HAL
open science

Indicateurs de biodiversité forestière utilisant la richesse, l'abondance, et la composition en essences : réflexions méthodologiques à propos de leur mise à l'épreuve

Frédéric Gosselin

To cite this version:

Frédéric Gosselin. Indicateurs de biodiversité forestière utilisant la richesse, l'abondance, et la composition en essences : réflexions méthodologiques à propos de leur mise à l'épreuve. Revue forestière française, 2012, 64 (5), p. 733 - p. 739. 10.4267/2042/50660 . hal-00934140

HAL Id: hal-00934140

https://hal.science/hal-00934140v1

Submitted on 21 Jan 2014

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.

Article publié dans la Revue Forestière Française, 2012, vol. 64, n°5, p. 733-739
DOI : 10.4267/2042/50660
Accessible sur le site de la revue à : http://hdl.handle.net/2042/50660

Indicateurs de biodiversité forestière utilisant la richesse, l'abondance, et composition en essences : réflexions méthodologiques à propos de leur mise à l'épreuve

Frédéric Gosselin [1]

[1] IRSTEA Nogent, UR EFNO, F-45290 Nogent-sur-Vernisson, France

RÉSUMÉ :

La richesse et la pureté en essences sont les deux premiers indicateurs du critère 4 de gestion forestière durable, relatif à la biodiversité. Nous proposons ici quelques réflexions sur l'étape consistant à tester le caractère indicateur de ces deux indicateurs – ainsi que d'autres indicateurs proches. Nous insistons notamment sur l'intérêt potentiel d'indicateurs incluant l'abondance – ici la surface terrière - des essences et sur l'importance d'une approche à la fois écologique (mécanismes, domaine de validité) et quantitative (importance de la relation entre indicateur et biodiversité) pour tester ces indicateurs.

Mots-clés : modèle statistique ; domaine de validité

ABSTRACT :

Tree species richness and dominance are the first two indicators of the biodiversity criterion of sustainable forest management in France. We here propose some methodological considerations on the testing of the relationship between these indicators – and related ones – and biodiversity. We in particular insist on the potential interest of indicators that would include tree species abundance – here basal area – and on the importance of an approach that would be both ecological and quantitative.

Article publié dans la Revue Forestière Française, 2012, vol. 64, n°5, p. 733-739
DOI : 10.4267/2042/50660
Accessible sur le site de la revue à : http://hdl.handle.net/2042/50660

Les indicateurs de biodiversité utilisés pour évaluer le critère 4 de gestion durable des forêts en France et en Europe – critère qui concerne la biodiversité – ont été choisis sur la base d'un consensus d'experts (cf. article Barthod), très souvent fondé sur leur calculabilité à partir des données dendro-écologiques disponibles, et leur caractère intuitif. Ces mêmes critères expliquent en grande partie pourquoi les forestiers appréhendent souvent la biodiversité à travers la diversité des essences d'arbres et parfois de la flore vasculaire. En parallèle, le thème du lien entre diversité en essences et biodiversité est un thème assez ancien en écologie : en ornithologie forestière par exemple, la diversité en essences est étudiée – souvent en comparaison de la diversité structurale depuis au moins les années 1960 (MacArthur et al., 1962; MacArthur and MacArthur, 1961). Il n'est donc pas étonnant que la richesse en essences et la pureté du peuplement en essences (indicateurs 4.1 et 4.1.1 de Ministère de l'Agriculture et de la Pêche 2011) aient été retenus comme indicateurs de biodiversité.

