



Méthodes de caractérisation des vieilles forêts de Nouvelle-Aquitaine

*Protocole d'inventaire de terrain et
construction d'indicateurs par la végétation*

Programme 2019 - 2021 : « Cartographie des forêts
anciennes de Nouvelle-Aquitaine et méthodologie
de caractérisation des vieilles forêts »



METHODES DE CARACTERISATION DES VIEILLES FORETS DE NOUVELLE-AQUITAINE

*Protocole d'inventaire de terrain et construction d'indicateurs par la végétation
(flore vasculaire, lichens et bryophytes)*

Programme juin 2019 - mars 2021 : « Cartographie des forêts anciennes de Nouvelle-Aquitaine et méthodologie de caractérisation des vieilles forêts »

RÉDACTION

Protocole de caractérisation des vieilles forêts : Anna HOVER (avec l'importante contribution de Benoît Renaux) ; Indicateurs flore vasculaire : Anna HOVER ; Indicateurs lichens : Thomas BEUDIN ; Indicateurs bryophytes : Isabelle CHARISSOU.

RELECTURE (tout ou partie)

Benoît RENAUX (CBNMC), Anthony LE FOULER (CBNSA), Kévin ROMÉYER (CBNSA), Remi DAVID (CBNSA), Gilles CORRIOL (CBNPMP), Grégory AGNELLO (CBNMC), Clothier COSTE (CBNPMP), Claire GODEL (IGN), Cécile PONTAGNIER (CBNSA).

DIRECTION SCIENTIFIQUE

Grégory CAZE

REMERCIEMENTS

Un grand merci à Benoît RENAUX du CBN du Massif Central pour son aide au montage du protocole de caractérisation des vieilles forêts et pour l'ensemble de sa relecture. Merci également à Laurent LARRIEU (INRAE-CRPF), Jean-Marie SAVOIE (Ecole d'Ingénieurs de Purpan), Sylvain ROLLET (Parc National des Pyrénées), Christophe CHAULIAC (ONF) et Claire GODEL (IGN) pour les riches échanges sur les méthodologies d'inventaire. Nous remercions également Gilles CORRIOL (CBN Pyrénées et Midi-Pyrénées), Grégory AGNELLO (CBN Massif Central / Evinerude), Clothier COSTE (CBN PMP / Carnets Nature) et Vincent HUGONNOT (Pépin-Hugonnot), pour leurs conseils avisés quant aux synthèses sur les indicateurs par la végétation. Merci enfin à la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) de Nouvelle-Aquitaine, ainsi qu'à la Région Nouvelle-Aquitaine, d'avoir soutenu et suivi la mise en œuvre de cette étude. Nos remerciements vont tout particulièrement à Alain VEROT et Olivier BROUSSEAU.

Référencement bibliographique

HOVER A., BEUDIN T., CHARISSOU I., 2021 - *Méthodes de caractérisation des vieilles forêts de Nouvelle-Aquitaine. Protocole d'inventaire de terrain et construction d'indicateurs par la végétation*. Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique. 83 p. + annexe

Crédits photos couverture

De gauche à droite : Photo 1 : Vieux Hêtre en Bois de Mixe (T. Ennes) ; Photo 2 : *Anemone nemorosa* (N. Meslage) ; Photo 3 : *Lobaria scrobiculata* (A. Caillon) ; Photo 2 : *Isothecium alopecuroides* (M. Chouillou).

PARTENAIRES FINANCIERS

Ce rapport est une production réalisée dans le cadre du programme « Cartographie des forêts anciennes de Nouvelle-Aquitaine et méthodologie de caractérisation des vieilles forêts », financé par la DREAL Nouvelle-Aquitaine et la Région Nouvelle-Aquitaine.



Partenaires financiers du syndicat mixte du CBNSA



SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	7
PROTOCOLE DE CARACTERISATION DES VIEILLES FORETS DE NOUVELLE-AQUITAINE	9
I. Objectifs et cadre d'utilisation du protocole	9
II. Stratégie d'échantillonnage	10
III. Phase de terrain	16
IV. Traitement des données issues de la phase de terrain.....	19
V. Compatibilités avec d'autres protocoles.....	21
VI. Perspectives	22
Bibliographie et échanges professionnels.....	23
CONSTRUIRE UN INDICATEUR DE FORETS ANCIENNES PAR LA FLORE VASCULAIRE	27
Introduction.....	27
I. La flore vasculaire comme témoin de l'ancienneté forestière	27
II. Synthèse bibliographique : constitution de listes d'espèces caractéristiques, risques de biais et production d'indicateurs	28
III. Etapes nécessaires à la construction d'un indicateur en Nouvelle-Aquitaine	38
Conclusion	40
Bibliographie.....	40
CONSTRUIRE UN INDICATEUR DE VIEILLES FORETS PAR LES LICHENS.....	43
Introduction.....	43
I. Exploitation des connaissances actuelles.....	43
II. Application aux forêts de Nouvelle-Aquitaine	57
Conclusion	62
Bibliographie.....	63
CONSTRUIRE UN INDICATEUR DE VIEILLES FORETS PAR LES BRYOPHYTES	65
I. Exploitation des connaissances actuelles.....	65
II. Application aux forêts de Nouvelle-Aquitaine	70
Bibliographie.....	78
CONCLUSION GENERALE : CE QU'IL FAUT RETENIR	80
TABLE DES ILLUSTRATIONS	82
ANNEXE : Notice d'utilisation de la fiche terrain du protocole « Caractérisation des vieilles forêts de Nouvelle-Aquitaine »	84

INTRODUCTION GENERALE

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme « **Cartographie des forêts anciennes de Nouvelle-Aquitaine et méthodologie de caractérisation des vieilles forêts** », qui s'est déroulé de juin 2019 à mars 2021. Ce programme comportait trois phases :

- Phase 1 : Cartographie des forêts anciennes en Nouvelle-Aquitaine ;
- Phase 2 : Sélection des forêts anciennes à fort potentiel de naturalité ;
- Phase 3 : Définition de méthodes de caractérisation des vieilles forêts sur le terrain.

Le présent rapport intègre la **phase 3 du programme**. Il présente un **protocole de terrain** dont l'objectif est d'évaluer le **degré de maturité des vieilles forêts**, ainsi que trois synthèses sur la construction d'**indicateurs** de forêts anciennes ou de vieilles forêts, par la **flore vasculaire**, les **lichens** et les **bryophytes**.

Trois autres rapports concernent les phases 1 et 2 du même programme, tous datant d'avril 2021. Un rapport rédigé par l'IGN sur la phase 1 : « *Cartographie et caractérisation des forêts anciennes de Nouvelle-Aquitaine* » ; deux rapports sur la phase 2, le premier co-rédigé par l'IGN et le CBNSA : « *Recherche de zones à fort potentiel de naturalité au sein des forêts présumées anciennes de Nouvelle-Aquitaine* » et le deuxième par le CBNSA : « *Localisation de vieilles forêts potentielles en Nouvelle-Aquitaine. Enquête participative, sélection de ZNIEFF et convergence d'informations géolocalisées* ».

Définitions :

Les **forêts anciennes** correspondent à des boisements n'ayant pas connu de défrichement¹ depuis la période de minimum forestier vers 1850. Les cartes d'état-major constituent la référence pour la surface forestière de cette époque. Les **forêts à forte maturité biologique** rassemblent quant à elles les attributs suivants :

- un grand nombre d'arbres ayant dépassé leur diamètre d'exploitabilité ;
- du bois mort au sol et sur pied ;
- une diversité de stades de décomposition du bois mort ;
- une diversité de dendromicrohabitats (étroitement corrélée aux caractéristiques précédentes).

Forêts anciennes et matures ne sont pas synonymes. Des forêts anciennes régulièrement exploitées au cours du dernier siècle ne présenteront pas de peuplements matures. A l'inverse, des forêts inexistantes au XIX^e siècle, mais ayant fait l'objet de peu d'interventions sylvicoles, peuvent abriter des arbres de gros diamètre et d'importants volumes de bois mort. Elles ont alors une forte maturité biologique mais ne sont pas anciennes.

Les forêts qui sont à la fois **anciennes et à forte maturité biologique** sont appelées des « **vieilles forêts** ». Ce terme peut être rapproché de ceux de « forêt subnaturelle » et « forêt à caractère naturel ».

La naturalité intègre de nombreux paramètres, en grande partie couverts par les notions d'ancienneté, de forte maturité biologique (induisant un faible ou très faible niveau de gestion) et d'indigénat des essences, en ce qui concerne les écosystèmes forestiers. Dans cette étude, ces notions

¹ Changement d'occupation des terres pour un usage agricole par exemple.

sont rassemblées sous les termes de « vieilles forêts » qui présentent par conséquent un « fort potentiel de naturalité ».

Objets du présent rapport

Pour rappel, ce rapport étudie différentes méthodes de caractérisation des vieilles forêts. Dans une **première partie**, un **protocole de caractérisation des vieilles forêts** est proposé, dont l'objectif principal est de définir le niveau de maturité forestière spécifique aux vieilles forêts de Nouvelle-Aquitaine. Les résultats de la mise en œuvre de ce protocole permettront, dans un second temps, de développer des outils de diagnostic à destination des gestionnaires. En **deuxième partie** de rapport, trois synthèses sont proposées, concernant toutes des **indicateurs d'ancienneté ou de maturité forestière par les espèces** présentes dans le boisement. Elles concernent d'abord la **flore vasculaire**, puis les **lichens** et enfin les **bryophytes**. Ces synthèses sont des revues de littérature scientifique, concluant sur la faisabilité d'indicateurs et la démarche qui serait à entreprendre pour les construire.

PROTOCOLE DE CARACTERISATION DES VIEILLES FORETS DE NOUVELLE-AQUITAINE

Note introductive

Ce protocole est inspiré de celui développé dans le Massif Central par le CBNMC : « Peuplements biologiquement matures et vieilles forêts du Massif Central », méthodologie et notice de la fiche de relevé dans (Renaux et al., 2019). Ce protocole était celui répondant de la manière la plus rigoureuse aux objectifs du programme cadre de ce rapport. L'harmonisation des méthodologies employées entre CBN était également un point important à prendre en compte. Des adaptations du protocole à certains types de données récoltées et aux utilisateurs visés ont toutefois été faites, relatives aux spécificités du territoire d'étude.

La définition du protocole présenté dans cette synthèse a également visé une compatibilité maximale avec les autres protocoles permettant d'étudier les forêts à forte naturalité. Cette compatibilité est présentée en partie V.

I. Objectifs et cadre d'utilisation du protocole

Thèmes/mots clés : forêt, naturalité, maturité, ancienneté, indigénat, empreinte humaine.

Territoire d'application : Nouvelle-Aquitaine.

Remarque : Dans le département des Pyrénées-Atlantiques, une démarche similaire est déjà en cours, pilotée par le CEN-Nouvelle-Aquitaine. Elle vise à poursuivre les travaux de Gouix et al. (2019) et Savoie et al. (2015) sur la partie occitane du massif pyrénéen et de la plaine adjacente. Le protocole utilisé dans ce département ne sera pas tout à fait le même que sur le reste de la Nouvelle-Aquitaine, mais il est compatible avec celui présenté dans ce document, sous réserve d'un échantillonnage assurant une bonne représentativité des résultats.

Objectif

Ce protocole est un **inventaire** de terrain, dont l'objectif est de récolter des données permettant de **définir le niveau de maturité forestière qui caractérise les vieilles forêts en Nouvelle-Aquitaine** (après confirmation de leur ancienneté).

Ce protocole n'a pas pour objectif de cartographier de manière exhaustive les vieilles forêts de Nouvelle-Aquitaine, ni d'en caractériser la biodiversité potentielle. En revanche, la détermination des seuils dendrométriques permettra de **calibrer des outils de diagnostic utiles à l'ensemble du monde naturaliste et forestier**. Par ailleurs, les données récoltées grâce à ce protocole seront suffisamment précises pour **alimenter de futurs modèles de télédétection** des boisements à forte maturité biologique.

Utilisateurs

D'autres experts pourront être mobilisés pour le déploiement de cet inventaire, en plus des agents du CBNSA. De bonnes connaissances en écologie forestière sont nécessaires et il est fortement conseillé de **suivre une formation délivrée par le CBNSA** pour que ce protocole soit correctement appliqué.

Sujet d'étude

Ce protocole évalue des **forêts anciennes à fort potentiel de maturité biologique**, de **structure** et de **composition homogènes**, sur une **surface minimale de 0.5 ha**.

Seules les phases de vieillissement et de sénescence des forêts sont ciblées. Les peuplements en phase de régénération, de croissance ou même de maturation ne sont pas concernés car pauvres en bois mort de grosse circonférence et en bois vivants de très gros diamètre (arbres ayant dépassé leur diamètre d'exploitabilité).

Le peuplement évalué doit présenter une surface supérieure à 0.5 ha (zone circulaire d'environ 40 m de rayon) car nous considérons qu'en deçà de cette limite l'écosystème forestier ne peut assurer l'ensemble de ses fonctions écologiques et devient donc un objet d'étude d'intérêt moindre. La taille maximale du périmètre d'application est fonction du temps pouvant y être consacré. Il est à noter qu'au-delà de 15 (20) ha, une seule journée ne suffirait pas à atteindre une bonne représentativité des données collectées.

*Remarque : Les cas de grands massifs forestiers anciens et matures sont probablement rares. En effet, la **surface moyenne des forêts anciennes** (n'impliquant pas un stade avancé de maturité) en Nouvelle-Aquitaine est de 9 ha et dans une région voisine, sur la **plaine d'Occitanie**, la surface **moyenne de vieilles forêts** (anciennes et matures) est de **8.3 ha**, la surface **médiane de 3.5 ha**².*

II. Stratégie d'échantillonnage

II.1. Echelle régionale

A l'échelle de la région, suivant le substrat géologique, le climat et les essences qui se développent, les forêts ne présentent pas les mêmes potentialités quant aux dimensions maximales des vieux arbres. Un **plan d'échantillonnage stratifié** doit donc être établi en vue de recouper les **grands compartiments écologiques de la région**, notamment les secteurs présentant des contraintes à la croissance des arbres (au-delà des situations de contraintes très localisées comme les hauts de coteaux ou les marais). Ce plan d'échantillonnage pourra, par exemple, s'appuyer sur un choix de couches cartographiques parmi les suivantes :

- Les sylvoécorégions (IGN) ainsi que la BDForêtV2 (IGN) ;
- Les grandes régions écologiques de Dupias & Rey, 1985 ;

² Données issues de l'étude de Goux et al. (2019).

- Les unités écopaysagères de Nouvelle-Aquitaine³ ;
- Les cartes géologiques (BRGM) ;
- Les cartes pédologiques selon disponibilités ;
- Les cartes d'indices climatiques, comme celle de l'indice de Martonne, combinant températures et précipitations ;
- Les cartes prédictives du niveau d'humidité des sols, combinant des paramètres climatiques et pédologiques (« Zones Humides Potentielles » d'Agrocampus Ouest Rennes, « Zones à dominante humide Adour Garonne » Agence de l'eau Adour Garonne).

Les compartiments écologiques définis seront ensuite croisés avec les **résultats de la phase 2 du programme** (rapports cités en introduction générale), permettant de localiser de potentielles vieilles forêts.

Enfin, l'échantillonnage devra **recouper différents niveaux de maturité forestière**, afin de pouvoir définir les seuils recherchés (illustrés figure 1) à l'issue de la campagne de terrain.

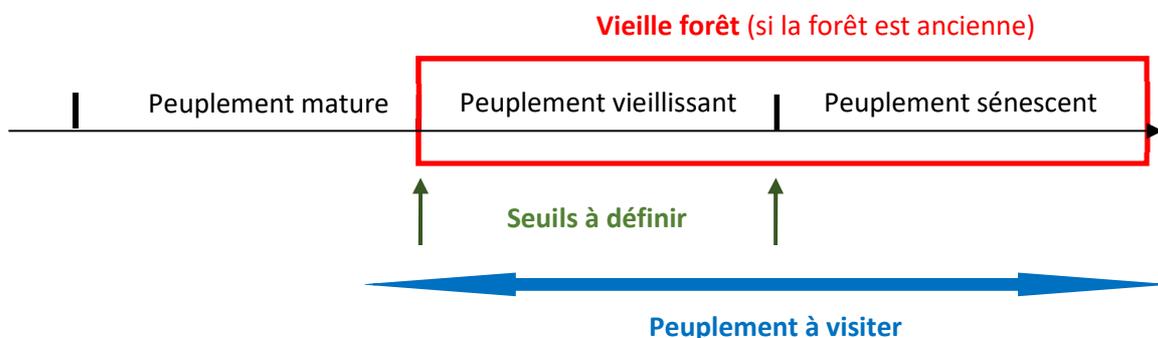


Figure 1 : Seuils de maturité recherchés pour les vieilles forêts

II.2. Echelle du massif forestier

A l'échelle du peuplement à forte maturité, au sein du massif forestier, l'objectif est de récolter des **données précises et exactes**, attribuables à des **surfaces clairement définies**. Cela est nécessaire à la comparaison rigoureuse des sites évalués et à la définition des valeurs exactes de densités. Pour répondre à ces attentes, la délimitation de la zone d'évaluation (secteur de plus grande maturité) suit un protocole précis. Dans la zone d'évaluation, les informations sont lues sur des placettes de petites surfaces, distribuées dans le peuplement suivant un échantillonnage statistique.

