



HAL
open science

Suivre l'état de la biodiversité forestière: pourquoi? Comment ?

Frédéric Gosselin, Marion Gosselin, Yoan Paillet

► To cite this version:

Frédéric Gosselin, Marion Gosselin, Yoan Paillet. Suivre l'état de la biodiversité forestière: pourquoi? Comment?. *Revue forestière française*, 2012, 64 (5), p. 683 - p. 700. 10.4267/2042/50656 . hal-00933870

HAL Id: hal-00933870

<https://hal.science/hal-00933870v1>

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.

Suivre l'état de la biodiversité forestière : pourquoi ? comment ?

Frédéric Gosselin, Marion Gosselin & Yoan Paillet ¹

¹ IRSTEA, UR EFNO, Domaine des Barres, F-45290 Nogent-sur-Vernisson, France

Nombre de caractères (espaces compris) texte principal : 39193 (hors références, annexes et résumé)

Nombre de figures : 1 figure + 2 tableaux

RÉSUMÉ :

Le système actuel de critères et indicateurs de gestion forestière durable informe de façon très indirecte sur l'état de la biodiversité puisqu'il incorpore très peu d'indicateurs issus de suivis de biodiversité. Nous justifions en cinq points l'utilité de tels suivis dans le cadre de l'évaluation de la gestion forestière durable. Nous proposons ensuite des critères pour le choix des taxons à suivre, en fonction des objectifs du suivi. Enfin, nous insistons sur une sélection de points techniques primordiaux pour l'étape de mise en place du suivi : le plan d'échantillonnage ; le choix de placettes permanentes ou non ; le compromis entre réplification spatiale et réplification temporelle des points ; la réflexion sur les variables écologiques à relever en parallèle de la biodiversité ciblée. Ces réflexions s'appuient sur quelques exemples de suivis directs de biodiversité interspécifique forestière, en France et à l'étranger. La mise en place de tels suivis devrait permettre de mieux interpréter les indicateurs de pression et réponse et de proposer de nouveaux indicateurs d'état de la biodiversité, dans le cadre des indicateurs de gestion forestière durable.

25 **Introduction**

26 Comme d'autres domaines environnementaux, la lutte contre l'érosion de la biodiversité est
27 passée de la sphère académique et associative à celle de la mise en œuvre de politiques
28 publiques (Convention sur la Diversité Biologique – CBD – , directive européenne Habitats
29 Faune Flore, objectif 2010...). En conséquence, les engagements collectifs visant à favoriser la
30 biodiversité sont nombreux, tant au niveau national qu'europpéen ou international. Jusqu'à
31 récemment, ces engagements s'étaient focalisés sur l'objectif ambitieux d'enrayer – voire
32 stopper – la perte de biodiversité en 2010. Parallèlement, les pays engagés dans la CBD ont
33 organisé un rapportage périodique, utilisant des indicateurs pour évaluer l'évolution de la
34 situation en termes de biodiversité. Le choix initial tant au niveau international (CBD) que
35 national (Stratégie Nationale pour la Biodiversité – SNB) a été de favoriser des rapports
36 par grand secteur d'activité.

37 Pour le secteur forestier, dans le cadre de la déclinaison européenne de la CBD (processus
38 Forest Europe), ce rapportage a été intégré à l'évaluation du caractère de durabilité de la
39 gestion forestière : cette évaluation est organisée autour de six critères, dont le quatrième est
40 la biodiversité. À partir des années 1990, il a donc fallu réfléchir à des indicateurs de
41 biodiversité associés à la gestion forestière durable. Les responsables forestiers en charge du
42 développement de ces indicateurs ont logiquement mobilisé les données dendroécologiques
43 utilisées dans les autres critères pour construire les indicateurs de biodiversité (cf. article
44 Barthod, ce numéro). À l'exception de l'indicateur 4.1 relatif à la diversité des espèces
45 d'arbres, et de l'indicateur 4.8 concernant les espèces menacées d'extinction, pour lequel un
46 effort important a été fait, il en résulte un système d'indicateurs de biodiversité forestière qui
47 informe de façon très indirecte sur l'état de la biodiversité (cf. article Gosselin et al., ce
48 numéro ; Levrel *et al.*, 2007, Gosselin et Gosselin, 2008).

49 Dans cet article, nous proposons une réflexion sur l'intérêt des indicateurs directs d'état de la
50 biodiversité en forêt, pour évaluer et suivre la durabilité de la gestion forestière. Dans le cadre
51 du critère 4 des Indicateurs de Gestion Durable (IGD), nous envisageons de nouvelles
52 interprétations des indicateurs existants (cf. 1.1) et de nouveaux indicateurs (cf. 1.2 à 1.4), en
53 nous limitant toutefois en première approche à la composante taxonomique de la biodiversité,
54 étant entendu que des suivis au niveau habitat seraient aussi utiles. Nous centrons ici notre
55 analyse sur le critère 4 qui, rappelons-le, vise « le maintien, la conservation et l'amélioration
56 appropriée de la diversité biologique dans les écosystèmes forestiers ». L'aspect plus
57 fonctionnel de la biodiversité, compris comme étant l'utilité de la biodiversité pour fournir des
58 services écosystémiques autres qu'elle-même – relève d'autres critères de la gestion forestière
59 durable et ne sera donc pas traité ici (Gosselin et Gosselin, 2008).

60
61 Nous justifions en cinq points l'utilité de tels suivis dans le cadre de l'évaluation de la gestion
62 forestière durable ("pourquoi des suivis directs"?). Nous proposons ensuite des critères pour le
63 choix des taxons à suivre, en fonction des objectifs du suivi ("quoi suivre"?). Enfin, nous
64 insistons sur une sélection de points techniques primordiaux pour l'étape de mise en place du
65 suivi ("comment suivre?") : le plan d'échantillonnage ; le choix de placettes permanentes ou
66 non ; le compromis entre réplification spatiale et réplification temporelle des points ; la réflexion
67 sur les variables écologiques à relever en parallèle de la biodiversité ciblée. Ces réflexions
68 s'appuient sur quelques exemples de suivis directs de biodiversité (spécifique) forestière, en
69 France et à l'étranger.

70

71 **1. Pourquoi davantage d'indicateurs d'état ?**

72 La question sous-jacente de cette première partie est : en quoi la prise en compte de ce
73 genre de données pourrait être utile au sein du système d'indicateurs de gestion forestière

74 durable ? Nous voyons cinq avantages principaux à inclure des suivis directs d'état de la
75 biodiversité forestière dans le système national d'évaluation de la gestion durable des forêts.

76

77 1.1. Enrichir et préciser les indicateurs actuels de pression et de réponse par des indicateurs
78 d'état

79 Les indicateurs actuellement utilisés sont souvent des indicateurs dendroécologiques,
80 sensés représenter des pressions pesant sur la biodiversité. Mais ces indicateurs présentent des
81 inconvénients. En premier lieu, la relation entre ces pressions et les états de la biodiversité est
82 mal connue, notamment dans le contexte français. Pour la plupart des indicateurs indirects
83 actuellement utilisés, il est difficile de préciser les groupes taxonomiques représentés par
84 l'indicateur, les conditions écologiques de validité de l'indicateur et la force et la forme –
85 seuil, relation linéaire – de la relation entre l'indicateur et la part de biodiversité ciblée. Des
86 efforts de recherche parallèles au dispositif de suivi pourraient permettre de mieux calibrer
87 cette relation, comme l'illustrent les articles de Bouget et Gosselin (ce numéro). Mais cette
88 calibration risque de ne pas suffire car la relation entre indicateur et biodiversité risque en
89 outre d'évoluer dans le temps, si bien que la calibration pourrait évoluer elle aussi en
90 conséquence.

91 Sachant que la relation entre pressions et biodiversité est à la fois mal connue et évolutive,
92 et que la biodiversité en forêt résulte aussi de pressions extérieures à la gestion forestière,
93 suivre l'état de la biodiversité enrichirait utilement les indicateurs de pression et réponse
94 actuellement fournis (cf. Article Gosselin, Bonhême, Archaux, Nivet, ce numéro).