Pourtant, le lien entre ces indicateurs et la biodiversité, dans le cadre de l'évaluation de la gestion forestière durable, n'est pas si évident. L'hypothèse implicite qui est faite en utilisant ces indicateurs est soit qu'on s'intéresse à une toute petite partie de la biodiversité – celle des arbres – soit que les variations de cette petite partie de biodiversité est un bon modèle de la variation d'autres parties de la biodiversité. En adoptant cette dernière optique – qui sera celle de cet article – de multiples questions apparaissent rapidement lorsqu'on souhaite interpréter les variations de ces indicateurs – et donc éventuellement prendre une décision sur cette base. Pour cela, au moins les caractéristiques suivantes sont à préciser (Gosselin et al., 2008, Gosselin & Gosselin, 2008) :

(C1) les publications, hypothèses, et théories qui justifient cet indicateur ;

(C2) les pans de biodiversité représentés– par exemple les groupes taxinomiques ;

(C3) les conditions écologiques de validité– est-ce un indicateur valable dans tous les types de stations ? Dans tous les stades successionnels ?...

(C4) la direction et la force de la relation avec la biodiversité – en prenant bien soin de ne pas confondre force et significativité statistique (Barbier et al., 2009) ;

(C5) la nature de la relation avec la biodiversité : s'agit-il d'un indicateur à raisonner en moyenne, en variance, voire en équitabilité (Bergès et al., 2002, Gosselin & Gosselin, 2008) ? La relation est-elle linéaire, non-linéaire, à seuil ?

Dans cet article, nous souhaiterions développer certaines de ces caractéristiques en insistant sur quatre points de méthode qu'il nous semble important de mettre en œuvre pour tester le

Article publié dans la Revue Forestière Française, 2012, vol. 64, n°5, p. 733-739
DOI : 10.4267/2042/50660
Accessible sur le site de la revue à : http://hdl.handle.net/2042/50660

caractère indicateur d'indicateurs de biodiversité. Comme nous le discuterons en fin d'article, la réflexion menée ici a une valeur plus générale et concerne bien d'autres indicateurs mais aussi bien d'autres domaines que l'écologie ; elle fait par exemple écho aux réflexions faites par Hill (1965) dans le domaine médical sur les critères qui permettent de distinguer une simple corrélation d'une relation causale. Nous reviendrons sur ce point en discussion.

1. Faire le tour de la littérature scientifique et de l'expertise disponible

Un état de la littérature permet déjà de se faire une première idée sur les connaissances relatives au lien entre un indicateur et la biodiversité (cf. caractéristique C1 de l'introduction). Cela permet aussi de mieux savoir s'il existe des théories ou des idées de mécanismes rendant compte de cette relation.

La richesse locale en essences est une caractéristique du peuplement arboré reliée à de nombreux gradients écologiques : à l'échelle mondiale, à la latitude (Hillebrand, 2004) ; au niveau plus local, au type de station et au stade successionnel (voir notamment Bergès, 2004). Dans la majorité des forêts, la richesse locale en essences est par ailleurs façonnée directement par l'action des sylviculteurs (dégagements, nettoiements, éclaircies, essence objectif, normes sylvicoles...).

Les publications scientifiques et techniques rapportant une corrélation significative et positive entre la richesse locale en essences et les différentes composantes de la "biodiversité" – abondance totale, richesse spécifique, abondance ou fréquence d'espèces – sont relativement peu nombreuses (quelques dizaines; Gosselin, 2004). Elles concernent principalement les oiseaux (par exemple Poulsen, 2002) et la flore vasculaire (par exemple Hicks, 1980), mais aussi les champignons. D'autres études rapportent l'absence de relation entre richesse locale en essences et biodivesité, pour les oiseaux (Moss, 1979), les insectes saproxyliques (Okland et al., 1996) ou la flore vasculaire (Barbier et al., 2009).