La placette : unité d'échantillonnage du peuplement

La **récolte de la donnée s'effectue au sein d'une placette circulaire de 20 m de rayon**, soit sur une surface de 1 257 m². **Si le terrain est en pente, le rayon de la placette doit être adapté** à l'aide d'une table de correspondances disponible dans la notice de fiche terrain (annexe 1 page 9 de la notice, consultable en annexe de ce rapport). Corriger la surface d'observation suivant la pente permet une bonne correspondance entre le système de projection des coordonnées GPS, donc des surfaces calculées sous SIG, avec celles mesurées sur le terrain.

³ Assistance Continuités écologiques, 2018. CAUE Nouvelle-Aquitaine.

Pour les forêts linéaires et étroites (forêts alluviales, forêts d'éboulis), de largeur inférieure à 50 m, des placettes rectangulaires peuvent être réalisées mais doivent conserver une surface équivalente à 1 257 m² (celle de la placette circulaire de 20 m de rayon). Les placettes peuvent faire **25 m de large sur 50 m de long** (50,25 m plus précisément), avec la longueur dans l'axe linéaire du boisement. Si le peuplement est en pente, cette longueur devra encore une fois être corrigée suivant l'abaque de la notice de fiche terrain (annexe 1).

Chaque placette peut être **délimitée à l'aide d'un télémètre** (laser ou à ultrasons type « vertex ») ou avec un ruban décamétrique. Dans ce deuxième cas, la placette doit être matérialisée physiquement (rubans biodégradables ou jalons). L'utilisation du GPS pour délimiter la surface d'une placette est à proscrire car elle engendrerait une imprécision très forte (erreur de localisation de 5 à 10 m en forêt pour un GPS classique de terrain).

Remarque : Les données de surface terrière (par tour d'horizon relascopique) couvrent un rayon plus important, afin de compléter les informations récoltées sur la placette de 20 m de rayon par une donnée plus exacte quant à la densité d'arbres de très gros diamètre dans le peuplement (ces entités sont généralement rares et dispersées). Elles se prennent depuis le centre de la placette de 20 m de rayon. Pour un facteur relascopique $k=1$, un arbre de 67.5 cm de diamètre sera capté jusqu'à 34 m du centre de la placette et un arbre de diamètre 87,5 cm jusqu'à 44 m. Pour un facteur relascopique $k=2$, les valeurs pour les mêmes diamètres sont respectivement de 24 m et de 31 m.

Plan d'échantillonnage du peuplement

Le nombre de placettes de lecture est fonction de la surface de forêt mature à inventorier. L'échantillonnage du peuplement se prépare au bureau (étapes 1 et 2 ci-dessous) et ces préparatifs doivent être embarqués sur le terrain (étapes 3 et 4). Sur place, la présence d'attributs de maturité conditionnera la réalisation ou non d'une placette pré-localisée au bureau (étape 5). Cette méthode d'échantillonnage permet de **ne pas choisir la localisation des placettes** et de **détourner la zone à inventorier de manière constante**.

- **Etape 1 « pré-délimitation de la zone à inventorier »** : dessiner un polygone autour du secteur où le peuplement semble le plus mature, à l'aide d'orthophotographies aériennes actuelles et passées (1950-1965).



Figure 2 : Exemple de peuplement mature à inventorier, photo aérienne actuelle

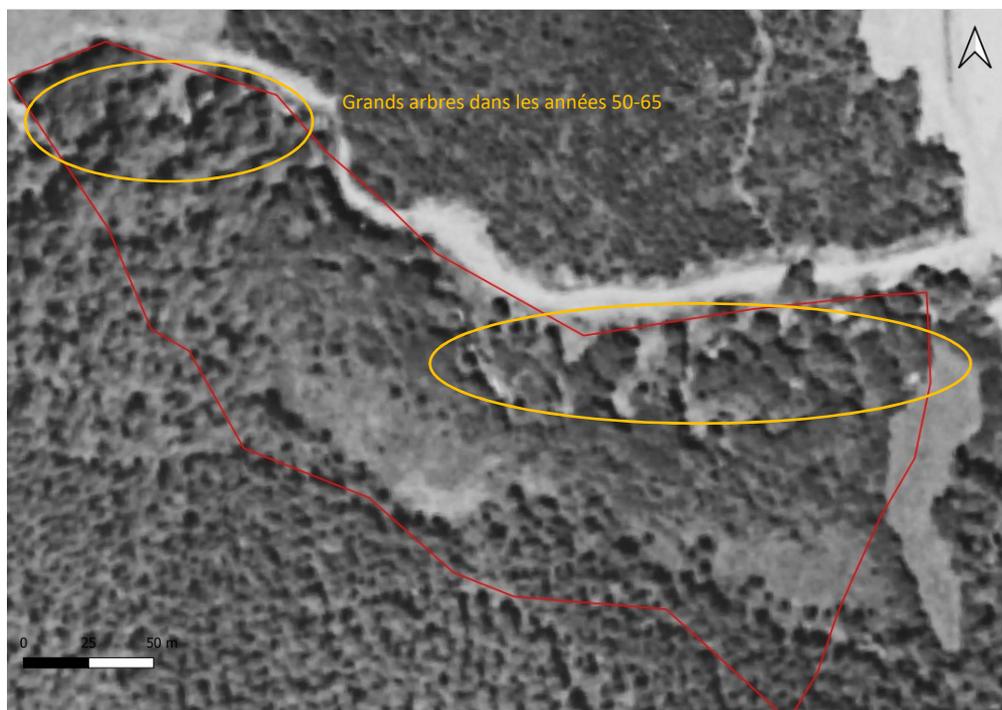


Figure 3 : Exemple de peuplement mature à inventorier, photo aérienne des années 1950-65

- **Etape 2 « pré-localisation des placettes suivant un échantillonnage statistique »** : les placettes (20 m de rayon) sont placées suivant un **échantillonnage systématique**, à l'aide

d'une grille de mailles de 1 ha (100x100 m) et le positionnement des placettes au centre des mailles.

La **pression d'échantillonnage** envisagée est de **1 placette/ha** pour un polygone de 2 ha ou plus, de 2 placettes/ha pour un polygone plus petit.

Remarque : La pression d'échantillonnage (ici d'au moins 12 %), reste à consolider au cours de la première année d'application du protocole.

- **Etape 3 « outil GPS »** : charger les placettes pré-localisées et le polygone dans le GPS.
- **Etape 4 « outil cartes imprimées »** : les cartes à emporter sur le terrain doivent comporter :
 - le polygone à échantillonner sur fond de photographie aérienne ;
 - les placettes à inventorier ;
 - la grille de mailles de 1 ha (100x100 m) si utilisée.
- **Etape 5 « critère conditionnant la réalisation d'une placette et délimitation plus fine de la zone de maturité »** : sur site, les données seront collectées dans les placettes pré-localisées si **au moins 1 Très Gros Bois vivant⁴** (ou Très Très Gros Bois) **OU 1 Gros Bois mort debout** est observé lors d'un **tour d'horizon relascopique** depuis le centre de la placette, **OU si 1 Gros bois mort au sol** est présent sur la **placette de 20 m de rayon**. En dessous de ces seuils minimaux, la maille est barrée sur la carte imprimée et le contour du polygone devra être redessiné au bureau afin d'avoir une délimitation plus précise de la zone à forte maturité.

La méthode d'échantillonnage présentée ci-dessus est la plus rigoureuse d'un point de vue statistique. Toutefois, si le terrain est très accidenté, ou si aucune placette préciblée ne remplit les critères de l'étape 5 (ci-dessus), il existe d'autres manières d'échantillonner un peuplement :

- **Zone représentative** :
Si l'implantation d'une placette est choisie sur le terrain dans une zone « jugée représentative », il s'agit d'une implantation « **orientée typique** ». Cette manière de procéder n'est pas garante de la représentativité du polygone détourné sous SIG et la pression d'échantillonnage doit rester la même (1 placette / ha).
- **Maximum de maturité** :
Si l'objectif est d'identifier le maximum de maturité observable au sein du polygone, la placette sera implantée dans le secteur jugé le plus mature (au-delà des critères minimaux requis pour réaliser une placette). Les caractéristiques de la placette ne pourront pas être utilisées pour caractériser le polygone dans son ensemble.
- **Contraintes** :
Si la réalisation d'une placette pré-localisée par échantillonnage systématique est contrainte pour des raisons matérielles (difficultés d'accès à l'ensemble du polygone, contraintes de temps...), il est possible de procéder à un choix opportuniste. Ici encore, cette manière de procéder n'est pas garante de la représentativité du polygone détourné sous SIG et la pression d'échantillonnage doit rester la même (1 placette / ha).

⁴ Les diamètres seuils des TGB, TTGB et GB morts sont déclinés dans la fiche terrain figure 4 ainsi que dans l'annexe de ce rapport, correspondant à la notice méthodologique de la fiche terrain.

Si l'une de ces méthodes d'échantillonnage est utilisée, elle devra être **signalée sur la fiche de relevé** propre à la placette. Attention, ces méthodes sont à éviter dans la mesure du possible car elles ne pourront donner lieu à des analyses statistiques robustes. Les massifs forestiers inventoriés de cette manière seront peu comparables aux massifs inventoriés suivant l'échantillonnage systématique décrit précédemment.

Cas particulier des peuplements matures de grande surface :

La méthode d'échantillonnage et la surface de placette utilisées permettent difficilement d'évaluer des peuplements à forte maturité couvrant plus de 15 ou 20 ha d'un seul tenant (cas probablement très rares mais à envisager). Il est alors proposé d'évaluer une partie du massif seulement (via la méthode précédemment décrite) et de mener une démarche complémentaire, visant à circonscrire la surface totale du peuplement mature et à annoter certains critères dendrométriques, sans matérialisation de placettes, à l'aide du bordereau spécifique (annexe 7 de la notice de fiche terrain, consultable en annexe de ce rapport). Il est dans ce cas conseillé d'activer la fonction trace du GPS. La surface évaluée et la surface totale du peuplement mature devront être bien distinguées sous SIG.

Remarque : Au-delà de la précision des données récoltées sur le terrain, la délimitation nette des surfaces de chaque site est une information importante d'un point de vue écologique (plus le secteur à forte maturité sera grand, plus il est fonctionnel pour la biodiversité qui y loge) et peut également servir dans le cadre de problématiques foncières.

III. Phase de terrain

Données collectées sur le terrain et fiche de relevé

Les données collectées sur le terrain sont les suivantes :

1. **Identifiants**, localisation et méthode d'échantillonnage ;
2. Description du **contexte écologique** (topographie, contraintes stationnelles, type de végétation, etc.) ;
3. **Structure et composition** du peuplement : essences présentes, hauteur, mode de gestion, surface terrière des plus hautes classes de diamètre ;
Remarques :
 - La **hauteur** du (ou des) plus gros arbre(s) et les variables liées au **contexte écologique**, permettent d'estimer le niveau de fertilité de la placette. Ces informations, ainsi que le type d'essence, conditionnent le seuil de pré-comptage des très gros bois vivants et du bois mort (voir notations en rouge sur la fiche terrain figure 4 et notice de la fiche terrain en annexe).
 - Les variables de **surface terrière** permettent d'inscrire la placette dans un contexte sylvicole environnant et de mettre en rapport les observations aux variables utilisées dans les inventaires réalisés par les forestiers.
4. Mesure du diamètre de chaque **très gros bois vivant**, avec annotation de l'essence ;
5. Mesure du diamètre de chaque **bois mort de grosse circonférence**, debout et au sol, avec annotation de l'essence ;
6. Le diamètre de chaque très gros bois ou gros bois mort est mesuré, et le nom de l'essence précisé, afin de pouvoir réajuster les seuils de pré-comptage *a posteriori* si nécessaire ;
7. **Stades de saproxylation** observés sur les bois morts ;
8. Indices d'usages passés et actuels observables sur le terrain.

Remarque : Aucune information concernant une biodiversité non-spécifique aux phases de vieillissement et de sénescence du cycle sylvigénétique n'est relevée (milieux associés tels que les milieux ouverts, rocheux, aquatiques, nombre et recouvrement des strates verticales, etc.). Par ailleurs, les dendromicrohabitats (DMH) ne sont pas relevés pour les raisons suivantes :

- Corrélation de certains types de DMH à la quantité de très gros bois et de bois mort (donc un lien peut être fait avec les mesures dendrométriques),
- Certains DMH ne sont pas liés aux phases de vieillissement et de sénescence,
- Le temps de récolte d'une information valorisable du point de vue de la fonctionnalité des DMH (soit l'occurrence de chaque type de DMH) est long et ne servirait pas directement les objectifs du protocole.

Caractérisation des vieilles forêts de Nouvelle-Aquitaine

FICHE DE RELEVÉ

V0, avril 2021

1/2

ID / Localisation	N°rel. : _____ N°polyg. : _____ N° pt GPS : _____ Coord. GPS X = _____ Y = _____
	N°rel associé(s) : _____ Syst. coord : _____
	Lieu-dit : _____ Commune : _____ Dépt : _____
	Date : ____/____/20____ Observateur(s)/organisme(s) : _____
	Echantillonnage : <input type="checkbox"/> statistique <input type="checkbox"/> orienté typique <input type="checkbox"/> maximum maturité <input type="checkbox"/> contrainte
Surface de relevé : <input type="checkbox"/> r=20m <input type="checkbox"/> Autre (correction de pente) : ____m	
Photos : _____	

Pré-analyse	<i>A remplir au bureau</i>
	Ancienneté présumée : <input type="checkbox"/> FA <input type="checkbox"/> FR <input type="checkbox"/> ? Sources : <u>Cassini</u> : <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> partiel ; <u>Etat-Major</u> : <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> partiel ; <u>Orthophotos années 50</u> : <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> partiel ; <u>Autre</u> : <input type="checkbox"/> _____ Maturité présumée : <input type="checkbox"/> Mature dominant <input type="checkbox"/> Mature partiel <input type="checkbox"/> Vieux arbres/ilots isolés <input type="checkbox"/> Inconnu Sources : <input type="checkbox"/> Orthophoto (date(s) : _____) <input type="checkbox"/> Autre (préciser) : _____

Contexte écologique	Altitude (centre placette) : _____ Exposition : _____ Pente : _____°
	Topographie : <input type="checkbox"/> Butte, crête <input type="checkbox"/> Haut de versant <input type="checkbox"/> Milieu de versant <input type="checkbox"/> Bas de versant <input type="checkbox"/> Replat de versant <input type="checkbox"/> Dépression <input type="checkbox"/> Fond de vallon <input type="checkbox"/> Plaine alluviale <input type="checkbox"/> Plateau, cuesta
	Contrainte stationnelle localisée : <input type="checkbox"/> Engorgé <input type="checkbox"/> Tourbe <input type="checkbox"/> Éboulis > 80% <input type="checkbox"/> Blocs/dalle affleurante > 80% <input type="checkbox"/> Xérophile* (coteaux calcaires, haut de versant, sol superficiel, crête, sommet, etc.) <input type="checkbox"/> absente
	Secteurs à contrainte de croissance : <input type="checkbox"/> Dunes atlantiques <input type="checkbox"/> Ré/Oléron/Arvert <input type="checkbox"/> Terres de Groies (et alentours)** <input type="checkbox"/> Serres de l'Agenais (pentes) <input type="checkbox"/> Néracais <input type="checkbox"/> Subalpin <i>Voir carte dans la notice méthodologique</i>
	pH : <input type="checkbox"/> Acidiphile <input type="checkbox"/> Acidicline <input type="checkbox"/> Neutrocline <input type="checkbox"/> Neutrophile <input type="checkbox"/> Basophile
	Humidité : <input type="checkbox"/> Hydrophile <input type="checkbox"/> Hygrophile <input type="checkbox"/> Mésogyrophile <input type="checkbox"/> Mésophile <input type="checkbox"/> Mésoxérophile <input type="checkbox"/> Xérophile
	Trophie : <input type="checkbox"/> Oligotrophile <input type="checkbox"/> Mésotrophile <input type="checkbox"/> Eutrophile <input type="checkbox"/> Hypertrophile
Type végétation : _____	

Peuplement (1/2)	Composition : Espèces d'arbres présentes (toutes strates) : _____
	Essence dominante 1 : _____ Essence dominante 2 : _____
	Hauteur : <input type="checkbox"/> H. mesurée <input type="checkbox"/> H. estimée <i>Mesurer le plus haut parmi les plus gros, 2 mesures si essences codominantes</i> Hauteur, espèce, diamètre : _____ m, _____, _____ cm ; _____ m, _____, _____ cm
	Structure : <input type="checkbox"/> Taillis <input type="checkbox"/> TSF <input type="checkbox"/> FR <input type="checkbox"/> FIR <input type="checkbox"/> Autre : _____ Classe(s) de diamètre les plus représentées (au moins ¼ des tiges) : <input type="checkbox"/> PB <input type="checkbox"/> BM <input type="checkbox"/> GB <input type="checkbox"/> TGB <input type="checkbox"/> TTGB

Voir détails et carte dans la notice méthodologique.

* Coteaux des vallées de la Charente, de la Vienne et en périphérie de Poitiers, de l'estuaire de la Gironde, de l'Entre-Deux-Mers, des vallées de la Garonne, du Lot, de la Dordogne, de la Vézère et leurs affluents, etc.