95

96 1.2. Accéder à la dynamique de la biodiversité

97 Le lien entre pression et état de la biodiversité peut non seulement évoluer dans le
98 temps comme évoqué ci-dessus, mais peut avoir lieu avec un décalage temporel. La notion de

99 "dette d'extinction", popularisée par Tilman *et al.* (1994), illustre bien ce phénomène : une
100 pression peut avoir diminué mais rester à un niveau important alors que la réponse de la
101 biodiversité n'est pas encore effective. Il y a deux idées distinctes derrière la notion de dette
102 d'extinction : (i) ce n'est pas parce qu'une pression a diminué qu'elle est à un niveau
103 satisfaisant ; et (ii) il peut y avoir un décalage dans le temps entre l'exercice d'une pression ou
104 d'une réponse et son impact sur la biodiversité. De ce point de vue, suivre la biodiversité
105 ordinaire permettrait donc de mettre en évidence d'éventuelles évolutions décalées dans le
106 temps qui pourraient par exemple toucher la biodiversité ordinaire avant d'impacter les
107 espèces menacées d'extinction (indicateur 4.8). Seuls une connaissance fine de la biodiversité
108 ou un suivi temporel permettront de rendre compte de cette relation décalée entre pression et
109 indicateur.

110

111 1.3. Permettre un mode plus dynamique d'analyse et de rapportage sur la durabilité de la
112 gestion forestière et analyser l'efficacité des pratiques de gestion conservatoire.

113 Il s'agirait d'inclure dans la même analyse des pressions, des états et des réponses – i.e.
114 des mesures prises en faveur de la biodiversité. A l'échelle mondiale et avec un jeu
115 d'indicateurs un peu hétéroclite, c'est ainsi que Butchart *et al.* (2010) montrent que l'état de la
116 biodiversité a empiré, en lien avec des pressions plus fortes et malgré des "réponses"
117 croissantes. On pourrait notamment essayer de quantifier si les réponses apportées par la
118 gestion ou la politique publique forestières au déclin de la biodiversité ont réduit les pressions
119 et si cette réduction a eu un impact positif sur l'état de biodiversité. Par exemple, il serait
120 possible sur cette base d'évaluer si les mesures prises en faveur du bois mort par l'ONF ont eu
121 l'impact espéré sur les niveaux de bois mort et si l'état de la diversité saproxylique s'en est
122 trouvé amélioré (cf. Cordonnier *et al.*, 2009 pour une approche similaire incluant un volet
123 expérimental). On pourrait aussi jauger si la biodiversité forestière a évolué plus

124 favorablement sur les sites du réseau Natura 2000 que dans les forêts hors réseau. Cette
125 approche est menée actuellement par le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) sur la
126 base des données du Suivi Temporel des Oiseaux Communs (STOC).

127

128 1.4. Construire un indicateur global de gestion durable de nos forêts

129 En comparant les dynamiques de biodiversité à l'œuvre entre forêts exploitées et forêts
130 non-exploitées, nous aurions un indicateur assez pertinent d'impact de l'ensemble des effets de
131 la gestion sur la biodiversité, toutes choses – ou presque – étant comparables par ailleurs – et
132 pourvu qu'on envisage les effets de la gestion forestière en moyenne à une échelle assez
133 locale. Cet indicateur compléterait donc utilement les indicateurs de pression, – même s'ils
134 étaient validés (cf. ci-dessus) – car il intégrerait l'effet cumulé des pressions et réponses liées à
135 la gestion forestière. Nous avons déjà utilisé une telle approche pour comparer la quantité de
136 micro-habitats sur les arbres en forêt exploitée et forêt non-exploitée (Vuidot *et al.*, 2011).
137 Les résultats montraient qu'à l'échelle de l'arbre, *une fois prises en compte les caractéristiques*
138 *individuelles de l'arbre*, il y avait peu de différences d'abondance des micro-habitats, que
139 l'arbre soit en forêt exploitée ou non exploitée – contrairement à des résultats allemands qui
140 révélaient dans les mêmes conditions une moindre abondance de micro-habitats en forêt
141 exploitée qu'en forêt non exploitée. Cette première approche synchronique prendrait encore
142 plus de sens si elle était entreprise en dynamique (Gosselin *et al.*, 2011). En s'inspirant de cet
143 exemple, nous pensons que des *suivis* de biodiversité menés en forêt exploitée et non-
144 exploitée pourraient fournir un nouvel indicateur de gestion forestière durable, intégrant les
145 effets cumulés de la gestion forestière.

146

147 1.5. Disposer d'outils de comparaison de la dynamique de la biodiversité entre différents types 148 de milieux et de gestion associée

149 Il est souvent admis que parce que la gestion forestière utilise peu d'intrants, la
150 biodiversité serait moins menacée en forêt que dans d'autres milieux. C'est en partie ce qui est
151 observé sur les communautés d'oiseaux communs suivies par le STOC : les oiseaux
152 spécialistes des forêts déclinent, mais moins vite que les oiseaux spécialistes des milieux
153 agricoles et autant que les oiseaux spécialistes des villes. Il serait utile de savoir si la partie
154 plus généraliste suit la même tendance et si cette tendance est la même pour d'autres groupes
155 taxonomiques que les oiseaux communs. Pour les espèces rares ou menacées, il semble que
156 globalement la menace soit du même niveau ou moindre – suivant le groupe taxonomique –
157 en forêt que dans d'autres milieux (Gosselin *et al.*, 2009).

158

159 Il y a donc un grand intérêt à inclure des données de suivi de biodiversité dans les
160 données utilisées pour évaluer la gestion forestière durable, pourvu qu'on laisse le système
161 d'indicateurs du critère 4 s'enrichir de nouvelles analyses et de nouveaux indicateurs validés
162 scientifiquement.

163

164 **2. Quelle(s) biodiversité(s) suivre ?**

165 Les réflexions précédentes nous conduisent assez naturellement aux types de
166 biodiversité qu'il serait intéressant de suivre.

167 Nous avons tout d'abord évoqué l'intérêt de l'indicateur 4.8 qui présente la proportion
168 d'espèces forestières menacées, au sens de l'UICN. Cet indicateur présente l'avantage d'être la
169 version forestière d'un indicateur utilisé plus globalement ou dans d'autres milieux. On
170 pourrait aussi le compléter par des zooms sur des espèces qui seraient l'objet d'un suivi
171 particulier – par exemple démographique et/ou génétique – (cf. Hamza *et al.*, 2007),
172 notamment des espèces pour lesquelles une réponse de gestion est apportée, sous la forme
173 d'un plan de restauration par exemple. Pour cet indicateur, différents types de données

174 peuvent être mobilisées, grâce à la méthodologie de l'UICN : des suivis démographiques, des
175 suivis d'abondance ou des présence-absence, des suivis d'aire de répartition.

176 Ensuite, dans l'optique de comparer la dynamique de la biodiversité en forêt à celle à
177 l'œuvre dans d'autres milieux, il serait judicieux de suivre l'abondance de taxons à large
178 amplitude de milieux incluant des généralistes, des spécialistes forestières et des spécialistes
179 d'autres milieux. C'est le cas des oiseaux par exemple : il existe des espèces ubiquistes, des
180 spécialistes de forêts, des spécialistes de champs agricoles, des spécialistes de zones humides.
181 Les données seraient analysées par milieu, toutes espèces confondues, mais aussi en se
182 restreignant aux espèces très spécialistes de ces différents milieux. Il existe déjà des données
183 de suivi d'abondance de populations pour certains groupes taxonomiques en forêt : en France
184 métropolitaine, cela concerne en particulier les oiseaux, via le programme STOC, et la flore
185 vasculaire, via les réseaux de placettes gérés par l'IGN¹ et par le département de la santé des
186 forêts (DSF) du ministère en charge des forêts. Contrairement aux données oiseaux du STOC,
187 les données sur la flore vasculaire ne permettent toutefois pas de comparaisons avec d'autres
188 milieux car elles ne sont collectées qu'en forêt.