Au total, l'indicateur 4.1 de richesse en essences est un indicateur au domaine d'application (taxinomique, écologique) mal défini : il est possible que pour certains groupes taxonomiques il soit davantage pertinent en peuplement "adulte" que dans les autres types de peuplements (Bersier & Meyer, 1994) ; nous ne savons pas très bien non plus si les effets sont forts. C'est un indicateur non fortement contredit par la bibliographie, aux effets en général positifs, et qui peut donc être gardé comme indicateur à augmenter "en valeur moyenne", mais

Article publié dans la Revue Forestière Française, 2012, vol. 64, n°5, p. 733-739
DOI : 10.4267/2042/50660
Accessible sur le site de la revue à : http://hdl.handle.net/2042/50660

avec un niveau de priorité (ou de poids) par rapport aux autres indicateurs de biodiversité assez faible.

Pour résumer les tendances trouvées dans la bibliographie entre degré de mélange (indicateur 4.1.1) ou diversité en essences du peuplement et biodiversité, nous retiendrons que (cf. Gosselin, 2004) :

1– les mélanges feuillus-conifères sont plus favorables à la biodiversité (Bryophytes exceptées) que les peuplements purs résineux (il y a néanmoins des contre-exemples pour la flore vasculaire ; cf. Barbier et al., 2008) ;

2– pour les mélanges entre feuillus, les résultats sont moins tranchés et peuvent varier. Différentes publications indiquent néanmoins un effet négatif du mélange entre une essence dominante feuillue et un sous-étage d'une essence tolérant mieux l'ombre sur la biodiversité floristique, un phénomène baptisé "mésification" outre-atlantique (Barbier et al., 2009) ;

3– à l'échelle locale, les essences exotiques sont souvent défavorables à la diversité des taxons associés étroitement aux arbres par rapport aux essences autochtones (ex : insectes phytophages ; Kennedy & Southwood, 1984; Southwood & Kennedy, 1983). Il en va différemment à l'échelle du paysage, par exemple du massif forestier – le mélange d'une essence exotique à des essences autochtones au niveau du paysage pouvant entraîner une augmentation de la richesse en espèces à l'échelle du paysage, par exemple pour les oiseaux (Gjerde & Saetersdal, 1997). Ce phénomène global cache néanmoins des dynamiques contrastées car s'il existe quelques espèces visiblement liées aux peuplements mélangés, d'autres nécessitent des peuplements purs – le plus souvent d'essences autochtones – de taille suffisante (Gosselin, 2004).

Au vu de ces premiers résultats, il nous semble donc prudent de promouvoir (Gosselin, 2004, Gosselin et al., 2006) :

(i) l'accroissement du degré de mélange et de richesse en essences dans les peuplements dominés par des essences exotiques ou des résineux : dans ce cas l'indicateur 4.1.1 de pureté du peuplement serait donc un indicateur négatif de biodiversité, à diminuer « en moyenne » ;

et (ii) le maintien ou le développement de peuplements relativement purs et celui de peuplement plus mélangés dans les peuplements constitués d'essences autochtones ou feuillues : pour les essences autochtones ou feuillues, l'indicateur de pureté de peuplement serait plutôt à interpréter en variance, c'est à dire qu'il faudrait chercher à augmenter sa variance à l'échelle du paysage.

Article publié dans la Revue Forestière Française, 2012, vol. 64, n°5, p. 733-739
DOI : 10.4267/2042/50660
Accessible sur le site de la revue à : http://hdl.handle.net/2042/50660

Si cette analyse est juste, nous avons donc affaire à un indicateur qui s'interpréterait différemment suivant le contexte écologique, faisant écho aux caractéristiques (C3) et (C4) mentionnées dans l'introduction.