** Plaines et plateaux de l'Aunis et de l'Angoumois (axe La Rochelle - Saint-Jean-d'Angély - Angoulême) + territoires autour de Saintes.

*** Causses de Daglan, Cubjac/Thenon, Terrason et Martel, Quercy (à l'est > 200 m à l'est de la Dordogne, sud-ouest de la Corrèze et nord-est Lot-et-Garonne; Petites causses et coteaux entre Périgueux et Angoulême.

Caractérisation des vieilles forêts de Nouvelle-Aquitaine

FICHE DE RELEVÉ

V0, avril 2021

2/2

Peuplement (2/2)	K relascope : <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Pente corrigée				
	Surface terrière¹	Total Arbres	Essences		
	GB (47,5 < d ≤ 67,5 cm) <i>si contraintes</i>				
	TGB (67,5 < d ≤ 87,5 cm)				
	TTGB (d > 87,5)				
	Bois morts debout >37,5 cm				
¹ nombre de tiges (somme des « 1 » et des « 0,5 ») avant application coef K et corr. pente					
Vieux arbres	Vivants, Ø > au seuil² Nb : __		esp, Ø ₁₃₀ cm		
² ØSeuil : <input type="checkbox"/> Cas général Ø > 67,5cm <input type="checkbox"/> Secteurs à contrainte de croissance, essences faible dim. Ø > 37,5cm Pour le hêtre à l'étage climatique « plaine et collines », relever à partir de 57,5 cm.					
Bois mort	Debout, Ø > au seuil² Nb: __ G: __m ²		esp, Ø ₁₃₀ cm, stade saproxylique		
Au sol, Ø > au seuil² Nb: __		esp, Ø ₁₃₀ cm, stade saproxylique			
² ØSeuil <input type="checkbox"/> Cas général Ø > 37,5cm <input type="checkbox"/> Secteurs à contrainte de croissance, essences faible dim. Ø > 17,5cm Ne relever que les troncs de plus d'1 m de long. Mesures à 1 m de la base de l'arbre.					
Indices usages actuels et passés	Usages agricoles		Usages forestiers		Autres
	<input type="checkbox"/> Terrasses agricoles <input type="checkbox"/> Ruines <input type="checkbox"/> Murs <input type="checkbox"/> Barbelés <input type="checkbox"/> Têtards <input type="checkbox"/> Arbres plessés <input type="checkbox"/> Arbre rural néoforestier <input type="checkbox"/> Pâturage actuel	<input type="checkbox"/> Souches anciennes (stade sapro 3, 4, 5) <input type="checkbox"/> Souches récentes <input type="checkbox"/> Vieilles cépées <input type="checkbox"/> Vieux tas de bois enstérés <input type="checkbox"/> Pin(s) bouteille <input type="checkbox"/> Charbonnière <input type="checkbox"/> Borne forestière <input type="checkbox"/> Autres traces expl. for. : _____	<input type="checkbox"/> Piste, dist : _____ m <input type="checkbox"/> Sentier, dist: _____ m <input type="checkbox"/> Poste de chasse (ex. : palombière) <input type="checkbox"/> Agrainage, sel, crud NH ₃ <input type="checkbox"/> Dégâts sol (_____) <input type="checkbox"/> Déchets <input type="checkbox"/> Trace incendie <input type="checkbox"/> Autre _____		
Arbre vivant le + vieux : essence _____ Âge : __ ans Souche la + vieille : essence _____ Âge _____ ans					
Remarques	_____				



Figure 4 : Fiche de relevé du protocole de caractérisation des vieilles forêts de Nouvelle-Aquitaine. Une fiche = une placette d'observation.

Notice d'utilisation

Une **notice d'utilisation** accompagne la fiche de relevé. Elle est consultable en annexe de ce rapport. Cette notice apporte principalement les informations suivantes :

- Liste du **matériel** nécessaire ;
- Le détail des informations à renseigner sur la fiche, en particulier :
 - o Principes de la **pré-analyse de l'ancienneté et du niveau de maturité** des polygones ;
 - o Description des **contextes écologiques** ;
 - o Tableau des différents **stades saproxyliques** ;
 - o Reconnaissance des **traces d'usages** passés et actuels.
- Abaques pour **corriger le rayon** de chaque placette en fonction de la pente ;
- Des explications sont également apportées quant à la **mesure des variables** dendrologiques : hauteur des arbres, surfaces terrières, diamètres de pré-comptage, etc.

Temps de lecture par placette et nombre d'opérateurs

20 à 30 minutes sont nécessaires pour lire une placette. Le relevé peut être fait par un seul opérateur mais il est recommandé d'être deux, pour plus de précision et d'efficacité.

IV. Traitement des données issues de la phase de terrain

Définir des seuils dendrométriques

L'analyse des données récoltées sur le terrain aura pour objectif d'établir des seuils dendrométriques caractérisant les vieilles forêts de la région Nouvelle-Aquitaine. Les données seront d'abord **centralisées** sur une interface dédiée de l'Observatoire de la Biodiversité Végétale de Nouvelle-Aquitaine (<https://obv-na.fr>). Elles pourront ensuite être **analysées** suivant des **tests de corrélations** entre variables et une **analyse multivariée**, afin de comprendre quelles variables structurent le jeu de données. Ces étapes seraient un préalable à l'application de **méthodes de partitionnement**, dont le rôle serait de définir des groupes de relevés suivant un gradient de maturité biologique, ce qui donnera lieu à une typologie des forêts inventoriées. Par ailleurs, si le jeu de données obtenu par la (ou les) campagne(s) de terrain est suffisamment important, celui-ci pourra être divisé et analysé par secteur biogéographique (voir partie II. Stratégie d'échantillonnage), afin d'ajuster les seuils à des conditions stationnelles particulières.

Le type de résultats attendus quant aux seuils dendrologiques peut être illustré par les travaux de (Goux et al., 2019) et de (Savoie et al. 2015), respectivement sur la plaine d'Occitanie et le massif pyrénéen, dont voici une partie des résultats :

Figure 6 : « Critère de définition des **vieilles forêts de plaine en Occitanie** », issu de (Goux et al., 2019)

5.2. CRITERES DE DEFINITION RETENUS DES « VIEILLES FORETS » DE PLAINE

Les analyses statistiques débouchent sur une typologie et une hiérarchisation des placettes d'évaluation.

Sont retenues en tant que « vieille forêt » de plaine, l'ensemble des placettes et des sites avec au moins

5 TGB vivants et 6 Bois morts en GB par hectare

Dans cet ensemble de placettes et de sites, la hiérarchisation suivante a été réalisée :

Au moins 2 TTGB, 15 TGB et 10 Bois morts (BM) / ha dont 3 au sol (BMS) et 3 debout (BMD)	→	Vieille forêt de plaine à forte maturité
Au moins 9 TGB et 9 Bois morts (BM) / ha dont 3 au sol (BMS) et 3 debout (BMD)	→	Vieille forêt de plaine à assez forte maturité
Au moins 9 TGB et 9 Bois morts (BM) / ha dont 1 au sol (BMS) et 3 debout (BMD) ou 3 au sol (BMS) et 1 debout (BMD)	→	Vieille forêt de plaine à maturité la plus faible
Au moins 5 TGB et au moins 6 Bois morts (BM) / ha dont 3 au sol (BMS) et 3 debout (BMD)	→	Vieille forêt de plaine à maturité la plus faible
Au moins 5 TGB et au moins 3 Bois morts (BM) / ha	→	Pré-vieille forêt = maturité potentielle de vieille forêt à court terme

Une catégorie pré-vieille forêt a été créée pour traduire des peuplements ne répondant pas actuellement aux critères de définition d'une vieille forêt de plaine, mais ayant un potentiel d'évolution favorable à court terme (quelques dizaines d'années environ) pour les remplir.

Pour la typologie des sites, le même principe que pour les Pyrénées a été adopté (Savoie et al., 2015) : un site est rattaché au type de sa placette d'évaluation la plus mature.

Notons également que pour les Pyrénées de la partie est de la chaîne, les typologies mises au point dans les Pyrénées centrales (Savoie et al., 2015) ont été appliquées aux placettes et aux sites de l'Aude et des Pyrénées-Orientales.

TGB = Très Gros Bois Vivant (TTGB = Très Très Gros Bois Vivant) ; GB = Gros Bois ; BMS = Bois Mort au Sol ; BMD = Bois Mort Debout. Voir diamètres de pré-comptage dans les études.

Figure 5: « Critère de définition des **vieilles sapinières** », issu de (Savoie et al. 2015)

Figure 15. CLE DE DETERMINATION DES TYPES DE PLACETTES DE SAPINIÈRE

0 Au moins une des propositions suivantes vérifiée :

- . au moins 4 TTGB, 30 TGB et 30 bois morts (BM) / ha, Ø du plus gros vivant > 110 cm
- . au moins 4 TTGB, de 20 à 30 TGB et au moins 50 BM / ha, Ø du plus gros vivant > 110 cm 1

0 Aucune des propositions précédente vérifiée 2

1 Absence de souche et de trace d'exploitation, même très ancienne
..... sapinière à très forte maturité, sans trace d'exploitation

1 Présence de souches ou de trace d'exploitation, même très ancienne
..... sapinière à très forte maturité, anciennement exploitée

2 Au moins une des propositions suivantes vérifiée :

- . moins de 4 TTGB, au moins 30 TGB et au moins 30 BM / ha
- . au moins 4 TTGB, au moins 30 TGB et moins de 30 BM / ha
- . au moins de 4 TTGB, moins de 30 TGB et au moins 30 BM / ha 3

2 Aucune des propositions précédente vérifiée 4

3 Absence de souche et de trace d'exploitation, même très ancienne
..... sapinière à forte maturité, sans trace d'exploitation

3 Présence de souches ou de trace d'exploitation, même très ancienne
..... sapinière à forte maturité, anciennement exploitée

4 Au moins une des propositions suivantes vérifiée :

- . au plus 3 TTGB, 15 à 30 TGB et au moins 30 BM / ha
- . au moins 4 TTGB, moins de 15 TGB et au moins 70 BM / ha 5

4 Aucune des propositions précédente vérifiée 6

5 Absence de souche et de trace d'exploitation, même très ancienne
..... sapinière à assez forte maturité, sans trace d'exploitation

5 Présence de souche ou de trace d'exploitation, même très ancienne ; moins de 50 BM / ha
..... sapinière à assez forte maturité, anciennement exploitée

5 Présence de souches ou de trace d'exploitation, même très ancienne ; au moins 50 BM / ha
..... sapinière à forte maturité, anciennement exploitée, à nombreux bois morts

6 Au moins une des propositions suivantes vérifiée :

- . absence de TTGB, de 15 à 20 TGB et au plus 30 BM / ha
- . absence de TTGB, au plus 15 TGB et de 30 à 50 BM / ha
- . au plus 3 TTGB, au plus 15 TGB et moins de 30 BM / ha
- ... et absence de souche et de trace d'exploitation, même très ancienne
..... sapinière à maturité la plus faible, sans trace d'exploitation
- ... et présence de souches ou de trace d'exploitation, même très ancienne
..... sapinière à maturité la plus faible, anciennement exploitée

Autres résultats envisagés :

- Validation des zones biogéographiques pré-identifiées comme contraignantes pour la croissance des arbres (voir annexe 3 de la notice de fiche terrain, consultable en annexe de ce rapport) ;
- Validation de l'abaissement du seuil de pré-comptage des très gros bois de Hêtre en secteur de plaine, où il est en limite d'aire de répartition ; même chose pour les autres essences d'arbres identifiées dans la notice de fiche terrain comme « à croissance lente » (page 6 de l'annexe de ce rapport) ;
- Esquisses de profils écologiques et/ou de profils historiques des vieilles forêts de Nouvelle-Aquitaine.

V. Compatibilités avec d'autres protocoles

D'autres protocoles d'évaluation des milieux forestiers existent en France. Le protocole de caractérisation des vieilles forêts de Nouvelle-Aquitaine a été construit de manière à **assurer une compatibilité maximale avec ces autres protocoles**, dans les cas où les objectifs sont partagés.

De la base de données d'autres protocoles vers celle du CBN Sud-Atlantique :

- **Protocole du CBN Massif Central (CBNMC)** « Peuplements biologiquement matures et vieilles forêts du Massif Central » (Renaux et al., 2019) : compatible sur toutes les données.
- **Vieilles forêts Pyrénéennes (VFP)** « Inventaire et caractérisation des noyaux de « vieilles forêts de plaine » » (Gouix et al., 2019) : compatible sous réserve d'une représentativité suffisante des données quant au peuplement détourné (et ce protocole ne mesure pas la surface terrière des très gros individus).
- **Naturalité WWF** « Evaluer de la Naturalité » (Rossi et Vallauri, 2013) : même situation que pour le protocole VFP.
- **IBP déplafonné**⁵ « Indice de Biodiversité Potentielle » (Emberger et al., 2016) : même situation que pour le protocole VFP.

De la base de données du CBN Sud-Atlantique vers celles d'autres protocoles :

- **OUI-GEF** (Fuhr, Marc et al., 2018 - *Protocole terrain d'identification des forêts matures*) : données compatibles sauf pour le **volume** de bois mort au sol (les longueurs ne sont pas mesurées).
- **Protocole du CBN Massif Central (CBNMC)** : données compatibles sur les **aspects de maturité** (car les seuils de pré-comptage sont similaires), sauf pour la longueur des bois morts qui n'est pas mesurée dans le protocole du CBN Sud-Atlantique. Les données associées plus spécifiquement à la biodiversité (dendromicrohabitats, milieux ouverts, rocheux et aquatiques, recouvrement et nombre de strates verticales) sont également absentes.
- **Vieilles forêts Pyrénéennes (VFP)** : données compatibles sur les aspects de maturité mais non-compatibles sur les aspects liés plus spécifiquement à la biodiversité (voir ci-dessus).
- **IBP** : même situation que pour le protocole Vieilles Forêts Pyrénéennes.

⁵ Déplafonné = comptage exhaustif, sans s'arrêter aux seuils maximaux des différentes notes.

- **Naturalité WWF** : même situation que ci-dessus, à laquelle s'ajoute l'absence des données « âge du peuplement / stades de succession / phases de la sylvigénèse » et « sentiment de naturalité ».
- **Etat de Conservation des habitats forestiers d'intérêt communautaire** (Maciejewski L., 2016, MNHN) : données compatibles sauf pour le « pourcentage de recouvrement de jeune peuplement », le « pourcentage de dégâts au sol » et la « surface totale de l'habitat » (relative à un site Natura 2000).

Protocoles non-compatibles car trop différents :

Protocole de Suivi Dendrologique des Réserves Forestières (PSDRF) et protocole utilisé dans le **Parc National de la Vanoise**. Les seuils de pré-comptage des bois vivants et morts sont plus bas pour ces protocoles et les données à récolter sont globalement plus précises.

VI. Perspectives

A l'avenir, sur la base des résultats de ce premier protocole, un **protocole simplifié** pourra être déployé, **destiné à l'ensemble du monde naturaliste et forestier**, avec pour premier objectif de **cartographier les vieilles forêts de Nouvelle-Aquitaine**, pour deuxième objectif d'estimer **leur biodiversité potentielle**.

Pour cartographier les vieilles forêts de Nouvelle-Aquitaine, la récolte de données sur site doit être rapide et accessible au plus grand nombre. Les données à récolter seront donc plafonnées sur la base des résultats du premier protocole (note d'évaluation maximale à partir d'un certain plafond de valeur, ce qui permettra d'économiser les comptages exhaustifs). Les mesures de diamètre et de hauteur d'arbres seront moins précises (fourchettes de valeurs), tout comme les informations nécessitant une expertise de forestier ou d'écologue.

Concernant la biodiversité forestière, ce deuxième protocole proposera une récolte de **données permettant de calculer l'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP)**. Ces informations viendront alimenter une base de données nationale et européenne, avec des valeurs de biodiversité forestière calibrées sur de vastes territoires.

Bibliographie et échanges professionnels

La production de ce protocole est issue d'une analyse bibliographique fournie et présentée ci-après. Les réflexions ont également été nourries par des échanges avec les rédacteurs et utilisateurs des principaux protocoles utilisés sur la région ou dans des régions limitrophes, visant également à identifier les vieilles forêts.

Entretiens

- Benoit Renaux *Conservatoire Botanique National du Massif Central* (co-auteur du protocole pour évaluer les peuplements biologiquement matures et vieilles forêts du Massif Central) ;
- Laurent Larrieu *INRAE, Centre Régional de la Propriété Forestière d'Occitanie* (co-auteur de l'Indice de Biodiversité Potentielle) ;
- Jean-Marie Savoie *Université de Toulouse, Ecole d'Ingénieurs de Purpan* (co-auteur du protocole sur les Vieilles Forêts Pyrénéennes) ;
- Sylvain Rollet *Parc National des Pyrénées* et Christophe Chauliac *Office National des Forêts*, dans le cadre de tests de protocoles sur le terrain ;
- Marion Guitteny *CEN Haute-Savoie* (adaptation du protocole du programme OUI-GEF (Fuhr et al., 2018), dans les vallées de Chamonix-Mont-Blanc et des Contamines-Montjoie).

Bibliographie

CATTEAU E., DUCHAMP L., GARRIGUE J., GLEIZES L., TOURNIER H., DEBAIVE N., 2017 - *Le patrimoine forestier des réserves naturelles. Focus sur les forêts à caractère naturel*. Cahier RNF n°7, Nov. 2017. 104 p.