189 Enfin, les suivis existants concernent des groupes taxonomiques qui n'ont pas
190 forcément été choisis pour l'enjeu qu'ils représentent en termes de gestion forestière durable. Il
191 est donc logique de se demander si d'autres groupes taxonomiques ne devraient pas être suivis
192 et pour quelle raison. On pourrait notamment souhaiter un groupe taxonomique indicateur de
193 l'ensemble de la biodiversité en forêt. L'analyse de la littérature suggère toutefois que cette
194 piste est une impasse (Gosselin et Dallari, 2007). Nous proposons plutôt de choisir de suivre
195 des groupes taxonomiques reliés à des enjeux en termes de gestion forestière durable. Pour le
196 critère 4, on pourrait cibler des parties de biodiversité ayant des facteurs de sensibilité avérée

¹ l'Institut national de l'information géographique et forestière est un organisme qui résulte de la fusion, au 1er janvier 2012, de l'Institut géographique national (IGN) et de l'Inventaire forestier national (IFN)

197 ou possibles à la gestion forestière (espèces peu mobiles, espèces sensibles au tassement du
198 sol ; cf. Gosselin *et al.*, 2009).

199 À l'intersection des taxons "à enjeu", des pressions pesant sur la forêt française et des états de
200 la biodiversité, se trouvent les espèces associées au bois mort, dites saproxyliques : elles
201 dépendent majoritairement de la forêt, représentent le quart des espèces forestières (soit plus
202 de 10 000 espèces, dont une majorité de Champignons et de Coléoptères) et leurs habitats sont
203 perturbés par la gestion. De plus, une proportion significative des espèces sont menacées
204 d'extinction (Bouget, 2007). Dès 1988, le Conseil de l'Europe encourageait les
205 gouvernements européens à utiliser prioritairement les organismes saproxyliques pour évaluer
206 l'état de conservation des forêts².

207 Le statut actuel des organismes saproxyliques fait pourtant débat dans la communauté
208 forestière : les niveaux de bois mort sont très probablement plus élevés aujourd'hui qu'il y a
209 quelques décennies (notamment après les tempêtes de 1999), quoique toujours à des niveaux
210 assez faibles en plaine. De fait, le pire est probablement derrière nous compte tenu de la
211 surexploitation historique de la forêt qu'ont connue ces espèces du Moyen-âge jusqu'au 19^e
212 siècle, lorsque le bois était la principale source d'énergie (Bartoli et Geny, 2005). Les goulets
213 d'étranglement vécus par les populations d'organismes saproxyliques ont pu conduire à des
214 assemblages aujourd'hui appauvris ou fragilisés qui doivent sans doute toujours être
215 considérés comme vulnérables : l'existence de conditions antérieures plus défavorables pour
216 ces espèces saproxyliques ne signifie pas que les conditions actuelles ou futures permettent
217 leur survie, tant le phénomène d'extinction s'étale dans le temps (Caughley, 1994; Pimm,
218 2002 ; cf. aussi la notion de dette d'extinction développée ci-dessus). En raison du décalage de
219 réponse de la biodiversité, l'état actuel de ces espèces ne signifie pas que les efforts de gestion

² Recommandation du Comité des ministres du Conseil de l'Europe R(88) 10 aux Etats membres (adoptée le 13 juin 1988) pour « *la protection des organismes saproxyliques et de leurs biotopes* ». <https://wcd.coe.int/com>.

220 en leur faveur soient inefficaces. Seul un double suivi pression/état dans le temps permettra
221 d'en juger.

222 Il serait au final très utile que les suivis de taxons forestiers soient multi-spécifiques, comme
223 les suivis existants mentionnés ci-dessus. On pourrait suivre l'abondance, la présence/absence
224 et/ou la répartition de ces espèces – avec une préférence pour la première alternative, plus
225 facile à relier à la gestion forestière. A la suite notamment de Gosselin et Dallari (2007),
226 Gosselin et Gosselin (2008), Landmann et Gosselin (2009), et dans le cadre du critère 4 de
227 gestion forestière durable, nous proposons au minimum d'ajouter aux suivis existants
228 (Oiseaux notamment de Vigie-Nature et flore vasculaire de l'IGN/IFN), le suivi de taxons
229 saproxyliques. On pourrait y ajouter :

- 230 - au sein du critère 4, un taxon à faible capacité de dispersion autre que la flore
231 vasculaire – comme les mollusques suivis en Suisse ; cf. ci-dessous – en lien avec
232 les problématiques des forêts anciennes et de la trame verte ;
- 233 - pour le critère 2 de gestion durable ("Maintien de la santé et de la vitalité des
234 écosystèmes forestiers"), des groupes taxonomiques au rôle fonctionnel important–
235 si leur lien avec le fonctionnement fournissait de meilleurs indicateurs de "la santé
236 et la vitalité des écosystèmes forestiers".

237

238 **3. Comment suivre la biodiversité ?**

239 Une fois définis les objectifs du suivi et les parties de biodiversité ciblées, il reste à mettre en
240 place le dispositif de suivi. Ce point nécessite une grande attention ; les modalités pratiques
241 dépendent à la fois des espèces suivies et des objectifs du suivi. Parmi de nombreux critères
242 de qualité, nous insistons ici sur quatre points relatifs au plan d'échantillonnage, à la
243 répartition spatiotemporelle des collectes de données et à la récolte de données écologiques
244 ou sylvicoles en parallèle des relevés de biodiversité.

245

246 3.1. Choix du plan d'échantillonnage

247 Le choix du plan d'échantillonnage est le parent pauvre de nombre de suivis de biodiversité. À
248 titre d'exemple, les sites de suivi à long terme (LTER) – et parmi eux le suivi à long terme des
249 forêts en Europe – n'ont souvent pas de plan d'échantillonnage explicite, ce qui pourrait poser
250 des problèmes à l'avenir (Ferretti et Chiarucci 2003). La question est la même pour de
251 nombreux suivis de biodiversité :

- 252 – ainsi, le Living Planet Index est marqué par des choix de populations ou d'espèces
253 voire de sites qui peuvent être biaisés (Loh *et al.*, 2005).
- 254 – de même, le suivi nord-américain des oiseaux nicheurs se fait le long de routes ; or les
255 bords de route ne sont pas forcément représentatifs de l'évolution des habitats dans
256 tout le paysage (Buckland *et al.*, 2005; Keller & Scallan, 1999, Harris & Haskell,
257 2007).
- 258 – Le suivi français des oiseaux nicheurs (STOC) ne possède pas le biais du suivi nord-
259 américain. Tout comme le suivi anglais équivalent (Freeman *et al.*, 2007), STOC
260 avant 2001, il possédait un plan d'échantillonnage encore moins "représentatif",
261 puisque durant cette période les lieux de prospection étaient choisis par les
262 observateurs. Après 2001, des choix différents ont été faits des deux côtés de la
263 Manche : côté britannique, les organisateurs ont utilisé un plan d'échantillonnage
264 complètement aléatoire tandis qu'en France une partie seulement d'aléatoire a été
265 introduite, puisque les lieux d'observation sont tirés au sort dans un rayon fixe autour
266 du lieu de résidence des observateurs : le plan d'échantillonnage en résultant s'en
267 trouve déséquilibré par la distribution des lieux de vie des observateurs STOC
268 (Gosselin & Dallari 2007; cf. <http://vigienature.mnhn.fr/page/protocole>), avec par
269 exemple, peu d'observations dans les départements des Landes et du Cher. Nos

270 collègues britanniques ont poussé la rigueur jusqu'à poursuivre les deux plans
271 d'échantillonnage en parallèle pendant quelques années afin d'en tirer des
272 enseignements Freeman *et al.* (2007) ont ainsi pu comparer les tendances temporelles
273 des oiseaux anglais telles qu'évaluées avec l'ancien plan d'échantillonnage – non
274 représentatif du territoire anglais – et le nouveau – représentatif, depuis 2001. Non
275 seulement ils trouvent que les deux échantillonnages aboutissent à des tendances
276 temporelles significativement différentes pour 10% des espèces, mais ils montrent que
277 les corrélations entre les tendances temporelles sont souvent faibles – sans qu'on ait
278 suffisamment de puissance statistique pour les qualifier de significativement
279 différentes : ainsi, pour environ 55 % des espèces, les tendances temporelles
280 d'abondance avaient un coefficient de corrélation de moins de 50% entre les deux
281 échantillonnages.