2. Etudier la relation entre indicateur et biodiversité sur plusieurs jeux de données

L'analyse de la littérature scientifique – qu'elle soit qualitative comme ci-dessus ou qu'elle prenne la forme plus standardisée de méta-analyse– peut être utilement complétée par l'étude de la relation entre indicateur et biodiversité sur de multiples jeux de données, et notamment des jeux de données collectés dans le contexte d'utilisation de l'indicateur. On peut pour cela utiliser des jeux de données issus de la recherche. On peut aussi mobiliser – quand ils existent – des jeux de données fournissant à la fois des données de biodiversité et les données nécessaires pour calculer l'indicateur. C'est ce que Stéphane Barbier a fait dans sa thèse (Barbier, 2007), en analysant des données récoltées par le Cemagref de Nogent-sur-Vernisson en Brie Francilienne, et des jeux de données de l'IFN, les deux jeux de données incluant à la fois la flore, les données dendrométriques et les relevés écologiques, dans des régions proches de la Brie Francilienne. Les résultats trouvés dans le projet mené par notre équipe en Brie montraient une absence d'effet pour ce qui est de l'indicateur de richesse spécifique et de pureté en essence sur la diversité floristique. Par contre, nous avons trouvé un résultat déjà bien connu des gestionnaires et des scientifiques, à savoir l'effet négatif de la surface terrière – et particulièrement de la surface terrière des essences d'ombre – sur la richesse spécifique et surtout sur l'abondance de la plupart des groupes écologiques de la flore (Barbier et al., 2009). Les résultats de l'analyse des données de l'IFN étaient qualitativement similaires à ceux de la Brie – pas de lien significatif ou moins bon lien de la biodiversité floristique avec la richesse en essences ou la pureté du peuplement, que dans des modèles incluant la surface terrière des différentes essences. Par contre, d'un point de vue plus quantitatif, les relations trouvées dans le jeu de données IFN étaient plus faibles que les relations trouvées dans notre jeu de données Brie.

Article publié dans la Revue Forestière Française, 2012, vol. 64, n°5, p. 733-739
DOI : 10.4267/2042/50660
Accessible sur le site de la revue à : http://hdl.handle.net/2042/50660

3. Analyser la relation en magnitude et pas seulement en significativité statistique

Cela nous amène à aborder notre troisième point de méthode : c'est qu'il faut autant que possible ne pas se contenter de la sacro-sainte significativité statistique pour résumer la relation entre indicateur et biodiversité. Il faut aussi porter une attention particulière à la magnitude de l'effet (cf. (C4) de l'introduction). C'est ce que nous avons fait dans Barbier et al., (2009), ce qui nous a conduits par exemple à distinguer parmi les résultats statistiquement non-significatifs :

– ceux qui correspondaient à des estimations suffisamment précises pour conclure à une relation négligeable entre richesse en essences et la richesse des groupes écologiques forestiers de la flore;

– ceux qui correspondaient à des estimations peu précises – cas de la relation entre richesse en essences et richesse des groupes floristiques non forestiers ou abondance des divers groupes écologiques – auquel cas les données disponibles ne nous permettent pas de conclure en faveur d'une relation négligeable ou non-négligeable.

Quant à la différence de magnitude des effets entre l'étude du Cemagref en Brie et l'analyse des données IFN, nous avons identifié deux pistes sur lesquelles nous travaillons actuellement (Biggs et al., 2009) :

(i) une variation de la relation entre biodiversité et indicateurs en fonction des conditions stationnelles ;

(ii) une explication par l'échelle des relevés dendrométriques – plus petits dans le cas de l'IFN – pouvant impliquer des estimateurs dendrométriques locaux très bruités – ce que l'on résume de manière imagée par le terme d'effet pépite – et par là même des estimateurs des effets des variables dendrométriques sur la biodiversité plus faibles (Biggs et al., 2009).

4. Promouvoir une vision plurielle de la biodiversité

Les résultats de la thèse de Stéphane Barbier résumés ci-dessus concernent la flore vasculaire – et pour les données de la Brie les bryophytes terricoles. Ces résultat tendraient à prouver que la richesse en essence et la pureté en essences ne sont pas de bons indicateurs de