DUPIAS G. et REY P., 1985 - *Document pour un zonage des régions phyto-écologiques*. Centre d'Ecologie des Ressources Renouvelables de Toulouse. 50 p. + cartes de France Nord et Sud.

EMBERGER C., LARRIEU L., GONIN P., 2016 – *Dix facteurs clés pour la diversité des espèces en forêt. Comprendre l'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP)*. Paris : CNPF-IDF, Déc. 2016, 58 p.

FUHR, Marc *et al.*, 2018 - *Protocole terrain d'identification des forêts matures* [en ligne]. Projet PSDR OUI-GEF, Rhône Alpes, Série Focus PSDR4. Disponible à l'adresse : https://www.psdrra.fr/content/download/3647/36151/version/1/file/OUIGEF_Focus_For%C3%AAts%20Matures.pdf

France Nature Environnement AURA, 2019 - *Préserver et restaurer les ripisylves : un enjeu de biodiversité. Rapport d'étape sur l'Indice de Biodiversité et de Connectivité des Ripisylves (IBCR)* [en ligne]. AERMC, CNR, DRAAF Auvergne-Rhône-Alpes, Région Auvergne-Rhône-Alpes, DREAL Auvergne-Rhône-Alpes. 59p. Disponible à l'adresse : https://www.fne-aura.org/uploads/2020/08/bilan_ripisylves20190819.pdf

GOUIX N. et SAVOIE J.M. (coordinateurs), BOUTELOUP R., CORRIOL G., CUYPERS T., HANNOIRE C., INFANTE SANCHEZ M., MAILLE S. et MARC D., 2019 - *Inventaire et caractérisation des noyaux de « vieilles forêts de plaine »*. Pour une continuité de la trame forestière entre Pyrénées et Massif-Central. Rapport final. Toulouse : Conservatoire d'espaces naturels Midi-Pyrénées / Ecole d'ingénieurs de Purpan. 64 p. + annexes.

LADET A. et BAUVET C., 2011 - *Inventaire des vieilles forêts de montagne dans le département de l'Ardèche. Mise au point de la méthodologie et inventaire préliminaire*. Fédération Rhône-Alpes de la Protection de la Nature (FRAPNA) section Ardèche. 105p.

LIBIS Elsa, 2011 - *Inventaire et caractérisation des forêts à caractère naturel de l'espace Vanoise*. Rapport de stage. Parc National de la Vanoise, Office National des forêts, AgroParisTech Nancy. 130p.

MACIEJEWSKI L., 2016 - *État de conservation des habitats forestiers d'intérêt communautaire, Evaluation à l'échelle du site Natura 2000, Version 2. Tome 2 : Guide d'application*. Mars 2016. Rapport SPN 2016-75. Paris : Service du patrimoine naturel, Muséum national d'Histoire naturelle. 62 p. Disponible à l'adresse : https://inpn.mnhn.fr/docs/N2000_EC/Eval_EC_habitats_forestiers_version2_MNHN-SPN_2016.zip

MIKOLÁŠ M., UJHÁZY K., JASÍK M., WIEZIKC M., GALLAY I., POLÁK P., VYSOKÝ J., ČILIAK M., MEIGS G.W., SVOBODA M., TROTSIUK V., KEETON W.S., 2019 - Primary forest distribution and representation in a Central European landscape: results of a large-scale field-based census [en ligne]. *Forest ecology and management*, vol. 449, octobre 2019, 117466. Disponible à l'adresse: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117466>

Natura 2000 : Dispositif favorisant le développement de bois sénescents. Contractualisation îlots de sénescence (dans différents départements).

NIVET C., BONHEME I., PEYRON J-L., 2012 - *Les indicateurs de biodiversité forestière. Synthèse des réflexions issues du programme de recherche « Biodiversité, gestion forestière et politiques publiques »*. Paris : Gip Ecofor-MEDDE. 144 p.

Notice pour la mise en place et la saisie des données du Protocole de Suivi Dendrométrique des Réserves Forestières (PSDRF). 2012. Réserves Naturelles de France, IRSTEA, AgroParisTech, Office National des Forêts.

RENAUX B. et LATHUILLERE L., 2016 - *Structure des arbres et peuplements, maturité et ancienneté*. Conservatoire Botanique national du Massif Central et Office National des Forêts (Agence montagnes d'Auvergne). 22 p. Disponible à l'adresse : <https://projets.cbnmc.fr/forets/actions/boite-outils-identifier-caracteriser/structure-peuplements-matures>

RENAUX B., LATHUILLERE L., BONNEVIALLE M., 2019 - *Peuplements biologiquement matures et vieilles forêts du Massif Central. Méthodologie et notice de la fiche de relevé*. Conservatoire Botanique Massif central. 20p.

ROSSI M., VALLAURI D., 2013 - *Evaluer la naturalité. Guide pratique, version 1.2*. Marseille : WWF. 154 p.

SAVOIE J.M. (coordinateur), BARTOLI M., BLANC F., BRIN A., BRUSTEL H., CATEAU E., CORRIOL G., DEJEAN S., GOUIX N., HANNOIRE C., INFANTE SANCHEZ M., LARRIEU L., MARCILLAUD Y., VALLADARES L., VICTOIRE C., 2015 - *Vieilles forêts pyrénéennes de Midi-Pyrénées. Deuxième phase. Evaluation et cartographie des sites. Recommandations*. Rapport final. Toulouse : Ecole d'ingénieurs de Purpan/DREAL Midi-Pyrénées. 125 p.

THOMPSON L., 2020 - *Modélisation de la distribution des forêts matures en France métropolitaine*. Rapport de stage. INRAE Grenoble, Université de Rennes 1, Agrocampus Ouest. 47 p.

UICN France, 2014 - *La Liste rouge des écosystèmes en France – Habitats forestiers de France métropolitaine*, Bilan de l'exercice d'application et préconisations. Paris: UICN. 23p.

WHITMAN A. A., HAGAN J. M., 2007 - An index to identify late-successional forest in temperate and boreal zones. Manomet Center for Conservation Sciences (Brunswick USA). *Forest Ecology and Management*, vol. 246 (2-3), pp. 144-154, doi: 10.1016/j.foreco.2007.03.004.

CONSTRUIRE UN INDICATEUR DE FORETS ANCIENNES PAR LA FLORE VASCULAIRE

Rédaction : Anna Hover

Introduction

Au travers d'une revue bibliographique, cette synthèse rassemble les principales étapes nécessaires à l'identification d'une flore vasculaire caractéristique de l'ancienneté forestière, ainsi qu'à la construction d'indicateurs permettant d'exploiter ces listes, au regard de l'ensemble du cortège floristique d'une forêt.

La première partie développe les raisons pour lesquelles la flore vasculaire peut être un bon témoin de l'ancienneté forestière (s'affranchissant du degré de maturité du peuplement) et dresse le profil écologique des espèces caractéristiques. La deuxième partie rassemble les principales listes d'espèces élaborées à l'échelle européenne, nationale ou dans des régions proches de la Nouvelle-Aquitaine. Elle fait également état des biais potentiels dans l'élaboration des listes, avant de développer la construction d'indicateurs. La troisième et dernière partie résume l'ensemble des éléments méthodologiques mentionnés dans la bibliographique, *via* la définition d'étapes nécessaires à l'élaboration de listes d'espèces caractéristiques en Nouvelle-Aquitaine puis d'un indicateur, avec définition de seuils d'interprétation et d'un niveau de fiabilité.

Cette synthèse met en évidence la complexité de construction de cet outil de diagnostic, qui nécessite de s'appuyer sur des bases de données importantes ou d'élaborer un protocole très spécifique de récolte de données sur le terrain. La démarche est sujette à de nombreux biais potentiels et un partenariat avec un laboratoire de recherche serait probablement à engager pour assurer la fiabilité des résultats.

I. La flore vasculaire comme témoin de l'ancienneté forestière

La flore vasculaire peut témoigner de l'ancienneté des forêts, dans la mesure où elle répond à la composition chimique du sol (mémoire d'éventuels usages agricoles passés) et non uniquement au stade de maturité du peuplement et à l'ambiance forestière. C'est ce qui la différencie des groupes taxonomiques plus mobiles, ou bien se développant sur les vieux arbres et le bois mort. A cela s'ajoute le fait que certaines plantes forestières sont très sensibles à la fragmentation de leur habitat (Hermey M. & Verheyen K., 2007) en raison de leur faible capacité à coloniser de nouveaux milieux. **Il existerait donc un cortège de plantes vasculaires plus fréquent en forêts anciennes qu'en forêts récentes, tous niveaux de maturité confondus.**

Deux mécanismes sont à l'origine de ce phénomène selon Philippe Janssen (Janssen P., 2016) : la limite de dispersion et la limite de recrutement. La **limite de dispersion** est liée au mode de colonisation lent de nombreuses espèces de forêts anciennes, qui est dû à trois facteurs principaux : une faible fécondité (faible production de diaspores), un âge de première reproduction avancé et une capacité de dispersion limitée (barochorie, myrmécochorie). La vitesse de propagation des espèces de

forêts anciennes est estimée entre 3 et 11.5 m par an (Bergès L. & Dupouey J-L., 2017). A ces traits biologiques, s'ajoute le contexte paysager et en particulier la fragmentation des massifs forestiers qui accentue la limite de dispersion. La **limite de recrutement** (ajout de nouveaux individus à la population d'une espèce) est également à mettre en lien avec la faible banque de graines produites par les espèces de forêts anciennes, limitant les possibilités de recrutement lorsqu'une perturbation ouvre la canopée (Bergès L. & Dupouey J-L., 2017). Le phénomène est amplifié par la « dépression de consanguinité », consécutive du faible nombre d'individus susceptibles de fonder une population dans une nouvelle forêt (Vellend M., 2004). Enfin, les modifications persistantes des propriétés des sols qui sont liées à un défrichement et une mise en culture, entraînent une différence de qualité d'habitat entre forêts anciennes et récentes, ainsi qu'une présence accrue d'espèces plus compétitives en forêt récente (Janssen P., 2016).

Un **profil écologique** se dessine pour la flore vasculaire des forêts anciennes : espèces sciaphiles ou hygrosciaphiles, dryades, géophytes, hémicryptophytes à rhizome, stolonifères ou à tubercules, espèces à mycorhizes, espèces parasites non chlorophylliennes, espèces barochores ou myrméchochores, etc. (Bartoli et al., 2011). Cette flore serait également plus **tolérante au stress** (faible luminosité notamment), **plus acidiphile et moins exigeante en azote** que les espèces de forêts récentes (Bergès L. & Dupouey J-L., 2017). Ce profil écologique constituerait le dénominateur commun de l'ensemble des espèces de forêts anciennes (Hermy *et al.*, 1999), bien que les cortèges diffèrent selon le secteur biogéographique, les changements de conditions environnementales, la composition paysagère et l'occupation passée du sol. A l'inverse, la flore vasculaire fidèle aux forêts récentes serait composée d'espèces rudérales ou pionnières, compétitives et peu tolérantes au stress.

II. Synthèse bibliographique : constitution de listes d'espèces caractéristiques, risques de biais et production d'indicateurs

Plusieurs études européennes ont cherché à constituer des **listes d'espèces caractéristiques** de forêts anciennes. Le principe de ces études est soit de produire une revue littéraire compilant les recherches existantes, soit d'analyser des données d'inventaires floristiques, suivant la localisation des relevés en forêt récente ou en forêt ancienne (ancienneté déduite d'un croisement de la couverture forestière actuelle avec des cartes historiques). Le jeu de données peut être issu d'un dispositif expérimental spécifique ou d'importantes bases de données nationales ou régionales. Les conditions environnementales (structure et composition du peuplement, climat, sol) sont souvent incluses dans les analyses en tant que **covariables** susceptibles d'influencer les résultats. La prise en compte de covariables est importante car la production de listes d'espèces est sujette à de nombreux biais, liés aux particularités d'un territoire.

Une fois constituées, l'utilisation d'une ou de plusieurs listes d'espèces implique la **construction d'un indicateur**, afin d'évaluer l'ensemble du cortège floristique d'une forêt et de poser un diagnostic. En effet, si les espèces liées aux forêts anciennes sont significativement moins fréquentes en forêt récente, elles n'en sont pas systématiquement absentes. **Le type d'indicateur dépend du jeu de données et des objectifs du diagnostic**. Il est également nécessaire de fixer des **seuils d'interprétation** et d'estimer un **niveau de fiabilité** des résultats.

Au travers d'une revue bibliographique, cette partie présente les principales listes d'espèces caractéristiques de forêts anciennes utilisées à l'échelle européenne, nationale ou dans des régions voisines. Une synthèse des biais potentiels évoqués dans les publications est ensuite proposée, avant de présenter les différents objectifs d'exploitation de ces listes, notamment par l'usage d'indicateurs permettant d'interpréter l'ensemble du cortège floristique d'une forêt.

II.1. Synthèse des études et listes produites

Principales études sur la flore vasculaire indicatrice de l'ancienneté forestière

Le tableau 1 présente une **sélection d'études scientifiques** portant sur les liens entre la flore vasculaire et l'ancienneté forestière. Ces études ont été sélectionnées, soit car elles sont citées comme **références dans plusieurs travaux français** sur la thématique, soit car elles concernent des **secteurs géographiques proches de la Nouvelle-Aquitaine**.

Tableau 1 : Synthèse bibliographique sur les liens entre flore vasculaire et forêts anciennes

Auteur, date	Territoire d'étude	Type de forêts étudiées	Principe	Résultats / listes d'espèces
Travaux nationaux ou européens				
Hermy et al., 1999	Europe (Allemagne, Belgique, Danemark, Grande-Bretagne, Pays-Bas, Pologne, Suède et Tchéquie), pays nord de la latitude de Paris.	Forêts anciennes/récentes , forêts de feuillus	Exploitation de 22 publications afin d'établir une liste de 132 espèces de forêts anciennes.	Liste de 132 espèces de forêts anciennes sur 8 pays européens. Grandes variations d'un pays à l'autre mais même « profil écologique » dépeint dans la publication. Indication du mode de dispersion des diaspores pour chaque espèce de la liste.
Dupouey et al., 2002	Europe de l'ouest (plus particulièrement) France métropolitaine hors domaine méditerranéen	Forêts anciennes/récentes (tous types de forêts)	Revue de littérature scientifique sur le rôle de l'ancienneté de l'état boisé dans la composition du cortège végétal.	Liste de 105 espèces liées à l' ancienneté de l'état boisé .
Hermy M., Verheyen K., 2007.	Nord-est de l' Amérique du nord , et du nord-ouest de l'Europe .	Forêts anciennes/récentes , forêts de feuillus	Analyse d'études depuis les années 1950 et calcul d'un « indice de capacité de colonisation » (CCI, allant de -100 à +100) par espèce, relatif au nombre d'études dans lesquelles chaque espèce est citée comme significativement plus fréquente en forêt anciennes, ou plus fréquente en forêt récente. Les acteurs étudient également les causes à l'origine de la faible capacité de colonisation des forêts récentes par les espèces retenues.	24 espèces herbacées européennes fortement liées aux forêts anciennes (CCI < - 59). Les autres espèces, avec valeur du CCI, ne sont pas visibles dans la publication.