282 On peut donc légitimement se poser des questions sur l'influence de nombreux plans
283 d'échantillonnage sur les résultats du suivi de biodiversité. Quelles recommandations peut-on
284 en déduire dans le cas de suivis de biodiversité pour évaluer la durabilité de la gestion
285 forestière ? Plusieurs pistes sont envisageables. On peut en premier lieu imaginer un plan
286 d'échantillonnage aléatoire ou systématique, stratifié ou non, à la manière de celui utilisé par
287 l'IGN, mais pour toutes les forêts, qu'elles soient de production ou non. En Alberta (cf. ci-
288 dessous), le choix a été fait de retenir une grille systématique, non stratifiée, au motif que les
289 strates pouvaient changer dans le temps (Boutin *et al.*, 2009). Le Monitoring de la
290 Biodiversité en Suisse (cf. ci-dessous) a choisi un échantillonnage systématique (Figure 1), en
291 s'organisant de manière à ce que les points en forêt coïncident avec ceux de l'inventaire
292 forestier national suisse (lui-même établi sur grille systématique). Si l'on s'oriente vers une
293 utilisation des réserves intégrales comme témoins de l'évolution de la biodiversité en l'absence
294 de gestion – cf. ci-dessus – il serait logique de stratifier l'échantillonnage en fonction de ces

295 réserves, *a priori* invariantes dans le temps, et peut-être de la distance à ces réserves. En
296 l'absence de stratification, compte tenu de la faible empreise surfacique de ces réserves, un
297 échantillon purement aléatoire ou systématique conduirait à un échantillonnage déséquilibré
298 par rapport à l'objectif du suivi, avec de nombreux points d'inventaire hors réserve et très peu
299 de points d'inventaires en réserve.

300

301 3.2 Répartition spatiotemporelle des relevés

302 Il faut ensuite choisir si les placettes sont revisitées de manière périodique – cas de placettes
303 permanentes – ou si les placettes sont remplacées à chaque campagne. L'Alberta (cf. ci-
304 dessous) a fait le choix de placettes permanentes mais aux positions exactes gardées secrètes
305 pour ne pas influencer la gestion autour des points échantillonnés.

306 Faire des mesures fréquentes sur peu de sites ou faire des mesures moins fréquentes sur plus
307 de sites ? Comme l'ont bien montré Rhodes et Jonzén (2011), c'est l'estimation des niveaux
308 respectifs d'autocorrélation spatiale et temporelle qui permet de choisir entre ces deux
309 stratégies.

310

311 3.3. Lien avec des variables environnementales

312 Enfin, pour évaluer le critère de gestion forestière durable relatif à la biodiversité (critère 4), il
313 est important de pouvoir relier les évolutions de la biodiversité à des variables écologiques,
314 notamment des variables liées à la gestion (cf. partie 2.3). Organiser d'un côté un suivi de la
315 biodiversité et de l'autre un suivi des variables dendro-écologiques sans les lier explicitement
316 expose là encore à des problèmes futurs, comme ceux rencontrés dans le cas de la chouette
317 tachetée (Gosselin, 2009). Dans ce cas d'école, les deux ensembles de suivis étaient
318 déconnectés : le premier sur la démographie de la chouette et le second sur l'évolution de son
319 habitat supposé optimal, mais aucune passerelle n'était prévue pour analyser si la dynamique

320 de la population de chouette tachetée était bien liée à la quantité et la qualité de son habitat. Il
321 serait fort utile d'éviter cet écueil en recueillant de manière coordonnée – et en fonction
322 d'analyses futures – les informations sur la biodiversité et celles sur les variables dendro-
323 écologiques au sein de systèmes de suivis Pression/État/Réponse équilibrés.

324

325 Ces points (échantillonnage stratifié ou non ; placettes permanentes ou non ; réplique
326 spatiale vs réplique temporelle ; réflexion aux variables écologiques relevées en parallèle
327 de la biodiversité) ne sont que quelques uns des aspects – mais probablement les principaux –
328 à aborder pour mettre en place ou améliorer le suivi de la biodiversité en forêt (cf. aussi
329 Yoccoz *et al.*, 2001). Plusieurs exemples développés ci-dessous nous semblent servir de base
330 pertinente quant à la mise en place d'un réseau de suivi.

331

332 **4. Exemples de suivis intégrant des indicateurs directs de biodiversité forestière**

333 Même si les données de biodiversité forestière sont peu mobilisées dans le secteur forestier,
334 des suivis de biodiversité forestière existent déjà en France et à l'étranger. Nous proposons
335 dans la suite un panorama rapide de ces suivis.

336 Les suivis de biodiversité forestière apparaissent aussi bien dans des dispositifs de suivis
337 généraux de biodiversité, multi-milieux (programme de suivi européen de la biodiversité
338 (SEBI) ; de l'Agence Européenne de l'Environnement ; Observatoire National de la
339 Biodiversité) que dans des dispositifs de suivis propres au secteur forestier.

340 Dans les exemples qui suivent, nous nous sommes limités aux suivis d'ampleur nationale ou
341 internationale, de long terme (pas d'inventaires ponctuels), ayant pour objectif soit d'évaluer
342 l'état et l'évolution de la biodiversité spécifique (dont la biodiversité forestière), soit d'évaluer
343 l'impact de politiques publiques sur la biodiversité (dont les politiques forestières ou de
344 conservation de la biodiversité), et utilisant des indicateurs directs de biodiversité forestière.

345

346 4.1 Données forestières au sein de suivis de biodiversité

347

348 Si certains pays envisagent des suivis de biodiversité à grande échelle (tous milieux et taxons
349 confondus), la synthèse de Lee et al. (2005) note que la plupart des suivis de biodiversité à
350 long terme à l'échelle nationale ont été développés à partir des inventaires forestiers, des
351 inventaires cynégétiques, ou des suivis de la qualité de l'air ou de l'eau. Les techniques
352 utilisées s'inspirent donc des placettes standards d'inventaires forestiers, des techniques de
353 comptage de vertébrés (grands mammifères, oiseaux) ou des techniques d'analyse de la
354 qualité de l'eau (indices biotiques). Mais de larges pans de la biodiversité ne sont pas couverts
355 par ces méthodes, notamment dans le domaine forestier. Deux principales stratégies de
356 collecte de données distinguent les pays qui mettent en place des suivis nationaux de
357 biodiversité :

- 358 – Dans le premier cas, un service de coordination rassemble des observations plus ou
359 moins disparates issues de plusieurs programmes séparés de suivis, en général un
360 programme par groupe taxonomique (suivi des amphibiens, des oiseaux nicheurs, des
361 gastéropodes...) ou par type de milieux (suivi des zones humides, des prairies
362 sèches...). C'est le système le plus courant. En France, le programme Vigie Nature du
363 Muséum National d'Histoire Naturel (MNHN) en est un exemple, au même titre que
364 l'Observatoire National de la Biodiversité (ONB), le suivi national de biodiversité en
365 Bulgarie (<http://monitoring.biodiversity.bg/english/>), ou le Hungarian Biodiversity
366 Monitoring System (HBMS) en Hongrie (<http://www.termesztvedelem.hu/hbms>).
- 367 – Dans le deuxième cas, les observations sont réalisées par un service dédié, qui conçoit
368 et met en place un système de suivi intégré, fondé sur un échantillonnage statistique
369 adapté. Ce système commence à se développer.

370 Le choix entre ces deux types de systèmes doit prendre en compte de multiples paramètres :
371 ceux des coûts (cf. ci-dessous, qui devraient à terme incorporer la qualité des données), des
372 bénéfiques (capacité à répondre aux demandes de la société, éventuellement nombre de
373 publications), des risques (par exemple, stabilité du dispositif en cas de conflit entre parties
374 prenantes) et de l'impact sur la société. Nous avons néanmoins privilégié la seconde stratégie
375 car elle correspond le mieux aux préconisations théoriques de mise en place d'un suivi de
376 biodiversité. Nous développerons donc uniquement deux exemples de suivis dédiés, en
377 focalisant sur la biodiversité forestière : le Monitoring de la Biodiversité en Suisse (MBD) et
378 le Suivi de la Biodiversité en Alberta (ABM).

379

380 4.1.1. Le Monitoring de la Biodiversité en Suisse (www.biodiversitymonitoring.ch)

381 Le Monitoring de la Biodiversité en Suisse (MBD) a été créé en 2001 sous la responsabilité de
382 l'Office Fédéral de l'Environnement. C'est un programme de suivi non exclusivement
383 forestier, qui produit une liste d'indicateurs structurée en trois catégories selon le système
384 préconisé par l'OCDE (1994) pour la gestion d'écosystème soumis à des pressions
385 anthropiques : ainsi, ils qualifient une pression sur l'écosystème (15 indicateurs), un état de
386 l'écosystème (12 indicateurs) ou une réponse de la société aux pressions exercées (7
387 indicateurs).