Article publié dans la Revue Forestière Française, 2012, vol. 64, n°5, p. 733-739
DOI : 10.4267/2042/50660
Accessible sur le site de la revue à : http://hdl.handle.net/2042/50660

biodiversité. Mais il faut tout de suite préciser : de biodiversité floristique. De fait, ces indicateurs pourraient être des très bons indicateurs de la biodiversité d'autres groupes taxonomiques. Il faut donc intégrer ces premiers résultats dans une interprétation incluant un point de vue taxonomique plus large, comme nous y incitent avec justessee Bunnell & Huggard (1999). Or, :

– pour d'autres groupes taxonomiques, plus directement liés aux arbres (insectes par exemple comme les phytophages ou les xylophages primaires), il est possible que la richesse en essences soit un bon indicateur (Branquart & Liégeois, 2005) ; c'est pourquoi nous ne pensons pas que les éléments ci-dessus remettent en question l'utilité de cet indicateur ;

– l'indicateur de surface terrière est aussi un bon indicateur pour les Coléoptère carabiques de la litière (Delcher, 2005) ; mais pour ce groupe, l'effet de la surface terrière n'est plus uniquement négatif, puisqu'il est positif pour la richesse des Coléoptère carabiques connus pour être forestiers. Toujours est-il que la surface terrière du peuplement ou la surface terrière des principales essences sont des candidats intéressants pour le critère 4 des gestion durable. Un jeu de données indépendant indique des résultats similaires pour les Coléoptères forestiers (Toigo et al., Accepté), et illustre là encore l'utilité d'analyser plusieurs jeux de données pour tester un indicateur.

D'autres groupes taxonomiques amènent donc à voir le même indicateur différemment. C'est en accumulant des informations de ce type qu'on pourra mieux appréhender le caractère indicateur des descripteurs de biodiversité. Cet enrichissement de l'information ne remet pas en cause l'interprétation – et les choix sous-jacents – qui devra être faite de l'indicateur, suivant une vision stratégique.

Conclusion

Nous avons évoqué dans cet article quelques points de méthode du test des indicateurs de biodiversité associés à la gestion forestière. Il faut bien sûr compléter les points sur lesquels nous avons insisté par un point de vue plus classique en science écologique : il nous reste ainsi à comprendre beaucoup de choses derrière ces relations entre indicateurs – existant ou nouveaux – et biodiversité. On pourrait par exemple mieux comprendre les mécanismes sous-jacents à cette relation ou mettre en place des expérimentations pour tester l'existence et la force de ce lien. Ces différents éléments de méthode rejoignent tout à fait – comme annoncé dans l'introduction – l'analyse faite par Hill (1965) dans le domaine de la médecine

Article publié dans la Revue Forestière Française, 2012, vol. 64, n°5, p. 733-739
DOI : 10.4267/2042/50660
Accessible sur le site de la revue à : http://hdl.handle.net/2042/50660

environnementale des qualités nécessaires pour qu'une relation entre environnement et santé soit jugée causale plutôt que simplement corrélative : à côté des classiques mobilisations de l'expérience et de mécanismes pouvant expliquer la relation, Hill insiste sur les points suivants qui résument notre propos :

- La force de la relation (cf. partie 3 et caractéristique (C4))
- La consistance du résultat : le résultat est-il observé de manière répétée ? (cf. partie 2)
- La spécificité du phénomène : le phénomène est-il général ou est-il lié à un domaine de validité qu'on peut définir ? (cf. caractéristique (C3)) ;
- La cohérence avec l'état de l'art (cf. caractéristique (C1) et partie 1).

Cette pluralité des approches à mobiliser pour le test des indicateurs de biodiversité est ce dont nous voudrions avoir convaincu le lecteur au terme de ce court article.

Remerciements. Je tiens à remercier les membres de l'équipe Biodiversité à Irstea Nogent, notamment ceux qui ont été impliqués dans le projet mené en Brie, ainsi que les étudiants dont les travaux ont été cités (Stéphane Barbier, Julien Delcher et Maude Toigo). Mes plus vifs remerciements aussi à deux relecteurs anonymes qui ont grandement aidé à améliorer la version initiale de cet article.