Auteur, date	Territoire d'étude	Type de forêts étudiées	Principe	Résultats / listes d'espèces
Bergès et al., 2016	Moitié nord de la France (Nord-Pas-de-Calais, Lorraine, centre du Bassin parisien)	Forêts anciennes (tous types de forêts tempérées).	Régressions logistiques sur 181 espèces (issues de Hermy <i>et al.</i> (1999) et Dupouey <i>et al.</i> (2002)) pour étudier leur réponse à : l'ancienneté forestière, la distance à la lisière actuelle, la distance à la lisière de l'année 1831. Etude de l'influence des paramètres sol, climat et structure/composition du peuplement. Utilisation des données de l'Inventaire Forestier National.	Le paysage passé et le processus de colonisation expliquent le gradient lisière/cœur des communautés de plantes de sous-bois. Identifications des espèces dont la présence est significativement plus expliquée par le paysage ancien, par la distance à la lisière actuelle ou à la lisière passée. Identification d'espèces dont la présence est surtout expliquée par les variables environnementales actuelles et non par les variables historiques et paysagères. La liste d'espèces dont la présence est significativement expliquée par la continuité temporelle est en annexe de l'étude, mais sans possibilité de savoir si les espèces sont plus fréquentes en forêt ancienne ou en forêt récente.
Bergès L., Dupouey J-L, 2017 (RFF)	Europe, hors climat méditerranéen	Forêts anciennes/récentes (tous types de forêts tempérées).	Revue de littérature : influence de la continuité forestière sur le cortège floristique ; caractéristiques écologiques des espèces (flore vasculaire) de forêts anciennes VS récentes ; lien avec la biochimie du sol ; analyses paysagères ; quelques éléments sur les autres groupes taxonomiques indicateurs de l'ancienneté ; etc.	Les listes d'espèces de forêts anciennes sont variables selon les secteurs géographiques. Cela dépend des traits de vie des plantes, des pool régionaux d'espèces, du degré de fragmentation forestière, de l'historique de l'occupation forestière du sol, de l'ampleur des différences abiotiques entre forêts récentes et forêts anciennes.
Travaux régionaux proches de Nouvelle-Aquitaine				
Bartoli et al., 2011	Pyrénées centrales	Forêts anciennes ET matures . Forêts montagnardes à subalpines (sapinières, hêtraies, hêtraies-chênaies)	10 sites d'étude, relevés floristiques de 600 m ² . Calculs de la proportion d'espèces indicatrices de forêts anciennes sur le nombre d'espèces total. Interprétés comme témoins de l'état de conservation du couvert forestier dans le temps.	Liste de 78 espèces liées aux forêts anciennes. Liste inspirée de (Dupouey <i>et al.</i> , 2002), adaptée aux Pyrénées centrales sur la base du dire d'experts. <u>Limites</u> : nombre limité de sites d'étude, absence d'analyses statistiques, absence de forêts récentes dans le jeu de données.
Janssen P., 2016 (thèse)	Préalpes françaises (Vercors, Chartreuses, Bauges).	Forêts anciennes/récentes ; matures/peu matures . Hêtraies-sapinières montagnardes , mésophiles et neutrophiles (<i>Fagion sylvaticae</i>).	Dispositif d'étude de 70 sites croisant forêts anciennes ou récentes avec des peuplement peu matures ou très matures. Quatre groupes taxinomiques inventoriés : flore vasculaire, coléoptères, collemboles, macrolichens épiphytes.	La présence des espèces est avant tout expliquée par la maturité du peuplement, plutôt que par l'ancienneté. Ce résultat est très dépendant du contexte écologique, paysager et historique des forêts de montagne, pour lesquelles la continuité spatio-temporelle est plus importante qu'à des altitudes inférieures et où la gestion forestière et (et a été) plus extensive.
Malzieu L., Renaux B., 2017	France, Massif central	Forêts anciennes/récentes ,	Analyse de 3 632 relevés phytosociologiques forestiers en FA et FR, avec une analyse distincte selon le contexte écologique (c'est-à-dire par alliance phytosociologique). Bases de données Chloris (système de gestion de données du CBN Massif Central). Données postérieures à 1997.	<ul style="list-style-type: none"> • La composition floristique des relevés varie selon l'ancienneté et le type de forêt ; • La réponse des espèces à l'ancienneté varie selon le contexte ; • Liste d'espèces indicatrices de forêts anciennes (FA) ou de forêts récentes (FR) dans quatre grands types de contextes : Collinéen non-acide, Collinéen acide, Montagnard non-acide, Montagnard acide. Comparaison avec d'autres listes de la bibliographie. Pas de production d'indicateur opérationnel.

Auteur, date	Territoire d'étude	Type de forêts étudiées	Principe	Résultats / listes d'espèces
				<u>Limites</u> : certaines espèces ne sont présentes que dans des contextes écologiques particuliers ; les espèces rares ne sont pas incluses dans l'analyse faute de données suffisantes ; la réaction de certaines espèces à l'ancienneté forestière est différente suivant le contexte écologique (ex. : <i>Galium aparine</i> , espèces de FA en contexte de forêt d'éboulis et espèces de FR en dehors).
Villemey A., Renaux B., 2017	France, Massif central	Forêts anciennes/récentes, hêtraies-chênaies, hêtraies sapinières, forêts humides à bois dur, forêts d'éboulis.	Analyse des relevés d'inventaires flore (et non des relevés phytosociologiques) comparant des fréquences d'espèces entre forêts anciennes et récentes + étude des corrélations avec les facteurs environnementaux. Bases de données du CBN Massif Central, CBN Bassin Parisien, CBN Pyrénées et Midi-Pyrénées et Parc National des Cévennes. Données postérieures à 1990.	Trois listes d'espèces indicatrices adaptées aux trois grands ensembles biogéographiques du Massif central. Construction d'un indicateur « ratio IFA » et définition de seuils + estimation du taux d'erreur. Au total, 62 espèces de forêts anciennes (FA) sur une ou plusieurs des trois régions. 58 espèces de forêts récentes Ratio IFA = (nb sp FA + 1) / (nb sp FR + 1) Indicateur opérationnel, notamment pour le Limousin en contexte atlantique. Résultats insuffisants pour la frange méditerranéenne du Massif central (sud et sud-est, hors Région Nouvelle-Aquitaine). <u>Limites</u> : les espèces trop peu fréquentes ne ressortent pas dans l'analyse, l'absence d'une espèce dans un relevé floristique est considérée comme une absence sur site (or les relevés ne sont pas tous exhaustifs).

Synthèse des listes de flore vasculaire liées aux forêts anciennes

Afin d'avoir un aperçu global des espèces susceptibles d'être liées aux forêts anciennes en France, le tableau 2 rassemble et compare les listes élaborées dans les études citées ci-dessous. Cinq études proposent des listes de plantes vasculaires de forêts anciennes. Celles-ci totalisent 208 espèces, dont 50 apparaissent dans trois des cinq listes. Ces espèces sont signalées en **vert** dans le tableau 2 et regroupées dans le tableau 3.

Etudes concernées :

1	Hermy et al., 1999 (132 espèces, sur 8 pays européens au nord de la latitude de Paris)
2	Hermy et al., 2007 (24 espèces, les plus spécifiques aux forêts anciennes, reprise de la liste de 1999)
3	Dupouey et al., 2002 (105 espèces dans la moitié nord de la France)
4	Bartoli et al., 2011 (78 espèces dans les Pyrénées centrales, étages montagnard à subalpin)
5	Villemey A. et Renaux B., 2017 (62 espèces dans le Massif central)

Espèces liées aux forêts anciennes	1	2	3	4	5	Espèces liées aux forêts anciennes	1	2	3	4	5
<i>Abies alba</i>					X	<i>Circaea x intermedia</i>	X	X			
<i>Acer campestre</i>	X		X			<i>Clematis vitalba</i>	X				
<i>Acer pseudoplatanus</i>			X			<i>Clinopodium grandiflorum</i>					X
<i>Actaea spicata</i>	X		X			<i>Conopodium majus</i>	X	X			
<i>Adenostyles alliariae</i>					X	<i>Convallaria majalis</i>	X		X	X	X
<i>Adoxa moschatellina</i>	X		X			<i>Cornus mas</i>	X				
<i>Ajuga reptans</i>			X		X	<i>Cornus sanguinea</i>	X				
<i>Allium ursinum</i>	X		X	X		<i>Corydalis cava</i>	X	X			
<i>Anemone nemorosa</i>	X	X	X	X	X	<i>Corydalis solida</i>	X				
<i>Anemone ranunculoides</i>	X		X			<i>Corylus avellana</i>	X		X		
<i>Arum italicum</i>			X			<i>Crataegus laevigatae</i>	X		X		
<i>Asarum europaeum</i>	X		X			<i>Dactylis polygama</i>	X				
<i>Asplenium scolopendrium</i>				X		<i>Dactylorhiza fuchsii</i>	X		X		
<i>Athyrium filix-femina</i>	X		X		X	<i>Daphne mezereum</i>	X	X			
<i>Avenella flexuosa</i>					X	<i>Dentaria bulbifera</i>	X				
<i>Berberis vulgaris</i>	X		X			<i>Dentaria glandulosa</i>	X				
<i>Betonica officinalis</i>					X	<i>Deschampsia cespitosa</i>					X
<i>Blechnum spicant</i>				X	X	<i>Digitalis purpurea</i>					X
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	X					<i>Doronicum austriacum</i>					X
<i>Bromus benekenii</i>	X		X			<i>Drymochloa sylvatica (= Festuca alitissima)</i>	X		X	X	
<i>Calamagrostis epigejos</i>			X			<i>Dryopteris carthusiana</i>	X			X	X
<i>Campanula latifolia</i>	X		X			<i>Dryopteris dilatata</i>					X
<i>Campanula trachelium</i>	X		X			<i>Dryopteris filix-mas</i>	X		X	X	
<i>Cardamine amara</i>					X	<i>Elymus caninus</i>	X		X		
<i>Cardamine glandulifera</i>	X					<i>Epilobium duriaei</i>					X
<i>Cardamine heptaphylla</i>				X		<i>Epilobium montanum</i>	X		X	X	
<i>Cardamine pentaphyllos</i>				X		<i>Epipactis purpurata</i>	X		X		
<i>Carex digitata</i>	X		X	X		<i>Equisetum hyemale</i>	X				
<i>Carex flacca</i>					X	<i>Equisetum sylvaticum</i>	X		X		
<i>Carex laevigata</i>	X					<i>Erica cinerea</i>					X
<i>Carex pallescens</i>	X	X	X			<i>Euonymus europaeus</i>	X				
<i>Carex pendula</i>	X	X	X			<i>Euphorbia amygdaloides</i>	X		X	X	X
<i>Carex pilosa</i>	X					<i>Euphorbia dulcis</i>	X	X	X	X	
<i>Carex pilulifera</i>					X	<i>Fagus sylvatica</i>					X
<i>Carex remota</i>	X		X			<i>Festuca gigantea</i>	X		X		
<i>Carex strigosa</i>	X		X			<i>Festuca heterophylla</i>	X		X	X	
<i>Carex sylvatica</i>	X	X	X	X	X	<i>Fragaria vesca</i>				X	
<i>Carpinus betulus</i>					X	<i>Gagea lutea</i>	X		X		
<i>Cephalanthera rubra</i>				X		<i>Gagea spathacea</i>	X		X		
<i>Chrysosplenium alternifolium</i>	X		X			<i>Galanthus nivalis</i>					X
<i>Chrysosplenium oppositifolium</i>	X		X		X	<i>Galium odoratum</i>	X	X		X	X
<i>Circaea alpina</i>	X		X	X	X	<i>Galium rotundifolium</i>					X
<i>Circaea lutetiana</i>	X	X	X			<i>Genista pilosa</i>					X

Tableau 2 : Synthèse des listes d'espèces de flore vasculaire de forêts anciennes dans la bibliographie

Espèces liées aux forêts anciennes	1	2	3	4	5	Espèces liées aux forêts anciennes	1	2	3	4	5
<i>Geranium nodosum</i>				X	X	<i>Melica uniflora</i>	X	X	X	X	X
<i>Geum rivale</i>	X		X			<i>Melittis melisophyllum</i>	X		X		
<i>Goodyera repens</i>				X		<i>Mercurialis perennis</i>	X		X	X	
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	X		X	X	X	<i>Mespilus germanica</i>	X				
<i>Helleborus viridis</i>	X					<i>Milium effusum</i>	X		X	X	X
<i>Hepatica nobilis</i>	X		X	X		<i>Moehringia trinervia</i>				X	
<i>Hieracium fuscocinereum</i>	X					<i>Narcissus pseudonarcissus</i>	X		X		
<i>Hieracium sabaudum</i>	X		X			<i>Neottia nidus-avis</i>	X		X	X	
<i>Hordelymus europaeus</i>	X		X	X		<i>Orchis mascula</i>	X		X		
<i>Hyacinthoides non-scripta</i>	X	X	X			<i>Oreopteris limbosperma</i>				X	
<i>Hypericum androsaemum</i>				X		<i>Orthilia secunda</i>				X	
<i>Hypericum hirsutum</i>	X		X			<i>Oxalis acetosella</i>	X	X	X	X	X
<i>Hypericum montanum</i>	X					<i>Paris quadrifolia</i>	X	X	X	X	
<i>Hypericum pulchrum</i>	X	X	X		X	<i>Phegopteris connectilis</i>				X	
<i>Ilex aquifolium</i>	X			X	X	<i>Phyteuma spicatum</i>	X		X	X	
<i>Impatiens noli-tangere</i>					X	<i>Platanthera chorantha</i>	X		X		
<i>Isopyrum thalictroides</i>	X			X		<i>Poa chaixii</i>				X	
<i>Juncus conglomeratus</i>					X	<i>Poa nemoralis</i>	X		X		
<i>Lamium galeobdolon</i>	X	X	X	X	X	<i>Polygonatum multiflorum</i>	X		X	X	
<i>Lathraea clandestina</i>				X		<i>Polygonatum verticillatum</i>				X	
<i>Lathraea squamaria</i>	X		X			<i>Polystichum aculeatum</i>	X		X	X	
<i>Lathyrus montanus</i>	X		X			<i>Polystichum setiferum</i>				X	
<i>Lathyrus sylvestris</i>		X				<i>Potentilla sterilis</i>	X		X		
<i>Lathyrus vernus</i>	X		X			<i>Prenanthes purpurea</i>				X	X
<i>Lilium martagon</i>	X		X			<i>Primula elatior</i>	X	X	X	X	
<i>Listera cordata</i>				X		<i>Primula vulgaris</i>	X		X		
<i>Listera ovata</i>	X		X			<i>Pteridium aquilinum</i>	X		X		
<i>Lonicera nigra</i>				X	X	<i>Pulmonaria affinis</i>				X	
<i>Lonicera periclymenum</i>	X				X	<i>Pulmonaria officinalis</i>	X		X		
<i>Lonicera xylosteum</i>	X					<i>Pulmonaria obscura</i>	X		X		
<i>Lunaria rediviva</i>				X		<i>Pyrola minor</i>				X	
<i>Luzula forsteri</i>				X		<i>Pyrola rotundifolia</i>				X	
<i>Luzula luzuloides</i>	X		X			<i>Pyrus communis</i>	X		X		
<i>Luzula nivea</i>					X	<i>Quercus ilex</i>					X
<i>Luzula pilosa</i>	X	X	X	X	X	<i>Quercus petraea</i>					X
<i>Luzula sylvatica</i>	X	X	X	X	X	<i>Ranunculus aconitifolius</i>					X
<i>Lysimachia nemorum</i>	X	X	X	X	X	<i>Ranunculus auricomus</i>	X		X		
<i>Lysimachia vulgaris</i>		X				<i>Ranunculus lanuginosus</i>	X	X	X		
<i>Maianthemum bifolium</i>	X		X		X	<i>Ranunculus repens</i>					X
<i>Malus sylvestris</i>	X					<i>Ranunculus tuberosus</i>				X	
<i>Melampyrum nemorosum</i>	X		X			<i>Rhamnus cathartica</i>	X		X		
<i>Melampyrum pratense</i>	X		X			<i>Ribes alpinum</i>				X	
<i>Melica nutans</i>	X		X	X		<i>Rumex arifolius</i>					X

Tableau 2 (suite)

Espèces liées aux forêts anciennes	1	2	3	4	5	Espèces liées aux forêts anciennes	1	2	3	4	5
<i>Ruscus aculeatus</i>	X				X	<i>Tamus communis</i>	X				
<i>Sambucus racemosa</i>					X	<i>Taxus baccata</i>				X	
<i>Sanicula europaea</i>	X		X	X		<i>Thelypteris phegopteris</i>	X				
<i>Saxifraga hirsuta</i>				X		<i>Tilia cordata</i>	X	X		X	
<i>Saxifraga ombrosa</i>				X		<i>Tilia platyphyllos</i>					X
<i>Saxifraga rotundifolia</i>					X	<i>Tilia platyphyllos</i>	X				
<i>Scilla lilio-hyacinthus</i>				X		<i>Ulmus glabra</i>				X	
<i>Scrophularia alpestris</i>				X		<i>Ulmus laevis</i>	X				
<i>Scrophularia nodosa</i>	X		X	X		<i>Ulmus minor</i>	X				
<i>Solidago virgaurea</i>			X			<i>Vaccinium myrtillus</i>	X	X		X	
<i>Sorbus aucuparia</i>					X	<i>Veronica montana</i>	X	X	X	X	
<i>Sorbus torminalis</i>	X		X	X		<i>Veronica urticifolia</i>				X	
<i>Stachys sylvatica</i>	X					<i>Viburnum opulus</i>	X				
<i>Stellaria holostea</i>	X					<i>Vinca minor</i>	X	X			
<i>Stellaria nemorum</i>	X			X	X	<i>Viola mirabilis</i>	X				
<i>Streptopus amplexifolius</i>					X	<i>Viola palustris</i>					X
<i>Succisa pratensis</i>		X	X			<i>Viola reichenbachiana</i>	X	X	X	X	
<i>Symphytum tuberosum</i>	X			X		<i>Viola riviniana</i>			X		

Tableau 2 (fin)

Le tableau 3 ci-dessous rassemble les 50 espèces communes à trois des cinq listes du tableau 2, qui totalisaient à elles cinq 208 espèces. Ces cinquante espèces peuvent constituer une base de départ pour des recherches en Nouvelle-Aquitaine.

