par un bilan nul en termes de stockage du carbone) mais il serait beaucoup plus judicieux de s'orienter vers un bilan positif en développant une filière-bois locale visant à la durabilité de l'usage du bois.

Actuellement, en France, une part essentielle du bois de qualité de nos forêts (celui destiné à la fabrication de meubles par exemple) part au mieux, vers le Portugal et, au pire, vers la Chine, pour nous revenir sous la forme de produits finis (Levet et al., 2014). Quel bilan de carbone au final ? Le gain attendu en termes de fixation de carbone est gâché par le carbone perdu (sous la forme de gasoil) au cours des transports lointains que cette étrange filière mondialisée nécessite. La Loi d'Avenir pour l'Agriculture, l'Alimentation et la Forêt (LAAAF), et sa déclinaison régionale, le SRCE, ne s'en préoccupent guère, puisque ces deux législations se veulent non contraignantes et ne remettent pas en cause notre économie « libérale ».

### **Quelles solutions pour la forêt morvandelle ?**

Au vu de ce qui précède, deux voies semblent se dessiner, pour lesquelles les pouvoirs publics peuvent faire l'œuvre d'incitation que les citoyens attendent d'eux.

Tout d'abord, un rééquilibrage entre feuillus et résineux, au bénéfice des premiers, s'impose, dans l'optique d'une meilleure protection des sols, patrimoine commun de l'humanité. Ce rééquilibrage doit s'accompagner d'une modification des techniques en pratique pour mener les peuplements. On privilégiera le mélange des essences et des âges, non seulement par rapport aux enjeux concernant la biodiversité, mais également selon un principe de précaution car nous ne connaissons rien des bénéfices économiques qui seront rendus par la forêt au-delà des 30 prochaines années (Jacobée, 2004). Or la forêt vit bien au-delà de cette échéance relativement rapprochée. On privilégiera également les techniques protégeant les sols (Pillon et al., 2015), une urgence qui a par ailleurs été soulignée lors de la présentation du plan biodiversité présenté le 4 juillet dernier par Édouard Philippe.

Outre l'acidification, la compaction des sols est un des risques majeurs causés par l'utilisation d'engins toujours plus lourds pour l'exploitation forestière (débusquage et débardage). Or il existe une technique, le câblage\*, qui ne demande qu'à se développer, et semble particulièrement appropriée aux milieux « difficiles » tels que les zones humides ou en pente (Munteanu et al., 2019). Malheureusement, en France tout au moins, le nombre de personnes capables de mettre en œuvre en toute sécurité cette technique, respectueuse des sols, est ridiculement faible. Un besoin de formation existe donc, qui pourrait faire l'objet d'un développement au niveau régional via le réseau des lycées agricoles.

La valorisation du bois d'œuvre est la seule filière à même de fournir une solution durable aux problèmes d'acidification des sols et de lutte contre l'effet de serre. Une politique volontariste d'implantation et/ou de soutien de scieries et de menuiseries locales s'impose donc également. Cela nécessite bien entendu l'existence de débouchés (le fameux « marché ») et la mise en place d'aides régionales et nationales permettant le redémarrage de cette activité de transformation du bois pour produire autre chose que... du dioxyde de carbone ! La labellisation du bois issu des forêts morvandelles peut être un levier économique important, associé à une politique de communication, dans lequel la région Bourgogne devrait également s'investir. Un tel projet serait réellement créateur d'emplois qualifiés, et ce localement, à condition bien entendu qu'il soit lié indissociablement à une politique volontariste de formation. À cette occasion, il faut saluer la création sur le plateau de Langres du futur Parc National des Forêts de Champagne et Bourgogne, premier parc national forestier français, création dans laquelle la région Bourgogne s'est largement impliquée. Cependant il ne faudrait pas que quelques aires naturelles protégées, aussi vastes soient-elles, servent d'alibi à une politique forestière peu respectueuse de la nature et de la pérennité de notre patrimoine.

## Glossaire

**Amendement** d'un sol : Apport de substances fertilisantes (ex. apport d'urée) ou destinées à modifier l'acidité du sol (ex. amendement calcique).

**Câblage** : Technique d'exploitation forestière consistant à soulever et tirer les grumes (troncs) à l'aide d'un câble aérien, afin d'éviter tout passage d'engin dans le sous-bois. Cette technique protège les sols, en évitant leur compaction et la formation d'ornières. Pour en savoir plus : [https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9bardage\\_par\\_c%C3%A2ble](https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9bardage_par_c%C3%A2ble)

**Colluvion** : Dépôt de matériel minéral provenant du ruissellement ou de coulées de boue.

**Humus** : Matière organique présente dans le sol et profondément transformée par les processus biochimiques d'origine microbienne et/ou animale, de couleur sombre. Par extension le mot désigne aussi l'agencement de la matière organique dans un profil de sol : forme d'humus, type d'humus (voir Mull, Moder, Mor).