388 La plupart des indicateurs sont calculés à partir de données externes, mais au moins trois
389 indicateurs d'état, centraux, sont construits à partir de données collectées directement sur le
390 terrain par le MBD : tous les 5 ans, le MBD recense la diversité de plantes, de papillons,
391 d'oiseaux, d'escargots et de mousses sur un réseau d'échantillonnage systématique de
392 placettes permanentes (géolocalisées et matérialisées sur le terrain au moyen d'une borne
393 métallique). Ce réseau de mesure mis en place à l'échelle de toute la Suisse est constitué de
394 deux sous-réseaux (Figure 1) :

- 395 – le premier (Figure 1a), destiné à évaluer la diversité des espèces dans les paysages, est
396 une grille systématique de 520 zones de 1km², régulièrement réparties, avec toutefois
397 une maille plus serrée dans le Jura et dans le Sud du pays. Sur ce réseau sont recensés
398 les oiseaux nicheurs, les papillons diurnes et les plantes vasculaires. Les espèces sont
399 inventoriées le long d'un transect qui parcourt chaque zone :
- 400 ○ Transect de 2,5 km pour les papillons et la flore. Les papillons sont recensés
401 sur 5 m de part et d'autre du transect (jusqu'à 7 passages par saison), les plantes
402 sur 2,5 m de part et d'autre du transect (2 passages par an).
 - 403 ○ Transect différent, de 3 à 5 km pour les oiseaux nicheurs (identifiés au chant et
404 à vue, 3 passages par an).
- 405 – le second (Figure 1b), destiné à évaluer la diversité spécifique des plantes vasculaires,
406 mousses et mollusques dans les habitats, compte 1600 placettes de 10m². La flore fait
407 l'objet de 2 passages par an (les mousses sont récoltées au printemps, en plus du relevé
408 de flore vasculaire; et identifiées en laboratoire). Pour les mollusques, des échantillons
409 de sol sont prélevés sur 8 points à l'aide d'une carotteuse normée, et envoyés au
410 laboratoire pour détermination.

411

412 Les données de relevés du MBD alimentent aussi en partie l'indicateur concernant la présence
413 en Suisse d'espèces menacées à l'échelle mondiale. Le MBD se concentre sur l'inventaire
414 d'espèces abondantes et répandues, chez lesquelles ont été constatées d'importantes
415 modifications au cours des dernières années, avec des espèces naguère fréquentes qu'on ne
416 trouve plus que rarement aujourd'hui. C'est en signalant de telles évolutions que le MBD
417 espère donner l'alarme suffisamment tôt et justifier des mesures, avant que les espèces ne
418 doivent être inscrites dans les listes rouges.

419

420 Le MBD s'organise de la façon suivante:

- 421 – Un bureau externe assure la coordination de l'ensemble du projet et organise la
422 collecte annuelle des données. Ses compétences englobent la gestion des données et
423 leur interprétation, le reporting et l'assurance qualité ;
- 424 – Les relevés sur le terrain concernant les indicateurs principaux des espèces répandues
425 sont confiés à des spécialistes choisis suite à appel d'offre, pour une période de
426 plusieurs années. La structure de coordination procède en outre à ses propres relevés
427 pour les sites où le travail s'avère particulièrement complexe ;
- 428 – Les collectes de données sur les espèces rares sont réalisées par les institutions
429 spécialistes des catégories concernées : le Centre suisse de cartographie de la faune
430 (CSCF), le Centre du réseau suisse de floristique (CRSF), la Station ornithologique
431 Suisse de Sempach, le Centre de coordination pour la protection des amphibiens et des
432 reptiles de Suisse (KARCH) et la Société suisse de biologie de la faune (SSBF).

433 Le MBD coûte environ 2.5 millions d'euros par an hors taxes, soit 60€/km² rapporté à la
434 surface totale du pays. Ce coût couvre pour l'essentiel des frais de personnel (Tableau 1).

435 L'exploitation des données du MBD a déjà fourni des résultats intéressants pour la
436 biodiversité forestière. Ainsi, une étude sur un échantillon de placettes communes à
437 l'Inventaire Forestier National et au MBD a montré que la densité spécifique des plantes
438 vasculaires, mousses et mollusques ne peut être correctement évaluée que par suivi direct des
439 espèces : il n'y a pas de relation fiable et univoque entre celle-ci et les attributs structuraux de
440 la forêt (Bühler *et al.*, 2007).

441

442 4.1.2 Le Monitoring de la Biodiversité en Alberta (www.abmi.ca)

443 L'Alberta Biodiversity Monitoring Institute (ABMI) a été créé en 2003. Il s'agit d'un système
444 intégré de suivi de la biodiversité des écosystèmes à l'échelle de la province (661 000 km²),

445 par collecte de données sur une maille systématique de 20x20km sur l'ensemble du territoire
446 (1656 sites au total) :

- 447 – données de présence et abondance de taxons relevées au niveau "espèce" : plantes
448 vasculaires, mousses, champignons, lichens, phytoplancton, oiseaux, mammifères,
449 poissons, collemboles, rhopalocères, zooplancton, invertébrés benthiques.
- 450 – données structurelles : arbres vivants et arbres morts, bois mort à terre, sol, couvert
451 végétal, litière, physicochimie de l'eau, caractéristiques de bassin versant,
452 caractéristiques paysagères.

453 Au total, l'ABMI évalue l'état et l'évolution de 2000 espèces, 200 variables d'habitat (à
454 l'échelle de la placette), 40 variables d'empreinte humaine (à l'échelle du paysage). Chaque
455 année, 330 sites sont visités, et la province est couverte en 5 ans. L'échantillonnage pour la
456 collecte des données est dimensionné de manière à avoir 90% de chances de détecter un
457 changement de 3 % par an après 4 visites (1 visite tous les 5 ans). Les protocoles
458 d'échantillonnage et de collecte sont téléchargeables sur le site de l'ABMI. Le budget annuel
459 de l'ABMI est de 12 M\$ (environ 9 M€, soit 13.6€/km² ramené à la surface de la province),
460 financé à 60% par le gouvernement, à 40 % par les utilisateurs du territoire (dont les secteurs
461 énergétique et forestier).

462
463 Ce programme de suivi est piloté par une organisation indépendante non lucrative. Le bureau
464 est composé de représentants du gouvernement, des différents secteurs, dont la forêt,
465 d'organisation non gouvernementale et de scientifiques. Différents objectifs sont affichés :

- 466 – évaluation des changements de biodiversité à l'échelle du territoire de l'Alberta
467 (Canada) ;
- 468 – fourniture d'informations fiables et objectives aux gestionnaires de ressources
469 naturelles ;

- 470 – évaluation de l'efficacité des politiques de gestion durable, notamment de la gestion
471 forestière durable (Stadt *et al.*, 2006) ;
472 – analyse des relations possibles (corrélations) avec des facteurs potentiellement
473 explicatifs.

474

475 4.2. Volet biodiversité des inventaires forestiers nationaux

476 Le récent ouvrage de Tomppo *et al.* (2010) synthétise les utilisations des inventaires forestiers
477 nationaux pour répondre aux demandes internationales de rapportage, tant pour l'état des
478 ressources forestières (biomasse, produits non ligneux) que pour le stockage de carbone ou la
479 biodiversité.