<i>Allium ursinum</i>	<i>Lamium galeobdolon</i>
<i>Anemone nemorosa</i>	<i>Luzula pilosa</i>
<i>Athyrium filix-femina</i>	<i>Luzula sylvatica</i>
<i>Carex digitata</i>	<i>Lysimachia nemorum</i>
<i>Carex pallescens</i>	<i>Maianthemum bifolium</i>
<i>Carex pendula</i>	<i>Melica nutans</i>
<i>Carex sylvatica</i>	<i>Melica uniflora</i>
<i>Chrysosplenium oppositifolium</i>	<i>Mercurialis perennis</i>
<i>Circaea alpina</i>	<i>Milium effusum</i>
<i>Circaea lutetiana</i>	<i>Neottia nidus-avis</i>
<i>Convallaria majalis</i>	<i>Oxalis acetosella</i>
<i>Drymochloa sylvatica (=Festuca alitissima)</i>	<i>Paris quadrifolia</i>
<i>Dryopteris carthusiana</i>	<i>Phyteuma spicatum</i>
<i>Dryopteris filix-mas</i>	<i>Polygonatum multiflorum</i>
<i>Epilobium montanum</i>	<i>Polystichum aculeatum</i>
<i>Euphorbia amygdaloides</i>	<i>Primula elatior</i>
<i>Euphorbia dulcis</i>	<i>Ranunculus lanuginosus</i>
<i>Festuca altissima</i>	<i>Sanicula europaea</i>
<i>Galium odoratum</i>	<i>Scrophularia nodosa</i>
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	<i>Sorbus torminalis</i>
<i>Hepatica nobilis</i>	<i>Stellaria nemorum</i>
<i>Hordelymus europaeus</i>	<i>Tilia cordata</i>
<i>Hyacinthoides non-scripta</i>	<i>Vaccinium myrtillus</i>
<i>Hypericum pulchrum</i>	<i>Veronica montana</i>
<i>Ilex aquifolium</i>	<i>Viola reichenbachiana</i>

Tableau 3 : Les 50 espèces de flore vasculaire liées aux forêts anciennes, citées dans au moins 3 études sur 5

Cette rapide analyse est très empirique et parfaitement critiquable, notamment quant au choix des publications, aux territoires concernés et au nombre minimal de trois études sur cinq. Par ailleurs, quelques espèces de la liste sont rares ou absentes de Nouvelle-Aquitaine (source OBV-NA 06/01/2021, données postérieures à 1950) et seront donc à supprimer :

- *Circea alpina* : 4 observations, toutes localisées dans les Pyrénées
- *Melica nutans* : 17 observations localisées dans les Pyrénées et à l'est de la Corrèze
- *Ranunculus lanuginosus* : pas d'observation sur la région.

Méthodes utilisées pour constituer des listes

Si plusieurs listes sont produites grâce aux synthèses de différentes études en Europe occidentale (Hermy *et al.*, 1999 ; Dupouey *et al.*, 2002), d'autres sont plus spécifiques à une région ou un secteur biogéographique, homogènes vis-à-vis du climat et du substrat géologique. Ces listes locales ont pu être établies au **dire d'expert** (Bartoli *et al.*, 2011), ou par des **analyses statistiques** (Villemey A. et Renaux B., 2017 ; Dupouey *et al.* 2014).

Pour le Massif Central, Anne Villemey et Benoît Renaux (Villemey A. & Renaux B., 2017) ont déterminé des listes d'espèces de forêts anciennes et des listes d'espèces de forêts récentes, spécifiques de trois secteurs bioclimatiques du Massif central : secteur continental, atlantique et supra-méditerranéen. La sélection des espèces a été faite grâce à des **modèles linéaires généralisés**, intégrant diverses **co-variables environnementales**.

Sur les Préalpes du Nord (Dupouey *et al.*, 2014), c'est un **indice de fidélité** qui a été calculé, sans intégration de covariables. L'auteur justifie cela par des données restreintes à un **territoire aux caractéristiques pédologiques et climatiques relativement similaires** (Sylvoécocorégion IGN « H10 Préalpes du Nord »), permettant de s'affranchir de covariables environnementales. L'indice est appelé Indice d'Ochiai :

- L'indice d'Ochiai (Cáceres M. de, Font X., Oliva F., 2008, "Assessing species diagnostic value in large data sets: A comparison between phi-coefficient and Ochiai index", Journal of Vegetation Science, vol. 19, 779-788) est calculé comme :

$$I_0 = \sqrt{\frac{n_p \times n_p}{N_p \times n}}$$

avec n_p le nombre de relevés de forêt ancienne (ou récente, dans le second tableau) dans lesquels l'espèce est présente, N_p le nombre de relevés total de forêt ancienne (ou récente) analysés et n le nombre de relevés dans lesquels l'espèce est présente pour l'ensemble du jeu de données (forêts anciennes et récentes réunies). La valeur de l'indice d'Ochiai varie entre 0 et 1. Plus elle est élevée, plus l'espèce est caractéristique du type de forêt, ancienne ou récente.

Les analyses statistiques les plus pertinentes à utiliser dépendent donc des **territoires considérés**, ainsi que des **jeux de données disponibles**. Celles-ci resteront à étudier pour la Nouvelle-Aquitaine.

II.2. Biais potentiels dans la création de listes d'espèces indicatrices

Déterminer pour un territoire donné les **espèces significativement plus fréquentes en forêt ancienne qu'en forêt récente** est une tâche délicate. Le dire d'expert est sujet à controverse et les

revues de littérature scientifique ont un spectre géographique trop large ou inadéquat. Pour une grande région comme la Nouvelle-Aquitaine, il paraît nécessaire de tenir compte de **différents facteurs discriminants et de certaines covariables** afin de s'affranchir des nombreux biais potentiels.

Les principaux paramètres pouvant influencer les résultats sont :

⇒ Le **paysage** actuel et passé :

Le facteur d'ancienneté n'aura pas le même effet sur les cortèges selon que le massif étudié sera plus ou moins grand et selon la fragmentation passée et actuelle des forêts (influençant la connectivité avec d'autres massifs). L'ancienneté de la forêt constituera probablement un facteur explicatif bien plus important sur un territoire où les forêts sont, ou ont été, très fragmentées.

⇒ La **gestion sylvicole** actuelle et passée :

Bien que la composition du cortège de plantes vasculaires puisse être expliquée par l'ancienneté du boisement, elle est également influencée par sa maturité et les pratiques sylvicoles, actuelles et historiques. Une gestion sylvicole intensive (utilisation d'engins lourds, courte période de rotation entre les coupes, coupes rases, travail du sol, etc.) dans une forêt ancienne, empêchera l'expression du cortège d'espèces liées à l'ancienneté. Plus communément, la flore vasculaire étant sensible à la lumière et à l'humidité atmosphérique du sous-bois, la structure du peuplement (couverture des différentes strates verticales de végétation) influencera également l'expression du cortège. Des forêts gérées en futaie ou en taillis, pour un même climat et un même type de sol, ne présenteront pas les mêmes cortèges.

⇒ Les **conditions écologiques** :

La répartition des espèces est essentiellement conditionnée par la lumière, l'humidité atmosphérique, la température, la composition physico-chimique du sol, etc., paramètres influencés par le couvert forestier mais également par le macroclimat, le substrat géologique et la topographie. Par exemple, certaines espèces sciaphiles ou hygrosciaphiles en plaine peuvent se développer abondamment dans des contextes lumineux, hors forêt, sous conditions plus fraîches et arrosées. C'est le cas de la Myrtille (*Vaccinium myrtillus*) qui forme de vastes landes héliophiles dans certains contextes très atlantiques ou montagnards.

Le poids de l'ancienneté forestière dans la composition des cortèges floristiques variera donc selon le contexte paysager, le contexte sylvicole et les conditions écologiques (Janssen P., 2016). De surcroît, ces différents facteurs peuvent être étroitement corrélés : un territoire aux sols peu fertiles et au relief accidenté présentera probablement plus de forêts anciennes, sur des massifs de grande surface, l'ensemble impliquant des pratiques sylvicoles plus extensives. Jean-Luc Dupouey et Laurent Bergès résument le problème par la formulation suivante : « *Les listes d'espèces de forêts anciennes sont variables selon les secteurs géographiques. Cela dépend des traits de vie des plantes, des pool régionaux d'espèces, du degré de fragmentation forestière, de l'historique de l'occupation forestière du sol, de l'ampleur des différences abiotiques entre forêts récentes et forêts anciennes.* » (Bergès L. & Dupouey J-L., 2017).

Par conséquent, un préalable pour minimiser les risques de biais est de produire des **listes spécifiques d'un secteur biogéographique** : « *Dans les modèles de distribution d'espèces à large échelle, les prédicteurs liés à l'usage ancien du sol n'expliquent qu'une faible part de la probabilité de*

présence des espèces par rapport aux prédicteurs liés au climat ou aux types de sol (Bergès et al., 2016), alors qu'à l'échelle d'une petite région naturelle, dans des contextes de climat et substrats homogènes, l'effet devient de niveau égal à celui du sol (Sciama et al., 2009 ; Bergès et al., 2017). » (Bergès L. & Dupouey J-L., 2017). Toujours suivant les biais potentiels évoqués, il apparaît fondamental de connaître les **conditions écologiques** de chaque site de relevé, ainsi que la **structure du boisement** et son niveau de **maturité** (mode de gestion du peuplement, traces de coupes, taux de recouvrement des différentes strates de végétation, etc.). Des analyses SIG sur le contexte paysager (surface du massif, connectivité à d'autres massifs, etc.) seraient également propices à une analyse rigoureuse. Enfin, il est important de connaître la **surface des relevés** d'inventaires, car celle-ci conditionne grandement le nombre d'espèces observées.

Note : Un résumé de l'ensemble des facteurs à considérer pour l'élaboration d'une liste d'espèces de forêts anciennes est également disponible dans l'article de (Villemey A. & Renaux B., 2017).

II.3. Construction d'indicateurs à partir des listes d'espèces

Une liste d'espèces de plantes vasculaires spécifiques des forêts anciennes peut être utile à plusieurs objectifs :

- Déterminer ou confirmer l'**ancienneté** de l'état boisé ;
- Evaluer l'impact de la **fragmentation** (passée et actuelle) des boisements sur le cortège floristique ;
- Evaluer l'**état de conservation** des milieux forestiers (la faible présence d'espèces de forêts anciennes, sur un site dont la continuité de l'état boisé depuis au moins 150 ans est attestée, pourrait témoigner de perturbations du sol par des engins lourds, de pratiques de dessouchages et/ou de plantations, d'amendements en phosphore, etc.) ;
- Evaluer les possibilités de **restauration** de forêts récentes, en calculant la **dette d'extinction**⁶ et le **crédit de colonisation**⁷ relatives au cortège d'espèces de forêts anciennes (Bergès L. & Dupouey J-L., 2017).

Une fois la liste élaborée, son utilisation pour différents types de diagnostics suppose la création d'un ou de plusieurs indices, pour lesquels il est nécessaire de déterminer des seuils d'interprétation. En effet, comme évoqué en introduction de cette partie, les espèces « indicatrices » de forêts anciennes ne sont pas nécessairement absentes des forêts récentes, mais elles y sont significativement moins fréquentes (Bergès L. & Dupouey J-L., 2017).

L'indice peut simplement correspondre au **nombre d'espèces de forêt ancienne divisé par le nombre total d'espèces d'un relevé floristique**. Cet indicateur est utilisé dans l'étude sur les vieilles forêts pyrénéennes (Bartoli et al., 2011). Toutefois, cette étude porte sur 10 sites, tous localisés en forêt ancienne ET mature. L'indicateur n'a pas pour objectif de diagnostiquer l'ancienneté des boisements mais d'attester d'un « **niveau de dégradation du couvert forestier au cours de son histoire** » ou de « perturbation du sous-bois ». S'il est bas, il peut témoigner de pâturages anciens ou de coupes dans les années 1940-1950. L'**interprétation** résulte d'un **dire d'expert** et n'est pas conditionnée par des seuils (le jeu de données étant trop restreint).

⁶ Dette d'extinction : déclin continu du nombre d'espèces de forêts anciennes dans les tâches résiduelles de forêt après déboisement du paysage.

⁷ Crédit de colonisation : gain continu d'espèces de forêts anciennes dans les tâches forestières longtemps après l'augmentation de la surface de l'habitat (sachant que certaines modifications du sol seraient irréversibles).

Dans le Massif Central, un indice différent vise à **diagnostiquer l'ancienneté** du boisement (Villemey A. et Renaux B., 2017). Dénommé « ratio IFA » (Indicateur Floristique d'Ancienneté), il considère le nombre d'espèces de forêts anciennes mais également le nombre d'espèces de forêts récentes sur un même relevé :

$$IFA = \frac{(\text{nombre d'espèces indicatrices de forêts anciennes} + 1)}{(\text{nombre d'espèces indicatrices de forêts récentes} + 1)}$$

Des **seuils** sont proposés afin de distinguer les forêts anciennes des forêts récentes et un **niveau de fiabilité** associé à la classification obtenue est estimé. **Un outil de diagnostic de l'ancienneté forestière par la flore vasculaire est donc déjà opérationnel pour la partie limousine de la Nouvelle-Aquitaine** (domaine atlantique du Massif Central). D'autres études au Royaume-Uni (CRAWFORD 2009 ; Perrin & Daly 2010) et en Belgique (Honnay *et al.*, 1998) ont également développé des indicateurs accompagnés de seuils d'interprétation et incluant une estimation du niveau de fiabilité du résultat (taux d'erreur).

En résumé, un indicateur floristique de l'ancienneté ne s'arrête pas à la constitution d'une liste d'espèces. L'exploitation des listes peut être plurielle et requiert de formuler les questions auxquelles répondre. Dans le cadre d'une étude sur un vaste territoire, impliquant la manipulation d'un important jeu de données, des analyses statistiques sont nécessaires pour déterminer l'indicateur le plus pertinent, poser des seuils d'interprétation de cet indicateur et en estimer un niveau de fiabilité.

III. Etapes nécessaires à la construction d'un indicateur en Nouvelle-Aquitaine

A l'issue de la synthèse bibliographique, ce paragraphe récapitule les principales étapes préconisées pour élaborer un outil de diagnostic fiable, basé sur une flore vasculaire liée à l'ancienneté forestière.

- Etape 1 : **Délimiter** le territoire d'étude, identifier les végétations forestières considérées et poser les questions auxquelles l'on souhaite répondre (définir à l'avance le type d'indicateur souhaité pour interpréter les listes d'espèces).
- Etape 2 : **Cartographier les forêts présumées anciennes** sur le territoire d'étude (utilisation de cartes historiques, d'anciennes photographies aériennes, d'archives forestières, etc.) ou un échantillon de celui-ci ;
- Etape 3 : Construire ou exploiter un **jeu de données** répondant idéalement aux critères suivants :
 - **Quantité de relevés** suffisante pour conserver une partie servant à tester les résultats d'analyses ;
 - Données **homogènes** en terme de nature et qualité des relevés ;
 - **Stratégie d'échantillonnage** permettant de s'affranchir des **biais** éventuels (diversité et représentativité des conditions stationnelles, des modes de gestion sylvicole, des niveaux de fragmentation paysagère, etc.) ;

- Stratégie d'échantillonnage équilibrée entre forêts (présumées) anciennes et forêts récentes ;
 - Relevés de terrain contenant des **données écologiques** (pH, trophie, humidité du sol, etc.) et rattachement de données climatiques, géologiques et topographiques, disponibles dans des bases de données nationales ;
 - Relevés de terrain contenant des informations sur la **structure**, la **composition** et la **maturité** du peuplement, ainsi que sur les **traces de gestion** passée et actuelle ;
 - Disponibilité de la **date** de relevé (conditionne la quantité d'espèces observée et la phénologie de la feuillaison des arbres pour la lumière au sol) ;
 - Disponibilité de la **surface** de relevé (conditionne la quantité d'espèces observées) ;
- Etape 4 : Rassembler d'autres informations susceptibles d'influencer les résultats :
- Etudier la **trame forestière paysagère** (outils SIG) et rattacher à chaque relevé des variables telles que :
 - La taille du massif forestier ;
 - La distance du relevé à la lisière (actuelle ET/OU ancienne) ;
 - La distance de la forêt inventoriée à une (autre) forêt ancienne ;
 - La connectivité entre massifs ;
 - Etc.
 - Rechercher les **itinéraires sylvicoles** (documents de gestion, archives forestières, données pouvant être très difficiles à rassembler...).

Remarques :

- Inclure à l'analyse des forêts seigneuriales ou ecclésiastiques, conservées pour des raisons autres que le faible intérêt des terres pour une exploitation agricole ou la faible densité de population.
 - Rechercher des secteurs de plaine où la forêt est peu fragmentée.
- Etape 5 : Analyses statistiques
- Partitionner le jeu de données par **secteur biogéographique** (à définir pour la Nouvelle-Aquitaine) ou types de végétations forestières, afin de produire des listes spécifiques ;
 - Conserver un jeu de données ne servant pas à l'établissement des listes, afin de pouvoir tester et valider les résultats ;
 - Analyser les données (étude des corrélations entre variables, modèles linéaires généralisés, etc.) en vue d'établir des **listes d'espèces indicatrices** de forêts anciennes et/ou de forêts récentes.
- Etape 6 : Construire un indicateur
- Déterminer l'**indicateur** le plus pertinent pour répondre aux questions posées à l'étape 1, suivant la nature du jeu de données ;
 - Estimer des **seuils** d'interprétation ;
 - Estimer un **niveau de fiabilité** des résultats.

Une étape complémentaire, visant à mieux comprendre le « profil écologique » des espèces sélectionnées pour les listes, serait d'attribuer à chacune les coefficients de Philippe Julve (Baseflor, Julve Ph., 1998) qui situent les espèces sur un gradient écologique (lumière, température, pH, humidité, nutriments, texture du sol, humus, etc.). Les types biologiques (phanérophytes,

chaméphytes, hémicryptophytes, géophytes, thérophytes) et modes de dispersion des graines (myrmécochorie, barochorie, etc.) pourraient également être spécifiés.

Conclusion

La production de listes d'espèces de flore vasculaire liées à l'ancienneté forestière est un travail ambitieux et sujet à divers biais d'interprétation. Il nécessite d'être spécifique d'une région biogéographique et de bien connaître le contexte paysager, historique, sylvicole et écologique du territoire étudié. La base de données utilisée pour les analyses doit être importante et intégrer des covariables pertinentes, permettant de déterminer le rôle que tient l'ancienneté forestière dans la probabilité de présence d'une espèce, au regard des autres paramètres susceptibles de l'influencer.