**Humus Index** : Il s'agit d'un indice basé sur l'observation des formes d'humus, classées selon un gradient d'activité biologique décroissante et d'acidité croissante depuis l'humus « doux (Mull) jusqu'à l'humus « brut » (Mor). Pour en savoir plus : [https://www.researchgate.net/publication/225039572\\_L'Humus\\_Index\\_un\\_outil\\_pour\\_le\\_diagnostic\\_ecologique\\_des\\_sols\\_forestiers](https://www.researchgate.net/publication/225039572_L'Humus_Index_un_outil_pour_le_diagnostic_ecologique_des_sols_forestiers)

**Lessivage** : Entraînement vertical (ou horizontal, on parle alors de lessivage latéral) des particules fines et des substances dissoutes par l'eau percolant à travers le sol.

**Moder** : Type d'humus dominé par l'activité biologique des champignons et de la petite faune, caractérisé par une couche noire de déjections animales sous la litière.

**Mor** : Type d'humus (également appelé « humus brut ») dominé par l'activité biologique des champignons, sans activité notable de la faune, caractérisé par une litière épaisse, peu humifiée, reposant directement sur le sol minéral.

**Mull** : Type d'humus (également appelé « humus doux ») dominé par l'activité des vers de terre et des bactéries, caractérisé par un mélange intime de la matière organique et de la matière minérale.

## **Bibliographie :**

Brand D.G., Kehoe P. & M. Connors, 1986. Coniferous afforestation leads to soil acidification in central Ontario. *Canadian Journal of Forest Research* 16, 1389-1391.

Bernier N. & J.F. Ponge, 1994. Humus form dynamics during the sylvogenetic cycle in a mountain spruce forest. *Soil Biology and Biochemistry* 26, 183-220.

Bréda N., Granier A. & G. Aussenac, 2000. Évolutions possibles des contraintes climatiques et conséquences pour la croissance des arbres. *Revue Forestière Française* 52, Numéro spécial changements climatiques, 73-90.

Buttoud G., 1977. Prix et marché du bois à la fin du XIXe siècle. *Revue Forestière Française* 29, 129-138.

- Carbiener R. 1999. L'ouragan, les forêts et les champs d'arbres. *Bulletin de l'Association Philomathique d'Alsace et de Lorraine* 35, 77-93.
- Carpéna J., Doubinger J., Guérin R., Juteau J. & M. Monnier, 1984. Le volcanisme acide de l'Ouest-Morvan dans son cadre géologique : caractérisation géochimique, structurale et chronologique de mise en place. *Bulletin de la Société Géologique de France* 26, 839-859.
- De Schrijver A., De Frenne P., Staelens J., Verstraeten G., Muys B., Vesterdal L., Wuyts K., Van Nevel L., Schelfhout S., De Neve S. & K. Verheyen, 2012. Tree species traits cause divergence in soil acidification during four decades of postagricultural forest development. *Global Change Biology* 18, 1127-1140.
- Gadd, G.M., 1999. Fungal production of citric and oxalic acid: importance in metal speciation, physiology and biogeochemical processes. *Advances in Microbial Physiology* 41, 47-92.
- Harmon M.E., Ferrell W.K. & J.F. Franklin, 1990. Effects on carbon storage of conversion of old-growth forests to young forests. *Science* 247, 699-702.
- Hinsinger P., Plassard C., Tang C.X. & B. Jaillard, 2003. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: a review. *Plant and Soil* 248, 43-59.
- Hornung, M. 1985. Acidification of soils by trees and forests. *Soil Use and Management* 1, 24-28.
- Jacobée F., 2004. Le renouvellement des chênes en futaie irrégulière. *Forêt-Entreprise* 155, 45-49.
- Jouffroy-Bapicot I., 2010. *Évolution de la végétation du massif du Morvan (Bourgogne, France) depuis la dernière glaciation à partir de l'analyse pollinique : variations climatiques et impact des activités anthropiques*. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, Besançon.
- Levet A.L., Guinard L. & I. Purohoo, 2014. Le commerce extérieur des produits bois: existe-t-il réellement un paradoxe français ? *Revue Forestière Française* 66, 51-66.
- Luysaert S., Detlef Schulze E., Börner A., Knohl A., Hessenmöller D., Law B.E., Ciais P. & J. Grace, 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455, 213-215.
- Malhi Y., Baldocchi D.D. & P.G. Jarvis, 1999. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, Cell and Environment* 22, 715-740.
- McLean M.A., Migge-Kleian S. & Parkinson D., 2006. Earthworm invasions of ecosystems devoid of earthworms: effects on soil microbes. *Biological Invasions* 8, 1257-1273.
- Munteanu C., Yoshida M., Iordache E., Borz S.A. & Ignea G., 2019. Performance and cost of downhill cable yarding operations in a group shelterwood system. *Journal of Forest Research*, doi:10.1080/13416979.2019.1603577.
- Nilsson S.I., Miller H.G. & J.D. Miller, 1982. Forest growth as a possible cause of soil and water acidification: an examination of the concepts. *Oikos* 39, 40-49.