Cet article est le fruit d'un travail effectué dans le cadre de deux conventions de recherche, l'une pour le ministère français en charge de l'Agriculture (projet GeForHet, convention n°E 23/2010) et l'autre pour l'Union Européenne dans le cadre du FP7-KBBE (projet « ARANGE », n°289437).

Références :

Auclair (A.N.), Goff (F.G.).- Diversity relations of upland forests in the western Great Lakes area - *The American Naturalist*, vol. 105, n°946, 1971, p.499-528.

Barbier (S.). - Influence de la diversité, de la composition et de l'abondance des essences forestières sur la diversité floristique des forêts tempérées – Orléans :Université d'Orléans, Thèse.

Article publié dans la Revue Forestière Française, 2012, vol. 64, n°5, p. 733-739
DOI : 10.4267/2042/50660
Accessible sur le site de la revue à : http://hdl.handle.net/2042/50660

Barbier (S.), Gosselin (F.), Balandier (P.).- Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved - a critical review for temperate & boreal forests - *Forest Ecology & Management*, vol. 254, n°1, 2008, pp.1-15.

Barbier (S.), Chevalier (R.) , Loussot (P.), Bergès (L.), Gosselin (F.). - Improving biodiversity indicators of sustainable forest management: tree genus abundance rather than tree genus richness & dominance for understory vegetation in French lowland oak hornbeam forests - *Forest Ecology and Management*, vol. 258, Supplément, 2009, pp.S176-S186.

Bergès (L.).- Rôle des coupes, de la stratification verticale et du mode de traitement sur la biodiversité - In *Gestion Forestière et Biodiversité : connaître pour préserver - synthèse bibliographique*, Gosselin (M.), Laroussinie (O.) (Eds) - Antony, Cemagref Editions, Collection Etudes du Cemagref - Série Gestion des territoires, n°20, 2004 - pp.149-215.

Bergès (L.), Gosselin (M.), Gosselin (F.), Dumas (Y.), Laroussinie (O.). -Prise en compte de la biodiversité dans la gestion forestière : éléments de méthode - *Ingénieries -EAT*, n° spécial, 2002, pp.45-55.

Bersier (L.F.), Meyer (D.R.). - Bird assemblages in mosaic forests: the relative importance of vegetation structure and floristic composition along the successional gradient - *Acta Oecologica*, vol. 15, n°5, 1994, pp.561-576.

Biggs (R.), Carpenter (S.R.), Brock (W.A.). - Spurious certainty: How ignoring measurement error and environmental heterogeneity may contribute to environmental controversies - *BioScience*, vol. 59, n°1, 2009, pp.65-76.

Branquart (E) Liégeois (S.) (Eds) - Normes de gestion pour favoriser la biodiversité dans les bois soumis au régime forestier. Complément à la circulaire n°2619 du 22 septembre 1997 relative aux aménagements dans les bois soumis au régime forestier. Jambes, Belgique, Ministère de la région wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement.

Bunnell(F.L.), Huggard (D.J.). - Biodiversity across spatial and temporal scales: problems and opportunities - *Forest Ecology and Management*, vol. 115, n°2-3, 1999 pp.113-126.

Delcher (J.). - Impacts de la taille des coupes et de la composition en essences sur la biodiversité interspécifique de Coléoptères Carabiques en forêt de Brie (77) - Master 2-Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie- sp Ecologie, biodiversité, évolution, Université Pierre et Marie Curie, 2005.

Article publié dans la Revue Forestière Française, 2012, vol. 64, n°5, p. 733-739
DOI : 10.4267/2042/50660
Accessible sur le site de la revue à : http://hdl.handle.net/2042/50660

Gjerde (I.), Saetersdal (M.). - Effects on avian diversity of introducing spruce *Picea* spp plantations in the native pine *Pinus sylvestris* forests of western Norway - *Biological Conservation*, vol.79, n°2-3, 1997, pp.241-250.