Une synthèse bibliographique a permis d'identifier 47 espèces susceptibles d'être liées aux forêts anciennes en Nouvelle-Aquitaine (50 espèces fréquemment citées dans les études, soustraites de trois espèces trop rares dans la région pour être utilisées). Ces espèces pourraient constituer une base de départ, restant à valider pour toutes les raisons évoquées précédemment.

Les objectifs de l'élaboration de telles listes doivent être formulés. Ils peuvent concerner le diagnostic de l'ancienneté forestière, comme celui d'un état de conservation du milieu ou de possibilités de restauration. Toutes ces interprétations nécessitent l'élaboration d'indicateurs, devant eux-mêmes faire l'objet d'analyses statistiques. Un indicateur est déjà disponible pour le Limousin et reste à valider sur le terrain, son élaboration présentant quelques limites méthodologiques. Si la production d'indicateurs spécifiques à d'autres secteurs biogéographiques de Nouvelle-Aquitaine est envisagée, un partenariat avec un laboratoire de recherche devrait probablement être engagé afin d'assurer la fiabilité des résultats.

Bibliographie

BERGÈS L., AVON C., ARNAUDET L., ARCHAUX F., CHAUCHARD S., DUPOUEY J.-L., 2016 - Past landscape explains forest periphery-to-core gradient of understory plant communities in a reforestation context. *Diversity and Distributions*, vol. 22, pp. 3-16.

BERGÈS L., DUPOUEY J.-L., 2017 - Ecologie historique et ancienneté de l'état boisé : concepts, avancées et perspectives de la recherche. *Revue Forestière Française*, LXIX – 4-5, pp. 297-317.

CRAWFORD C., 2009 - Ancient Woodland Indicator Plants in Scotland. *Scottish Forestry* 63 (1), pp. 6–19.

HONNAY O., DEGROOTE B. & HERMY M., 1998 - Ancient-Forest Plant Species in Western Belgium: A Species List and Possible Ecological Mechanisms. *Belgian Journal of Botany* 130 (2), pp. 139–54.

DUPOUEY J.-L., SCIAMA D., KOERNER W., DAMBRINE E., RAMEAU J.-C., 2002 - La végétation des forêts anciennes. *Revue Forestière Française*, LIV – 6, pp : 521-532.

DUPOUEY J.-L., CORDONNIER T., CHAUBARD S., BESOAIN R., VILLARET J.-C., 2014 – *Clef d'identification des usages anciens à partir de la végétation. Liste d'espèces végétales sensibles aux actions sylvicoles et changements d'usages des sols*. Projet ANR FORGECO, 15 p.

GLAVES P., HANDLEY C., ROTHERHAM I., BIRBECK J. & WRIGHT B., 2009 - Field Surveys for Ancient Woodlands: Issues and Approaches. Hallam Environmental Consultants. 34 p. Disponible à l'adresse : <https://core.ac.uk/download/pdf/4147594.pdf>

HERMY M., HONNAY O., FIRBANK L., GRASHOF-BOCKDAM C., LAWESSON J.E., 1999 - An ecological comparison between ancient and other forest plant species of Europe, and the implications for forest conservation. *Biological Conservation* vol. 91, 1, pp. 9-22.

HERMY M., VERHEYEN K., 2007 - Legacies of the past in the present-day forest biodiversity: a review of past land-use effects on forest plant species composition and diversity. *Ecological research*, 22, pp. 361-371.

JANSSEN P., 2016 - *Influences relatives de l'ancienneté et de la maturité sur la biodiversité : implications pour la conservation en forêts de montagne*. Mémoire de thèse. Unité de recherche Ecosystèmes Montagnards de l'IRSTEA, École doctorale « Ingénierie pour la Santé, la Cognition et l'Environnement » - EDISCE, Communauté université Grenoble Alpes. 340p.

JULVE, Ph., 1998 - Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France. Version 2013. In : *Flore et végétation de la France et du Monde*. CATMINAT [en ligne]. Disponible à l'adresse : <http://philippe.julve.pagesperso-orange.fr/catminat.htm>

MALZIEU L. & RENAUX B., 2017 - La flore des forêts anciennes du Massif central. *Revue forestière française*, 69, 4, pp. 405-426. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.4267/2042/67869>

NAMAN S. et al., 2013 - *Les Plantes et l'ancienneté de l'état boisé*. Paris : CNPF. 32 p.

PERRIN P. M. & DALY O. H., 2010 - *A Provisional Inventory of Ancient and Long- Established Woodland in Ireland*. Irish Wildlife Manuals, No. 46. Dublin : National Parks and Wildlife Service, Department of the Environment, Heritage and Local Government. 65 p.

VALDES A., LENOIR J., GALLET-MORON E., ANDRIEU E., BRUNET J., CHABRERIE O., CLOSSET-KOPP D., COUSINS S., DECONCHAT M., DE FRENNE P., DE SMEDT P., DIEKMANN M., HANSEN K., HERMY M., KOLB A., LIIRA J., LINDGREN, NAAF T., PAAL T., PROKOFIEVA I., SCHERER-LORENZEN M., WULF M., VERHEYEN K. and DECOCQ G., 2015 - The contribution of patch-scale conditions is greater than that of macroclimate in explaining local plant diversity in fragmented forests across Europe. *Global Ecology and Biogeography*, 24, pp. 1094-1105.

VELLEND M., 2004 - Parallel Effects of Land-Use History on Species Diversity and Genetic Diversity of Forest Herbs. *Ecology* 85 (11): pp. 3043–55. Doi: 10.1890/04-0435.

CONSTRUIRE UN INDICATEUR DE VIEILLES FORETS PAR LES LICHENS

Rédaction : Thomas Beudin (CBNSA)

Introduction

Le caractère indicateur des lichens quant à l'ancienneté ou la maturité biologique des forêts est connu dans le monde naturaliste. Il a été étudié partout dans le monde dans des boisements et sous des climats très variés. Toutefois, les publications scientifiques concernant la France sont peu nombreuses et plutôt centrées sur des territoires à caractère montagnard. Par ailleurs, si la plupart des études proposent des listes d'espèces indicatrices, peu produisent des indices permettant d'interpréter l'ensemble du cortège lichénique d'une forêt et d'en évaluer ainsi un niveau de naturalité (qui plus est de manière spécifique sur une zone biogéographique).

La synthèse proposée dans ce rapport consiste d'abord en une **revue bibliographique**, avec une description plus détaillée des études les plus pertinentes à utiliser pour construire un indicateur en Nouvelle-Aquitaine. La deuxième partie résume les **grands principes d'élaboration d'un indice**, puis suggère des **bases méthodologiques** pour mener des **inventaires sur le terrain**, avant d'offrir un **aperçu de la donnée disponible** ce jour sur l'Observatoire de la Biodiversité Végétale de Nouvelle-Aquitaine.

L'objectif à long terme est de **localiser** des vieilles forêts par exploitation de données d'inventaires lichénologiques ou bien de **caractériser le degré de naturalité des forêts** sur le terrain. Pour cela, le travail initié dans cette synthèse devra être poursuivi dans les années à venir.

I. Exploitation des connaissances actuelles

I.1. Récapitulatif des études sur les lichens et les vieilles forêts dans le monde

Du fait de leur croissance très lente et de leur absence de mécanismes physiologiques leur permettant de répondre rapidement à un changement dans leur environnement, **les lichens sont très sensibles aux variations microclimatiques**. Dans les forêts anciennes, matures ou vieilles, différentes caractéristiques vont ainsi influencer fortement le développement et la diversité des lichens :

- l'eau : directe ou indirecte, ou vapeur d'eau ;
- la luminosité (intensité lumineuse ou impact direct du soleil) ;
- la présence de vent ;
- le type d'écorce (acidité, lisse ou rugueuse, capacité à retenir l'eau, ...) ;
- la présence d'une diversité de supports (bois mort, bois pourrissant, ...).

L'eau joue un rôle primordial dans le développement des lichens, et les espèces peuvent avoir des exigences très variées quant à sa présence. Selon les conditions, la pluie peut tomber directement sur un lichen, indirectement en ruisselant dessus, ou simplement être présente dans l'air avec une atmosphère saturée en humidité. Ainsi, une espèce peut ne pas supporter la pluie directe, mais avoir besoin d'une humidité atmosphérique très importante pour se développer. Par exemple, il a été montré que dans une vieille forêt avec des espèces caractéristiques bien installées, la formation d'une trouée importante dans la canopée a des conséquences sur les lichens. La lumière et la pluie pénètrent davantage et l'atmosphère aura tendance à s'assécher plus rapidement, ce qui favorise le développement de lichens à croissance rapide (*Lepraria*, *Phlyctis*) qui entrent en compétition avec les lichens à croissance lente de forêts matures (Bricaud 2010, Agnello 2016).

Par conséquent, **de nombreux auteurs ont étudié partout dans le monde la diversité des lichens dans des forêts à différents stades de maturité ou d'ancienneté.** Les études les plus intéressantes sont résumées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Résumé des études les plus pertinentes sur les lichens liés à l'ancienneté et à la maturité des forêts dans le monde, classées par origine géographique (orange = Amérique du Nord ; vert = Scandinavie ; bleu = Europe centrale et occidentale)

Auteur, date	Zone géographique de l'étude	Type de forêt	Stade de maturité/ancienneté	Principe	Résultats	Liste d'espèces et intérêt
Cameron et Bondrup-Nielsen, 2012	Nouvelle-Écosse, Canada	Forêts de conifères	Vieilles forêts (old-growth) et forêts matures (mature forests)	Comparaison de l'abondance d'une espèce entre des forêts matures et des vieilles forêts. 6 forêts de chaque type ont été étudiées grâce à des transects.	<i>Sphaerophorus globosus</i> est plus abondant dans les vieilles forêts. Si l'espèce est relevée sur au moins 25% des arbres, les auteurs considèrent qu'il s'agit d'une vieille forêt.	<i>Sphaerophorus globosus</i> : espèce très facilement identifiable sur le terrain
Coxson et Stevenson, 2007	Colombie Britannique, Canada	Forêts de cèdre et pruche	Vieilles forêts (old-growth)	Comparaison de la vitesse de croissance de <i>Lobaria pulmonaria</i> dans des forêts de 120 ans sans trouées et formées d'arbres à âge régulier, avec des vieilles forêts irrégulières.	En 2 ans, <i>Lobaria pulmonaria</i> a poussé de moins de 5% dans les forêts d'âge régulier à couvert fermé contre plus de 20% dans les vieilles forêts sous les trouées. Les coupes partielles lors de l'exploitation sont donc préférables.	<i>Lobaria pulmonaria</i>
McMullin et al., 2017	Nouvelle-Écosse, Canada	Forêts dominées par <i>Acer</i> sp., <i>Quercus rubra</i> et <i>Pinus strobus</i>	Peu clair	Calcul d'un indice de pureté de l'air à partir d'une liste de 50 lichens plus ou moins tolérants à la pollution atmosphérique ; suivi tous les 5 ans.	En 10 ans, la qualité de l'air et la richesse en lichens ont progressé. L'intégrité écologique des boisements (ecological integrity) s'est maintenue.	50 lichens faciles à reconnaître sur le terrain de tolérance diverse à la pollution atmosphérique
Boudreault et al., 2002	Canada	Diverses forêts	Forêts matures et vieilles forêts	Comparaison des lichens entre des forêts matures et des vieilles forêts.	Les lichens épiphytes sont nettement différents entre les deux stades de maturité.	<i>Tuckermannopsis americana</i> , <i>Hypogymnia physodes</i> et <i>Bryoria furcellata</i> plus abondants dans les forêts matures contre <i>Mycoblastus sanguinarius</i> , <i>Bryoria trichodes</i> et <i>Usnea</i> spp. dans les forêts anciennes

Auteur, date	Zone géographique de l'étude	Type de forêt	Stade de maturité/ ancienneté	Principe	Résultats	Liste d'espèces et intérêt
Selva, 1994, 2003	Nouvelle-Angleterre, Nouveau-Brunswick et Acadie, Canada	Diverses forêts	Vieilles forêts	Utilisation des lichens et champignons non lichénisés calicioïdes pour évaluer la maturité et l'ancienneté de boisements très divers.	Plus les caliciales sont nombreuses, et plus le boisement est vieux.	Diverses caliciales. Lichens difficiles à identifier mais souvent spécifiques du bois mort. cf. 1.2.
Sillett & Goslin, 1999		Forêts de sapin de Douglas	Forêts matures ou vieilles forêts, peu clair	Étude de l'abondance de <i>Lobaria oregana</i> et <i>Sphaerophorus globosus</i> autour d'arbres très âgés (200 à 600 ans) dans des boisements majoritairement d'arbres de 100 ans.	Les deux espèces sont plus abondantes autour des vieux arbres. La dispersion est donc faible et la recolonisation en laissant des vieux arbres se fait mieux lors d'une coupe.	<i>Lobaria oregana</i> et <i>Sphaerophorus globosus</i>
Sillett et al., 2000	Oregon, États-Unis	Forêts de sapin de Douglas	Vieilles forêts	Étude du développement de <i>Lobaria oregana</i> dans des vieilles forêts, des forêts jeunes et des forêts récemment coupées	Le lichen s'est beaucoup plus développé sur les branchesensemencées manuellement donc la dispersion serait un élément limitant. Dans les vieilles forêts, le lichen s'établit moins sur les écorces lisses.	<i>Lobaria oregana</i>
Fritz et al. 2008	Suède	Hêtraies	Forêts anciennes	Comparaison des lichens dans des forêts avec un couvert forestier continu depuis plus de 350 ans et des forêts continues depuis moins de 160 ans.	La diversité lichénique est beaucoup plus importante dans les boisements de plus de 350 ans. Cela peut s'expliquer par la présence de vieux arbres et le temps plus long disponible pour la colonisation.	
Hilmo & Sâstad, 2001	Norvège	Forêts d'Épicéas	Vieilles forêts	Dispersion manuelle de trois espèces liées aux vieilles forêts dans des vieilles et des jeunes forêts.	Le développement des lichens est le même dans les deux stades de forêts, malgré la lumière plus importante dans les jeunes boisements. La dispersion faible explique donc l'absence de ces espèces dans les forêts jeunes.	<i>Lobaria scrobiculata</i> , <i>Platismatia glauca</i> et <i>Platismatia norvegica</i>
Kuusinen, 1996	Finlande	Forêts d'Épicéas à <i>Populus tremula</i>	Vieilles forêts	Étude de l'abondance de cyanolichens dans des forêts de 4 stades : vieilles forêts, ± vieilles forêts, forêts légèrement gérées et forêts fortement gérées.	Les cyanolichens sont beaucoup plus nombreux et abondants dans les vieilles forêts.	<i>Lobaria pulmonaria</i> , <i>Nephroma</i> spp., <i>Pannaria pezizoides</i> et <i>Parmeliella triptophylla</i> sont les espèces les plus indicatrices.
Tibell, 1992	Suède	Forêts de conifères	Forêts anciennes	Étude des lichens crustacés dans des forêts anciennes.	Certaines espèces ne se retrouvent que dans des forêts avec une longue continuité. Une liste des espèces les plus caractéristiques a été réalisée.	cf. 1.2.
Dymytrova et al., 2017	Suisse	Forêts de plaine et de montagne	Vieilles forêts	Étude de 19 lichens caractéristiques de vieilles forêts pour leur faible dispersion ou de leur substrat spécifique.	Ces espèces s'avèrent être de bons indicateurs. Elles fonctionnent toutefois mieux en montagne qu'en plaine.	cf. 1.2.

Auteur, date	Zone géographique de l'étude	Type de forêt	Stade de maturité/ ancienneté	Principe	Résultats	Liste d'espèces et intérêt
Nascimbenne <i>et al.</i> , 2010	Alpes	Forêts d'Épicéas		Comparaison de la diversité lichénique dans 4 stades de forêts alpines : jeunes, intermédiaires, matures gérées pour la production du bois avec un cycle de 20-180 ans, et vieilles forêts.	La diversité augmente des stades jeunes vers les stades les plus matures, et surtout les caliciales sont plus abondantes dans les vieilles forêts.	Classement des espèces selon les 4 stades de forêts. <i>cf.</i> 1.2.
Hofmeister <i>et al.</i> , 2015	République Tchèque	Diverses forêts tempérées	Vieilles forêts	Inventaires des lichens dans des forêts plus ou moins exploitées et corrélation entre les espèces et les caractéristiques des vieilles forêts.	La présence de gros arbres et dans une moindre mesure de bois mort est fortement corrélée avec une richesse plus importante en lichens.	
Marmor <i>et al.</i> , 2011	Estonie	Forêts de Pin et d'Épicéa	Vieilles forêts	Inventaire des lichens dans des forêts jeunes (< 100 ans) et des vieilles forêts.	La richesse spécifique est plus importante dans les vieilles forêts. Certaines espèces rares ne se retrouvent que dans ces forêts.	<i>Arthonia leucopellaea</i> , <i>Chrysothrix</i> spp. et <i>Lecanactis abietina</i> ont été trouvés dans au moins un tiers des vieilles forêts et aucune des forêts jeunes.
Brunialti <i>et al.</i> , 2010	Parc national du Cilento et du Val de Diano, région méditerranéenne, Italie	Hêtraies et chênaies	Vieilles forêts	Inventaire des lichens dans des vieilles forêts et des forêts à continuité récentes.	La richesse spécifique et les espèces rares sont plus importantes dans les vieilles forêts. Cela s'expliquerait par la présence de vieux arbres et des troncs de tailles diverses mais il n'y a pas de lien avec la présence de bois mort.	<i>Lobaria pulmonaria</i> serait un très bon indicateur
Rose, 1974, 1976, 1992, 1993	Grande-Bretagne	Forêts tempérées décidues.	Vieilles forêts	Élaboration d'un indice dit « de continuité écologique ».	Indice efficace, testé, et réutilisé en Europe occidentale.	Espèces du <i>Lobarion pulmonariae</i> notamment. <i>cf.</i> 1.2.
Coppins & Coppins, 2002	Grande-Bretagne	Forêts tempérées décidues.	Vieilles forêts	Récapitulatif des différentes méthodologies de Rose et publication d'indices régionaux pour la Grande-Bretagne.	Indices efficaces et réexploitables.	<i>cf.</i> 1.2.
Agnello, 2016	Massif central, France	Forêts tempérées décidues.	Vieilles forêts	Bibliographie sur le sujet et proposition de plusieurs listes et d'un protocole adaptés au Massif central.	Indice non testé mais réexploitable.	<i>cf.</i> 1.2.