Pillon S., Charnet F., Cano B. & J.F. Sinet, 2015. *Le sol forestier: élément clé pour le choix des essences et la gestion durable*. Centre National de la Propriété Forestière, Paris.

Plassard C., Scheromm P., Mousain D. & L. Salsac, 1991. Assimilation of mineral nitrogen and ion balance in the two partners of ectomycorrhizal symbiosis: data and hypothesis. *Experientia* 47, 340-349.

Ponge J.F., 2003. Humus forms in terrestrial ecosystems: a framework to biodiversity. *Soil Biology and Biochemistry* 35, 935-945.

Ranger J., Gelhaye D., & P. Bonnaud, 2009. *Plantations de Douglas et durabilité des sols forestiers et de la qualité de l'environnement*. Institut National de la Recherche Agronomique, Champenoux.

Ryan M.G., Binkley D. & J.H. Fownes, 1997. Age-related decline in forest productivity: pattern and process. *Advances in Ecological Research* 27, 213-262.

Ulrich B., 1986. Natural and anthropogenic components of soil acidification. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 149, 702-717.

### **Pour en savoir plus :**

#### Législation et patrimoine

Plan d'Action Interministériel Forêt-Bois

[https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions\\_services/conseil-national-industrie/Contrats\\_de\\_filieres/plan-d-action-foret-bois-nov2018.pdf](https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/conseil-national-industrie/Contrats_de_filieres/plan-d-action-foret-bois-nov2018.pdf)

Loi d'Avenir pour l'Agriculture, l'Alimentation et la Forêt <https://www.gouvernement.fr/action/la-loi-d-avenir-pour-l-agriculture-l-alimentation-et-la-foret>

Plan biodiversité pour lutter contre l'artificialisation des sols <https://www.actu-environnement.com/ae/news/plan-biodiversite-artificialisation-sols-agriculture-31626.php4>

Le schéma de cohérence écologique de la Région Bourgogne [http://www.bourgogne-franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/srce\\_fc\\_rnt\\_cle68dfc4.pdf](http://www.bourgogne-franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/srce_fc_rnt_cle68dfc4.pdf)

Patrimoine du Morvan <http://www.patrimoinedumorvan.org/nature/biogeographie/demographie-et-habitat-humain>

Page Wikipédia « Morvan » <https://fr.wikipedia.org/wiki/Morvan>

Charte Forestière du Morvan 2012-2015

[http://www.parcumorvan.org/fic\\_bdd/pdf\\_fr\\_fichier/1352969871\\_SLDF\\_PNRM\\_2012\\_2015.VD.pdf](http://www.parcumorvan.org/fic_bdd/pdf_fr_fichier/1352969871_SLDF_PNRM_2012_2015.VD.pdf)

#### Les sols et la forêt

Jean-Michel GOBAT, Michel ARAGNO, Willy Mathey, 2010. Le sol vivant. Bases de pédologie. Biologie des sols, 3<sup>ème</sup> édition revue et augmentée. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 817 pages.

Bernard Jabiol, Alain Brêthes, Jean-François Ponge, François Toutain, Jean-Jacques Brun, 2007. L'humus sous toutes ses formes, deuxième édition. ENGREF, Nancy, 68 pp.