Gosselin (F.).- Influence de la composition et de la richesse spécifique du peuplement arboré sur la biodiversité - In *Gestion Forestière et Biodiversité : connaître pour préserver - synthèse bibliographique*, Gosselin (M.), Laroussinie (O.) (Eds) - Antony, Cemagref Editions, Collection Etudes du Cemagref - Série Gestion des territoires, n°20, 2004 - pp.127-148.

Gosselin (F.), Archaux (F.), Gosselin (M.). – Suivre la biodiversité en forêt : Pourquoi? Quoi ? Comment ? - In *De l'observation des écosystèmes forestiers à l'information sur la forêt*, Landmann (G.), Bonhême (I.) (Eds) - Paris, Quae SympSciences, 2008 - pp.26-32.

Gosselin (F.), Gosselin (M.). - Pour une amélioration des indicateurs et suivis de biodiversité forestière - *Ingénieries-EAT*, vol. 55-56, 2008, pp.113-120.

Gosselin (M.), Valadon (A.), Bergès (L.), Dumas (Y.), Gosselin (F.), Baltzinger (C.), Archaux (F.). - Prise en compte de la biodiversité dans la gestion forestière : état des connaissances et recommandations - Nogent sur Vernisson, Cemagref. Rapport de convention Cemagref-ONF, 2006 – 161 pp..

Hicks (D.J.). - Intrastand distribution patterns of southern Appalachian forest herbaceous species - *American Midland Naturalist*, vol. 104, n°2, 1980, pp.209-223.

Hill (A.B.). - The environment and disease: association or causation? - *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, vol. 58, 1965, pp.295-300.

Hillebrand (H.). - On the generality of the latitudinal diversity gradient – *American Naturalist*, vol. 163, n°2, 2004, pp.192-211.

Kennedy (C. E. J.), Southwood (T.R.E). - The numbers of insects associated with British trees: a reanalysis - *Journal of Animal Ecology*, vol. 53, n°2, 1984, pp.455-478.

MacArthur(R. H.), MacArthur (J.W.), Preer (J.). - On bird species diversity - prediction of bird census form habitat measurements - *American Naturalist*, vol. 96, n°838, 1962, pp.167-174.

MacArthur (R.H.) MacArthur (J.W.). - On bird species diversity – *Ecology*, vol.42, 1961, pp.594-598.

Article publié dans la Revue Forestière Française, 2012, vol. 64, n°5, p. 733-739
DOI : 10.4267/2042/50660
Accessible sur le site de la revue à : http://hdl.handle.net/2042/50660

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. - Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises métropolotaines - Edition 2010 – Paris, MAP, 2011 – 200 p..

Moss (D.). - Even-aged plantations as a habitat for birds - In *The ecology of even-aged forest plantations*, Ford (E.D.), Malcolm (D.C.), Atterson (J.) - , Cambridge, Institute of Terrestrial Ecology, 1979 – pp.413-428..

Okland (B.), Bakke (A.), Hagvar (S.), Kvamme (T.). - What factors influence the diversity of saproxylic beetles? A multiscaled study from a spruce forest in southern Norway - *Biodiversity and Conservation*, vol. 5, n°1, 1996, pp.75-100.

Poulsen (B.O.). - Avian richness and abundance in temperate Danish forests: tree variables important to birds and their conservation - *Biodiversity and Conservation*, vol. 11, n°9, 2002, pp.1551-1566.

Southwood (T.R.E.), Kennedy (C.E.J.). - Trees as islands – *Oikos*, vol. 41, 1983, pp.359-371.

Toigo (M.), Paillet (Y.), Noblecourt (Th.), Soldati (F.), Gosselin (F.), Dauffy-Richard (E.). - *Does setting aside forest reserves matter more than habitat characteristics for ground beetles (Coleoptera: Carabidae)?*- Biological Conservation – A paraître.