480 Sur les 37 pays analysés, tous destinent prioritairement leur inventaire à évaluer la ressource
481 forestière, mais 27 affichent tout de même l'utilisation des données pour le rapportage sur la
482 biodiversité (national ou requis par les engagements internationaux : critère 4 du processus
483 MCPFE, CDB, rapports FAO), avec prise de données spécifiques pour cela (hormis Chypre),
484 tableau 2). Il s'agit le plus souvent de données structurelles, pour des indicateurs indirects tels
485 le volume du bois mort ou la structure verticale du peuplement. La prise de données directes
486 (relevés au niveau espèce) pour fournir des indicateurs d'abondance de population est plus
487 rare. En effet, seulement 18 pays (sur 27) dédient des relevés spécifiques (présence ou
488 l'abondance de taxons ou de groupes taxonomiques) à l'évaluation de la biodiversité. De plus,
489 parmi ces 18 pays, 16 relèvent des données au niveau espèce pour des groupes taxonomiques
490 donnés (en plus des ligneux classiquement recensés par les inventaires), mais avec des
491 restrictions :

- 492 – données sur une liste limitée d'espèces et non sur un groupe entier : cas de l'Allemagne
493 (8 plantes vasculaires fréquentes) ; Espagne (sélection de lichens épiphytes) ; Norvège
494 (une seule espèce de plante vasculaire) ; Suisse (11 champignons saproxyliques) ;

- 495 – données directes au niveau espèce ne concernant que le groupe des plantes vasculaires
496 (moitié des cas) ;
497 – données sur des groupes à enjeux au niveau espèce plus rare : lichens épiphytes (6
498 pays), bryophytes (2), champignons (2). Pour les bryophytes et les champignons, les
499 relevés se limitent parfois à certains groupes écologiques : bryophytes terricoles
500 (France) ou champignons saproxyliques (Suisse).

501 Dans plusieurs cas, les données biotiques sont prélevées à des niveaux moins fins que
502 l'espèce : e.g. couvert, toutes espèces confondues, des mousses, des lichens, des herbacées ou
503 des ligneux. Pour les lichens épiphytes, les données consistent fréquemment en l'estimation du
504 couvert de trois groupes morphologiques : lichens fruticuleux, foliacés ou crustacés (Espagne,
505 Irlande). Les espèces ne sont parfois déterminées qu'au genre : cas des champignons
506 saproxyliques du genre polypore en Estonie, ou des lichens des genres *Usnea*, *Bryoria* et
507 *Alectoria* en Suède.

508

509 **Conclusion**

510 Au terme de cet article, nous plaidons pour un enrichissement des indicateurs de gestion
511 forestière durable par des données de biodiversité multi-espèces. Ces données rempliraient
512 des rôles variés :

513 – enrichir et préciser les indicateurs de pression et de réponse, en permettant des
514 analyses du lien entre pressions, état et réponse, ainsi que des analyses d'impacts décalés dans
515 le temps des pressions et réponse sur les états de biodiversité ;

516 – fournir de nouveaux indicateurs de gestion durable des forêts, comme un indicateur
517 comparant la dynamique de la biodiversité en forêt exploitée et en forêts non exploitée ;

518 – donner des éléments de comparaison sur la dynamique de la biodiversité en forêt par
519 rapport à d'autres milieux ou en France par rapport à d'autres pays.

520 Nous avons présenté l'intérêt de suivis directs de biodiversité forestière dans le cadre du
521 système national d'évaluation de la durabilité de la gestion forestière. Les suivis d'état de
522 biodiversité en forêt seraient aussi fort utiles pour répondre à d'autres objectifs, comme par
523 exemple évaluer des politiques générales (comme le réseau Natura 2000) ou plus particulières
524 (comme la mise en place par l'ONF d'une politique en faveur des îlots de vieux bois et de
525 sénescence ; Office national des forêts, 2009) ou encore pour suivre l'impact sur la
526 biodiversité des unités de cogénération issue de biomasse forestière.

527 Il nous semble utile de préciser que l'échelle d'application de ces suivis est une large
528 échelle (biogéographique, nationale ou européenne) plutôt qu'une l'échelle régionale ou
529 locale, compte tenu des contraintes logistiques. Il paraît en effet difficile de viser des
530 indicateurs taxonomiques statistiquement interprétables aux échelles locales, en tout cas avec
531 des moyens raisonnables. Il faudrait pour cela des outils spécifiques pour interpréter les
532 données d'un très petit nombre de relevés, outils qui n'existent pas ou peu à l'heure actuelle.

533 Au final, que proposer concrètement pour faire évoluer le dispositif actuel ?

534 En premier lieu, nous avons milité pour utiliser les dispositifs existants (notamment
535 Vigie Nature et IGN/IFN), modulo (i) une adaptation de ces dispositifs pour prendre en
536 compte les points méthodologiques ci-dessus, de façon à ce qu'ils permettent de répondre aux
537 questions de la société et (ii) un complément taxonomique par l'ajout d'au moins un groupe
538 saproxylique.

539 Bien entendu, la question du coût d'un tel suivi (et de sa prise en charge) est à prendre
540 en compte. Les exemples évoqués dans cet article montrent que ce coût n'est pas négligeable
541 et peut varier de 2.5 millions d'euros par an pour la Suisse à près de 9 millions par an pour
542 l'Alberta. Bien entendu, l'échantillonnage de même que le nombre de données taxonomiques
543 et environnementales relevées influencent fortement ce coût. Par ailleurs, la nature des
544 intervenants est également à prendre en compte : Levrel et al. (2010), analysant le programme

545 Vigie Nature coordonné par le MNHN, estiment que le coût annuel d'un suivi rémunéré, en
546 lieu et place du dispositif actuel basé sur le bénévolat, pourrait atteindre plus d'un million
547 d'euros en cas de prise en charge des salaires par la puissance publique, ce qui les
548 rapprocheraient des coûts évoqués ci-dessus – en prenant en compte le nombre de sites
549 échantillonnés et la quantité de travail nécessaire pour suivre les groupes taxonomiques
550 choisis. Ce million d'euro est lui-même à comparer au coût actuel de 0.3 millions d'euros de
551 Vigie Nature – fondé sur une implication forte de naturalistes bénévoles.

552 Sur cette question des coûts, nous avons calculé sur la base des estimations de Levrel
553 et al. (2010) et des éléments fournis par Gosselin et Dallari (2007) le coût supplémentaire
554 pour la puissance publique d'un scénario d'extension de suivis de biodiversité de
555 complémentation des suivis existants (Vigie Nature et IGN/IFN) par un suivi professionnel de
556 Coléoptères Saproxyliques sur moitié moins de sites que le STOC accompagné du
557 doublement des frais de structure pour l'animation. Nous estimons sur la base de Gosselin et
558 Dallari (2007) qu'une placette pour l'échantillonnage des Coléoptères Saproxyliques coûte
559 neuf fois plus cher qu'une placette pour l'échantillonnage des Oiseaux, et nous prenons dans
560 Levrel et al. (2010) l'option de la professionnalisation via des fonctionnaires – solution moins
561 chère qu'avec des bureaux d'étude. Cela nous amène à un coût annuel supplémentaire de
562 786 000 €. Ces chiffres sont des ordres de grandeur et, comme nous l'avons déjà mentionné,
563 le choix de mettre en place de tels suivis est un choix politique devant prendre en compte de
564 multiples critères et pas uniquement celui des coûts. L'articulation entre suivi bénévole et
565 suivi professionnel doit être prise en compte dans ce choix. Il serait utile dans l'avenir que
566 grâce à la volonté de la puissance publique ces réflexions soient menées à leur terme et
567 fassent l'objet d'une première mise en place – peut-être sous forme d'étude préalable,
568 notamment pour estimer les autocorrélations spatiales et temporelles des données et rendre
569 plus optimal le plan d'échantillonnage initiale (e.g. Rhodes et Jonzén, 2011).

570

571 Remerciements :

572 Nous remercions J.-M. Gardaz (Office National de l'Environnement Suisse) pour la fourniture
573 des cartographies du MBD Suisse. Cet article est le fruit d'un travail effectué dans le cadre
574 d'une expertise (Landmann *et al.*, 2009) et de trois conventions de recherche gérées par le GIP
575 Ecofor et financées par le Ministère en charge du Développement Durable et de
576 l'Environnement (Convention de Recherche Ecofor – Cemagref ECOFOR n° 2007-3 ; projet
577 GNB du programme "Biodiversité, Gestion Forestière et Politiques Publiques" (BGF),
578 convention 10-MBGD-BGF-1-CVS-092, n°CHORUS 2100 214 651), ou par les deux
579 Ministères en charge de l'Environnement et de l'Agriculture (Projet Biomadi, Convention
580 MEDDTL-MAAPRAT-Ecofor n°E37/08). Nous remercions deux relecteurs anonymes pour
581 leurs remarques qui nous ont aidé à améliorer cet article.

582

583 Références :

584

585 Bartoli (M.), Geny (B.). - Il était une fois... le bois mort dans les forêts françaises - *Revue*
586 *Forestière Française*, vol. 57, n°5, 2005, pp. 443-456.