Jean-François Ponge, 2013. Impact des rémanents sur la biodiversité forestière  
[https://www.researchgate.net/publication/267979178\\_Impact\\_des\\_remanents\\_sur\\_la\\_biodiversite\\_forestiere](https://www.researchgate.net/publication/267979178_Impact_des_remanents_sur_la_biodiversite_forestiere)

Jean-François Ponge, 2012. L'Humus Index: un outil pour le diagnostic écologique des sols forestiers  
[https://www.researchgate.net/publication/225039572\\_L'Humus\\_Index\\_un\\_outil\\_pour\\_le\\_diagnostic\\_ecologique\\_des\\_sols\\_forestiers](https://www.researchgate.net/publication/225039572_L'Humus_Index_un_outil_pour_le_diagnostic_ecologique_des_sols_forestiers)

Jean-François Ponge, 2011. Biodiversité animale du sol et gestion forestière  
[https://www.researchgate.net/publication/41677859\\_Biodiversite\\_animale\\_du\\_sol\\_et\\_gestion\\_forestiere](https://www.researchgate.net/publication/41677859_Biodiversite_animale_du_sol_et_gestion_forestiere)

Jean-François Ponge, 2009. Effets des amendements sur le fonctionnement biologique des sols forestiers: mieux comprendre le rôle de la méso- et de la macrofaune dans l'évolution des humus. Revue Forestière Française 61(3) : 217-222.  
[https://www.researchgate.net/publication/44390005\\_Effets\\_des\\_amendements\\_sur\\_le\\_fonctionnement\\_biological\\_des\\_sols\\_forestiers\\_mieux\\_comprendre\\_le\\_role\\_de\\_la\\_meso-et\\_de\\_la\\_macrofaune\\_dans\\_l'evolution\\_des\\_humus](https://www.researchgate.net/publication/44390005_Effets_des_amendements_sur_le_fonctionnement_biological_des_sols_forestiers_mieux_comprendre_le_role_de_la_meso-et_de_la_macrofaune_dans_l'evolution_des_humus)

Jean-François Ponge, Michel Bartoli, 2009. L'air du sol, c'est la vie de la forêt. La Forêt Privée 307 : 63-70.  
[https://www.researchgate.net/publication/44449969\\_L'air\\_du\\_sol\\_c'est\\_la\\_vie\\_de\\_la\\_foret](https://www.researchgate.net/publication/44449969_L'air_du_sol_c'est_la_vie_de_la_foret)

Centre National de la Propriété Forestière, 2015. Le sol forestier: élément clé pour le choix des essences et la gestion durable [https://www.cnpf.fr/data/plaquette\\_sols\\_cnpf.pdf](https://www.cnpf.fr/data/plaquette_sols_cnpf.pdf)

#### Le rôle de l'absorption racinaire dans l'acidification des sols

Jean Tanguy, 2017. Prélèvement de la solution minérale du sol par les Angiospermes (cours d'enseignement agricole, chapitre 13) <https://www.svt-tanguy-jean.com/uploads/1/2/0/4/120408978/ats-b1-3-absorption-racinaire.pdf>

#### Le climat et la forêt

L'impact du climat sur la croissance des arbres en France : plus hauts, moins denses

<https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/climatologie-impact-climat-croissance-arbres-france-plus-hauts-moins-denses-3841/>

L'arbre et la forêt à l'épreuve d'un climat qui change : Rapport au Premier ministre et au Parlement

[http://www.gip-ecofor.org/doc/drupal/ONERC\\_Rapport\\_2014\\_Arbre\\_Et\\_Foret\\_WEB.pdf](http://www.gip-ecofor.org/doc/drupal/ONERC_Rapport_2014_Arbre_Et_Foret_WEB.pdf)

Les techniques de sylviculture et d'exploitation forestière

La méthode Pro Silva [http://www.prosilva.fr/brochures/brochure\\_Brochure%20Saumon%20PS.pdf](http://www.prosilva.fr/brochures/brochure_Brochure%20Saumon%20PS.pdf)

Franck Jacobée, 2004. Le renouvellement des chênes en futaie irrégulière. Forêt-Entreprise 155 : 45-49. [http://www.inforet.org/IMG/pdf/FE\\_155-JACOBEE.pdf](http://www.inforet.org/IMG/pdf/FE_155-JACOBEE.pdf)

Michel Bartoli, Morgan Vuillermoz, Valérie Laurent, 2006. Le câble Zigzag : un outil original, simple et efficace de transport forestier. Rendez-Vous Techniques ONF 12 : 39-46.

[https://onf.fr/outils/ressources/8a3e2ce7-f976-4e97-b077-9e6a7499472a/++versions++/1/++paras++/2/++ass++/1/++i18n++data:fr?\\_=1544441617.113664&download=1](https://onf.fr/outils/ressources/8a3e2ce7-f976-4e97-b077-9e6a7499472a/++versions++/1/++paras++/2/++ass++/1/++i18n++data:fr?_=1544441617.113664&download=1)