587 Bouget (C.) - Enjeux du bois mort pour la conservation de la biodiversité et la gestion des
588 forêts - *Rendez-vous Techniques*, n°16, 2007, pp. 55-59.

589 Boutin (S.), Haughland (D.), Schieck (J.), Herbers (J.) et Bayne (E.) -A new approach to
590 forest biodiversity monitoring in Canada - *Forest Ecology and Management*, 258,
591 Supplement 1, 2009, pp. S168-S175.

592 Buckland (S.T.), Magurran (A.E.), Green (R.E.) et Fewster (R.M.) - Monitoring change in
593 biodiversity through composite indices - *Philosophical Transactions of the Royal*
594 *Society B-biological Sciences*, vol. 360, n°1454, 2005, pp. 243-254.

595 Bühler (C.), Brändli (U.) et Zangger (A.) - Does forest structure indicate biodiversity ?, in
596 anonymous (Eds), *Monitoring the effectiveness of nature conservation*, 2007,
597 http://www.lfi.ch/publikationen/publ/poster_biodiversity.pdf.

- 598 Butchart (S.H.), Walpole (M.), Collen (B.), Van Strien (A.), Scharlemann (J.P.), Almond
599 (R.E.), Baillie (J.E.), Bomhard (B.), Brown (C.), Bruno (J.), Carpenter (K.E.), Carr
600 (G.M.), Chanson (J.), Chenery (A.M.), Csirke (J.), Davidson (N.C.) et Dentener - Global
601 biodiversity: Indicators of recent declines - *Science*, vol. 328, n°5982, 2010, pp. 1164-
602 1168.
- 603 Caughley (G.) – Directions in conservation biology - *Journal of Animal Ecology*, vol. 63, n°2,
604 1994, pp. 215-244.
- 605 Cordonnier (T.), Gosselin (F.), Bouget (C.), Brézard (J.M.) et Allain (R.) - Gestion adaptative
606 ou gestion expérimentale du bois mort, des vieux arbres et des arbres à cavités: exercice
607 de prospective - *RenDez-Vous techniques*, n°25-26, 2009, pp. 34-37.
- 608 Cordonnier (T.) et Gosselin (F.) - La gestion forestière adaptative: intégrer l'acquisition de
609 connaissances parmi les objectifs de gestion - *Revue Forestière Française*, vol. 61, n°2,
610 2009, pp. 131-144.
- 611 Ferretti (M.) et Chiarucci (A.) - Design concepts adopted in long-term forest monitoring
612 programs in Europe - problems for the future? - *Science of the Total Environment*, vol.
613 310, n°1-3, 2003, pp. 171-178.
- 614 Freeman (S.N.), Noble (D.G.), Newson (S.E.) et Baillie (S.R.) - Modelling population
615 changes using data from different surveys: The Common Birds Census and the Breeding
616 Bird Survey - *Bird Study*, vol. 54, n°1, 2007, pp. 61-72.
- 617 Gosselin (F.), Bouget (C.), Gosselin (M.), Chauvin (C.) et Landmann (G.) - L'état et les
618 enjeux de biodiversité forestière en France - in Landmann (G.), Gosselin (F.) et
619 Bonhême (I.) (Eds), *Bio2 - Biomasse et Biodiversité Forestière - Augmentation de
620 l'utilisation de la biomasse forestière: implications pour la biodiversité et les ressources
621 naturelles*, Paris, GIP Ecofor, MEEDM, 2009, pp. 63-69.

- 622 Gosselin (F.) et Dallari (R.) - *Des suivis "taxonomiques" de biodiversité en forêt. Pourquoi?*
623 *Quoi? Comment?*- Nogent sur Vernisson, Cemagref, 2007, 119p.
- 624 Gosselin (F.) et Gosselin (M.) - Pour une amélioration des indicateurs et suivis de biodiversité
625 forestière - *Ingénieries-EAT*, n°55-56, 2008, pp. 113-120.
- 626 Gosselin (F.), Paillet (Y.), Hirbec (P.) et Debaive (N.) - La fréquence des micro-habitats sur
627 les arbres est-elle vraiment liée au mode de gestion? - *Espaces Naturels*, n°36, 2011, pp.
628 28-28.
- 629 Gosselin (F.) - Management on the basis of the best scientific data or integration of ecological
630 research within management? Lessons learned from the northern spotted owl saga on the
631 connection between research and management in conservation biology - *Biodiversity*
632 *and Conservation*, vol.18, n°4, 2009, pp. 777-793.
- 633 Hamza (N.), Boureau (J.G.), Cluzeau (C.), Dupouey (J.L.), Gosselin (F.), Gosselin (M.),
634 Julliard (R.) et Vallauri (D.) - *Evaluation des indicateurs nationaux de biodiversité*
635 *forestière*, Nogent-sur-Vernisson, France, Inventaire Forestier National, 2007, 133p.
- 636 Harris (J.B.) et Haskell (D.G.) - Land Cover Sampling Biases Associated with Roadside Bird
637 Surveys – *Avian Conservation and Ecology*, vol. 2, n°2, 2007, 19p.
- 638 Keller (C.M.) et Scallan (J.T.) - Potential roadside biases due to habitat changes along
639 breeding bird survey routes - *Condor*, vol. 101, n°1, 1999, pp. 50-57.
- 640 Landmann (G.), Gosselin (F.) et Bonhême (I.) (Eds) - *Bio2, Biomasse et Biodiversité*
641 *forestières. Augmentation de l'utilisation de la biomasse forestière : implications pour la*
642 *biodiversité et les ressources naturelles*, Paris, MEEDDM-Ecofor, 2009, 210 p.
- 643 Landmann (G.) et Gosselin (F.) - Utilisation de la biomasse forestière, biodiversité et
644 ressources naturelles: synthèse et pistes d'approfondissement - *in* Landmann (G.),
645 Gosselin (F.) et Bonhême (I.) (Eds) *Bio2 - Biomasse et Biodiversité Forestière -*

- 646 *Augmentation de l'utilisation de la biomasse forestière: implications pour la biodiversité*
647 *et les ressources naturelles*, Paris, GIP Ecofor, MEEDM, 2009, pp. 177-191.
- 648 Lee (W.), McGlone (M.) et Wright (E.) *Biodiversity Inventory and Monitoring: A review of*
649 *national and international systems and a proposed framework for future biodiversity*
650 *monitoring by the Department of Conservation*, New Zealand, Landcare Research
651 Contract Report LC0405/122, 2005, 218 p.
- 652 Levrel (H.), Loïs (G.) et Couvet (D.) - Indicateurs de biodiversité pour les forêts françaises.
653 État des lieux et perspectives - *Revue Forestière Française*, vol. 59, n°1, 2007, pp. 45-
654 56.
- 655 Levrel (H.), Fontaine (B.), Henry (P.Y.), Jiguet (F.), Julliard (R.), Kerbiriou (C.) et Couvet
656 (D.) - Balancing state and volunteer investment in biodiversity monitoring for the
657 implementation of CBD indicators: A French example – *Ecological Economics*, vol. 69,
658 n°7, 2010, pp. 1580-1586.
- 659 Loh (J.), Green (R.E.), Ricketts (T.), Lamoreux (J.), Jenkins (M.), Kapos (V.) et Randers (J.) -
660 The Living Planet Index: using species population time series to track trends in
661 biodiversity - *Philosophical Transactions of the Royal Society B-biological Sciences*,
662 vol. 360, n°1454, 2005, pp. 289-295.
- 663 Office national des forêts - *Instruction 09-T-71 sur la conservation de la biodiversité dans la*
664 *gestion courante des forêts publiques*, Paris, Office national des forêts, 2009, 11p.
- 665 Pimm (S.L.) - The dodo went extinct (and other ecological myths) - *Annals of the Missouri*
666 *Botanical Garden*, vol. 89, n°2, 2002, pp. 190-198.
- 667 Rhodes (J.R.) et Jonzén (N.) - Monitoring temporal trends in spatially structured populations:
668 how should sampling effort be allocated between space and time? - *Ecography*, 2011,
669 vol. 34, n°6, pp. 1040-1048.

- 670 Tilman (D.), May (R.M.), Lehman (C.L.) et Nowak (M.A.) - Habitat destruction and the
671 extinction debt - *Nature*, vol. 371, 1994, pp. 65-66.
- 672 Tomppo (E.), Gschwantner (T.), Lawrence (M.) et McRoberts (R.) (Eds) - *National Forest*
673 *Inventories : pathways for common reporting* - Springer, 2010, 612 p.
- 674 Vuidot (A.), Paillet (Y.), Archaux (F.) et Gosselin (F.) - Influence of tree characteristics and
675 forest management on tree microhabitats in France - *Biological Conservation*, vol. 144,
676 n°1, 2011, p. 441-450.
- 677 Yoccoz (N.G.), Nichols (J.D.) et Boulinier (T.) - Monitoring of biological diversity in space
678 and time - *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 16, n°8, 2001, p. 446-453.
- 679

680 Tables et figures

681
682 Tableau 1 : Estimation du coût total annuel du Monitoring de la Biodiversité en Suisse (Euros,
683 hors TVA)
684

Collecte des données	Coût (€)
Indicateurs Z7 (diversité des espèces dans les paysages) et Z9 (diversité des espèces dans les habitats)	1 700 000
Indicateurs Z3 (diversité des espèces en Suisse et dans les régions) et Z4 (présence en Suisse d'espèces menacées à l'échelle mondiale)	32 000
Autres indicateurs	40 000
Structure de coordination	
Personnel, dépense de matériel	567 000
Contrôle de qualité	162 000
Total annuel	2 503 000

685

686 **Tableau 2:** Prise de données dédiées au reporting biodiversité dans les Inventaires Forestiers
 687 nationaux de 36 pays. Sources : compilation de données issues de Tomppo et al., 2010

Pays (ancienneté de l'inventaire)	Utilisation pour le reporting sur l'état de la biodiversité – Année	Relevé de données au niveau espèce				Relevés à d'autres niveaux taxonomiques
		Arbres	Ligneux bas	Plantes vasculaires	Autres	
Allemagne (1986)		oui		non	Couvert de 8 plantes vasculaires fréquentes	Couvert des lichens, mousses, herbacées, buissons
Autriche (1952)	oui	oui	oui	non		
Belgique (Wallonie)	oui -1994	oui	oui	oui (depuis 1997)		
Brésil (en cours)						nombre d'espèces forestières ; biomasse de végétation arbustive et herbacée ; biomasse de bryophytes
Canada (1997)	non	oui	non	non		
Chine (1973)	oui - 2004					
Chypre	oui – 1995					
Corée (1972)	projet					
Croatie (2005)	oui 2005					
Danemark (1989)	oui – 2003					
Espagne (1965)	oui – 2005	oui	oui	oui	ligneux menacés ; sélection d'espèces de lichens épiphytes	lichens épiphytes (relevés en présence, par type biologique : lichens à thalles fruticuleux, foliacé ou crustacé) ; couvert herbacé ; traces d'animaux
Estonie (1999)	oui – 2003	oui	oui	non		Groupe de lichens : Usnea spp., Polyporus spp. ; Cavités, indices de présence de pics, de Cérambicides.
Etats-Unis d'Amérique (1928)	oui	oui	oui	oui	lichens épiphytes	
Finlande (1921)	oui – 1951	oui		oui (depuis 1951)		
France (1958)	oui – 1995	oui	oui	oui	bryophytes terricoles	
Grande-Bretagne (1924)	oui – 2007					
Grèce (1963)	Non					
Hongrie (<1935)	oui					
Irlande (2007)	oui – 2007	oui	oui	oui		Couvert par type biologique de lichens (3 types : lichens à thalles fruticuleux, foliacés ou crustacés) ; couverts herbacé, mousses, fougères, ligneux, semi-ligneux
Islande (2001)	oui – 2001				présence et abondance de lichens sur arbres vivants ; Présence et abondance de 8 plantes vasculaires du sous-bois	présence et abondance de lichens épiphytes
Italie (1983)	oui					
Japon (1951)	Non précisé	oui	oui	oui		
Lettonie (2004)	Non					

Pays (ancienneté de l'inventaire)	Utilisation pour le reporting sur l'état de la biodiversité – Année	Relevé de données au niveau espèce				Relevés à d'autres niveaux taxonomiques
		Arbres	Ligneux bas	Plantes vasculaires	Autres	
Lithuanie (1998)	oui – 2008	oui	oui	non		
Luxembourg (1999)	oui – 1999					
Norvège (1919)	oui – 1994	oui	oui (depuis 1991)	non		Couvert de myrtilliers (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.), depuis 1994
Nouvelle-Zélande (1946-1955, et un en cours)	Non					
Pays-Bas	oui – 1998					
Pologne	Non précisé					
Portugal	oui – 1990	oui (protocole spécial pour évaluer la richesse en essences du sous-bois)	oui	non		présence de lichens et de mousses NFI 1990
République slovaque	oui – 2004	oui	oui	oui		bryophytes, lichens, champignons, espèces phares, espèces introduites, espèces en liste rouge
République tchèque	Non	oui	oui	oui		couvert par strates (herbacées, lichens, fougères, ligneux bas)
Roumanie	oui – 2006	oui	oui	oui		
Russie	oui – 2007	oui	oui	oui		
Slovénie	oui – 2007					
Suède	oui - 1993	oui	oui	oui		Association phytosociologique ; lichens épiphytes (relevés en présence et longueur maximale de thalle, par groupe. 3 groupes : <i>Alectoria sarmentosa</i> , <i>Usnea</i> spp., <i>Bryoria</i> spp)
Suisse	oui	oui	oui	non		lichens, sélection de 11 champignons saproxyliques ³ Biomasse épigée et hypogée

688
689

690

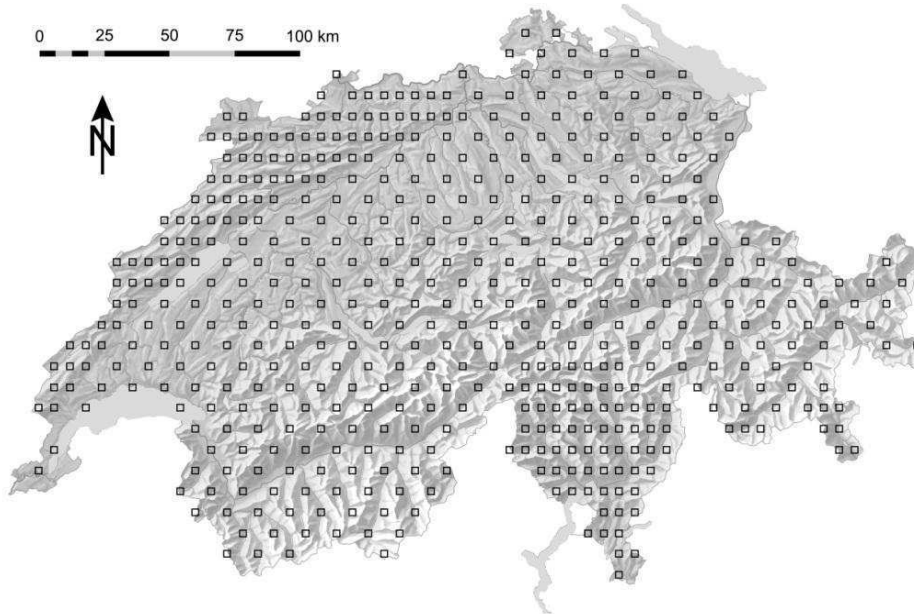
691 **Figure 1** : Cartographies des mailles de relevés du système de monitoring de la biodiversité

692 en Suisse (MBD)

³ En fait, 9 espèces : *Schizophyllum commune*, *Trametes hirsuta*, *Fomes fomentarius*, *Fomitopsis pinicola*, *Ganoderma lipsiense*, *Laetiporus sulfureus*, *Trametes gibbosa*, *Trametes versicolor*, *Gloephyllum odoratum*, 1 genre : *Phellinus* sp., et un groupe d'espèces : *Polyporus brumalis*, *P. ciliatus*, *P. varius*,

693 1a : Maille utilisée pour les relevés d'oiseaux nicheurs, de papillons diurnes et de plantes
694 vasculaires

695



704

705 1b : Maille utilisée pour les relevés de plantes vasculaires, mousses et mollusques

706