En résumé, il apparaît que non seulement les lichens dans les forêts matures et / ou anciennes est un sujet qui a beaucoup été étudié à travers le monde, mais surtout qu'il en ressort des **résultats très concluants**. En ce qui concerne les espèces étudiées, les auteurs ont majoritairement choisi des espèces appartenant au *Lobarion pulmonariae* (et notamment des *Lobaria* sp.), des **caliciales** et *Sphaerophorus globosus*. La richesse spécifique semble par ailleurs être plus importante dans les vieilles forêts, ce qui permettrait peut-être d'exploiter des inventaires complets et non seulement des données spécifiques. Enfin, la bibliographie donne clairement des bases pour la **création d'indices**, ce qui suppose que les lichens sont un groupe adapté pour le sujet.

I.2. Détails des études les plus pertinentes pour la Nouvelle-Aquitaine

Dymytrova et al. (2017)

Dymytrova et al. (2017) ont travaillé sur des forêts en Suisse. Ils ne citent pas complètement leur liste de 19 taxons sélectionnés comme indicateurs de **vieilles forêts**, mais à partir des tableaux on peut citer les espèces suivantes :

<i>Alectoria sarmentosa</i>	<i>Chrysothrix candelaris</i>	Complexe d' <i>Ochrolechia</i>
Complexe de <i>Bactrospora dryina</i> – <i>Arthonia byssacea</i>	<i>Evernia divaricata</i>	<i>Parmotrema</i> sp.
<i>Bryoria</i> sp.	<i>Letharia vulpina</i>	<i>Thelotrema lepadinum</i>
<i>Cetrelia olivetorum</i>	<i>Lobaria pulmonaria</i>	<i>Usnea</i> sp.
	<i>Menegazzia terebrata</i>	

L'étude portant sur des forêts suisses, la liste ressemble beaucoup plus à des espèces qui semblent être caractéristiques de vieilles forêts en Nouvelle-Aquitaine que dans toutes les études très éloignées citées dans le début du tableau 4. Cependant, les auteurs indiquent que ces espèces fonctionnent surtout pour les **forêts de montagne**. Elles pourront servir à l'élaboration d'un indice pour les Pyrénées ou le Limousin. Ils précisent également que la présence d'une espèce n'est pas suffisante et qu'il faut **combinaison plusieurs méthodes pour arriver à une conclusion fiable**.

Tibell (1992)

Tibell (1992) s'est intéressé aux **lichens crustacés de forêts de conifères de Suède**. Suite à des inventaires poussés dans des boisements présentant une continuité forestière plus ou moins importante et des analyses statistiques, il a abouti à une liste d'espèces **caractéristiques d'une longue continuité forestière** qu'il considère comme fiables :

<i>Arthonia vinoso</i>	<i>Chaenothecopsis viridialba</i>	<i>Microcalicium arenarium</i>
<i>Bacidia igniarii</i>	<i>Cybebe gracilentia</i>	<i>Mycoblastus aftinis</i>
<i>Calicium adaequatum</i>	<i>Cyphelium karelicum</i>	<i>Pertusaria pupillaris</i>
<i>Catinaria atropurpurea</i>	<i>Lecidea cinnabarina</i>	<i>Phaeocalicium populneum</i>
<i>Chaenotheca laevigata</i>	<i>Lecidea elabens</i>	<i>Schismatomma pericleum</i>
<i>Chaenothecopsis haematopus</i>	<i>Lithographa flexella</i>	<i>Sclerophora coniophae</i>
<i>Chaenothecopsis nana</i>	<i>Micarea globulosella</i>	

Comme pour la plupart des études, le climat et le type de forêt ne correspondent pas vraiment à ce que l'on peut trouver en Nouvelle-Aquitaine. Cependant, cette liste pourra tout de même être utile pour orienter le choix des espèces pour le sud-ouest de la France.

Nascimbene et al. (2010)

Nascimbene et al. (2010) se sont intéressés à des forêts des **Alpes** en comparant **4 stades de maturité** : des forêts jeunes, intermédiaires, matures gérées pour la production du bois avec un cycle de 120-180 ans et des vieilles forêts. Les inventaires réalisés leur permettent ainsi de classer les espèces selon les 4 stades :

- Espèces indicatrices de forêts jeunes :

<i>Bacidia absistens</i>	<i>Melanelixia fuliginosa</i>	<i>Rinodina capensis</i>
<i>Lepraria lobificans</i>	<i>Parmelia sulcata</i>	

- Espèces indicatrices de forêts intermédiaires :

<i>Bryoria capillaris</i>	<i>Hypogymnia tubulosa</i>	<i>Pertusaria amara</i>
<i>Buellia griseovirens</i>	<i>Micarea prasina</i>	<i>Ramalina farinacea</i>
<i>Chaenotheca stemonea</i>	<i>Ochrolechia arborea</i>	<i>Ramalina obtusata</i>
<i>Evernia prunastri</i>	<i>Ochrolechia</i>	<i>Tuckneraria laureri</i>
<i>Hypogymnia physodes</i>	<i>microstictoides</i>	<i>Vulpicida pinastri</i>

- Espèces indicatrices de forêts matures :

<i>Calicium glaucellum</i>	<i>Cladonia coniocraea</i>	<i>Ochrolechia androgyna</i>
<i>Calicium viride</i>	<i>Hypogymnia bitteri</i>	<i>Parmelia saxatilis</i>
<i>Caloplaca herbidella</i>	<i>Lecanora argentata</i>	<i>Platismatia glauca</i>
<i>Chaenotheca hispidula</i>	<i>Lecanora cadubriae</i>	<i>Schismatomma</i>
<i>Chaenotheca subroscida</i>	<i>Lepraria rigidula</i>	<i>pericleum</i>
<i>Chaenothecopsis pusilla</i>	<i>Lopadium disciforme</i>	
<i>Chrysothrix candellaris</i>	<i>Mykoblastus affinis</i>	

- Espèces indicatrices de vieilles forêts :

<i>Bryoria fuscescens</i>	<i>Hypogymnia austerodes</i>	<i>Mycoblastus</i>
<i>Buellia schaereri</i>	<i>Hypogymnia farinacea</i>	<i>sanguinarius</i>
<i>Chaenotheca</i>	<i>Imshaugia aleurites</i>	<i>Ochrolechia</i>
<i>chrysocephala</i>	<i>Lecanora circumborealis</i>	<i>alboflavescens</i>
<i>Chaenotheca ferruginea</i>	<i>Lecanora pulicaris</i>	<i>Parmeliopsis ambigua</i>
<i>Chaenotheca laevigata</i>	<i>Lecanora varia</i>	<i>Parmeliopsis hyperopta</i>
<i>Chaenotheca trichialis</i>	<i>Lecidea leprarioides</i>	<i>Pseudevernia furfuracea</i>
<i>Cladonia digitata</i>	<i>Lepraria elobata</i>	<i>Ramalina thrausta</i>
<i>Cyphelium inquinans</i>	<i>Letharia vulpina</i>	<i>Tuckermannopsis</i>
<i>Cyphelium karelicum</i>	<i>Microcalicium</i>	<i>chlorophylla</i>
<i>Cyphelium tigillare</i>	<i>disseminatum</i>	<i>Usnea hirta</i>
<i>Evernia divaricara</i>		

Comme pour les autres études européennes, ces listes pourront aider au choix des espèces en Nouvelle-Aquitaine. Cette aide sera toutefois limitée aux **forêts de montagne**.

Selva (1994, 2003) et l'utilisation des caliciales

Selva (1994, 2003) a essentiellement étudié les **caliciales**. Ces lichens et champignons non lichénisés, bien que difficiles à repérer sur le terrain et à identifier au laboratoire, sont extrêmement intéressants car souvent liés à des **supports spécifiques comme le bois mort ou des arbres très âgés**. Un grand nombre de caliciales est donc à corréliser avec une grande **diversité de microhabitats** dans le boisement. Selva considère ainsi que **plus le nombre de caliciales relevées est élevé, plus le boisement est âgé**. Il compare également sa méthode avec celle de Rose (1976) : il a trouvé au maximum 24 caliciales différentes dans un même boisement, ce qui rend selon lui le calcul de l'indice plus rapide. D'après ses conclusions, l'utilisation des caliciales serait plus efficace que la liste de Rose.

L'**indice** correspond simplement à l'évaluation du boisement à partir du **nombre de caliciales** inventoriées selon les règles suivantes :

- 0-2 : pioneer forest
- 3-10 : seral forest
- 11-15 : young old-growth forest
- 16 et plus : ancient forest

Par ailleurs, Selva liste les espèces en fonction du stade de maturité des boisements et du type d'arbre dominant. Ces listes concernent des forêts nord-américaines et sont donc à prendre avec beaucoup de précautions pour l'Europe (des espèces en commun entre les continents n'indiquent pas forcément la même chose). De telles indications pourraient toutefois être utiles lors de l'élaboration de listes pour la Nouvelle-Aquitaine.

- Dans des boisements dominés par des conifères :

Espèces liées à un stade de succession précoce :

<i>Calicium lenticulare</i>	<i>Calicium trabinellum</i> (lignicole)
<i>Chaenotheca trichialis</i> (lignicole)	<i>Mycocalicium subtile</i> (lignicole)
<i>Calicium parvum</i>	<i>Chaenotheca chrysocephala</i>
<i>Chaenothecopsis pusilla</i>	<i>Stenocybe major</i>
<i>Calicium salicinum</i> (lignicole)	<i>Chaenotheca brunneola</i>
<i>Chaenothecopsis pusiola</i>	

Espèces liées à un stade de succession intermédiaire :

<i>Calicium glaucellum</i>	<i>Cyphelium lucidum</i>
<i>Chaenothecopsis consociata</i>	<i>Chaenotheca gracillima</i>
<i>Calicium salicinum</i> (corticole)	<i>Mycocalicium subtile</i> (corticole)
<i>Chaenothecopsis debilis</i>	<i>Chaenotheca hispidula</i>
<i>Calicium trabinellum</i> (corticole)	<i>Phaeocalicium polyporaenum</i>
<i>Chaenothecopsis nana</i>	<i>Chaenotheca sphaerocephala</i>
<i>Chaenotheca ferruginea</i>	<i>Sphaerophorus globosus</i>
<i>Chaenothecopsis savonica</i>	<i>Chaenotheca stemonea</i>
<i>Chaenotheca furfuracea</i>	<i>Sphinctrina turbinata</i>
<i>Chaenothecopsis viridireagens</i>	<i>Chaenotheca trichialis</i> (corticole)
<i>Chaenotheca gracilentia</i>	<i>Chaenotheca xyloxena</i>

Espèces liées à un stade de succession avancé :

<i>Chaenotheca brachypoda</i>	<i>Chaenotheca hygrophila</i>
<i>Chaenothecopsis rubescens</i>	<i>Microcalicium arenarium</i>
<i>Chaenotheca cinerea</i>	<i>Chaenotheca laevigata</i>
<i>Chaenothecopsis viridialba</i>	<i>Microcalicium disseminatum</i>
<i>Chaenotheca edbergii</i>	<i>Chaenothecopsis brevipes</i>
<i>Microcalicium ahlneri</i>	<i>Stenocybe flexuosa</i>

- Dans des boisements dominés par des feuillus :

Espèces liées à un stade de succession précoce :

<i>Calicium salicinum</i> (lignicole)	<i>Mycocalicium subtile</i> (lignicole)
<i>Chaenothecopsis pusilla</i> (lignicole)	<i>Chaenotheca trichialis</i> (lignicole)
<i>Calicium trabinellum</i>	<i>Phaeocalicium polyporaenum</i>
<i>Chaenothecopsis pusiola</i>	<i>Chaenothecopsis debilis</i>
<i>Chaenotheca brunneola</i> (lignicole)	<i>Sphinctrina turbinata</i>

Espèces liées à un stade de succession intermédiaire :

<i>Calicium abietinum</i>	<i>Mycocalicium subtile</i> (corticole)
<i>Chaenotheca trichialis</i> (corticole)	<i>Calicium salicinum</i> (corticole)
<i>Calicium glaucellum</i>	<i>Phaeocalicium betulinum</i>
<i>Chaenothecopsis pusilla</i> (corticole)	<i>Chaenotheca brunneola</i> (corticole et sur les polypores)
<i>Calicium lenticulare</i>	<i>Chaenotheca chrysocephala</i>
<i>Chaenothecopsis savonica</i>	<i>Phaeocalicium compressulum</i>
<i>Calicium parvum</i>	<i>Chaenotheca ferruginea</i>
<i>Chaenothecopsis viridireagens</i>	<i>Phaeocalicium flabelliforme</i>
<i>Calicium viride</i>	

Chaenotheca furfuracea
Phaeocalicium matthewsianum
Chaenotheca gracillima
Phaeocalicium minutissimum
Chaenotheca hispidula

Espèces liées à un stade de succession avancé :

Chaenotheca brachypoda
Cyphelium lucidum
Chaenotheca chlorella
Microcalicium ahlneri
Chaenotheca laevigata
Microcalicium disseminatum

Sphaerophorus globosus
Chaenotheca sphaerocephala
Sphinctrina tubaeformis
Chaenotheca stemonea
Stenocybe pullatula

Chaenotheca servitii
Sclerophora coniophaea
Chaenothecopsis brevipes
Sclerophora nivea
Chaenothecopsis rubescens
Sclerophora peronella

Les études de Rose, Coppins et Coppins (Rose 1974, 1976, 1992, 1993, Coppins & Coppins 2002)

En Europe, c'est Francis Rose qui travaille le premier sur l'élaboration d'un véritable indice pour évaluer la vieillesse d'un boisement à partir des lichens. En 1974, il met en place l'Index Ecological Continuity (IEC). Nous n'avons pas pu nous procurer cet ouvrage, mais cette méthodologie a largement été revue par la suite.

Il produit une révision de cet indice en 1976 qu'il détaille dans son ouvrage (Rose 1976). Cet indice est appelé **Revised Index Ecological Continuity (RIEC)**. Le principe est très simple : Rose établit une liste de **30 espèces supposées caractéristiques de continuité forestière**. Pour chaque forêt à étudier, un inventaire total des lichens sur une parcelle de 1 km² de la forêt est à réaliser. Il suffit ensuite simplement de compter le nombre d'espèces de la liste de Rose présentes dans la parcelle pour évaluer la vieillesse du boisement. La liste de 30 espèces est la suivante :

Anisomeridium ranunculosporum
Arthonia vinosa
Biatora sphaeroides
Catinaria atropurpurea
Cresponea premnea
Degelia atlantica/plumbea/Parmeliella triptophylla
Dimerella lutea
Enterographa crassa
Lecanographa lyncea
Lobaria amplissima

Lobaria pulmonaria
Lobaria scrobiculata
Lobaria virens
Loxospora elatina
Nephroma laevigatum
Pachyphiale carneola
Pannaria conoplea
Parmotrema crinitum
Peltigera collina
Peltigera horizontalis
Porina leptalea

Punctelia reddenda
Pyrenula chlorospila/macrospora
Rinodina isidioides
Schismatomma quercicola/Pertusaria pupillaris
Stenocybe septata
Sticta limbata
Sticta fuliginosa/sylvatica
Thelopsis rubella
Thelotrema lepadinum

Le RIEC est calculé selon la formule suivante : $RIEC = \frac{n}{20} \times 100$ où *n* correspond au nombre d'espèces de la liste de Rose relevées dans le boisement à étudier. La **corrélation entre l'indice et la vieillesse du boisement** étudié donnée par Rose est la suivante :

0-25 : no indication of ecological continuity ; the woodland is either a plantation or has been clear felled and regenerated, or coppiced.

30-45 : evidence of some degree of ecological continuity.

50-70 : strong evidence of ecological continuity.

75-100+ : clear evidence of an ancient woodland with a long history of ecological continuity ; the woodland has never been clear-felled or extensively coppiced, although trees may have been felled on a selective basis.

Il apparaît ainsi qu'avec un nombre de 20 espèces sur les 30, la vieillesse est maximale (indice de 100%). L'auteur explique ce choix par la liste de taxons choisis qui couvre l'ensemble de la Grande-Bretagne ; toutes les espèces n'ont pas la même chorologie et il ne serait pas possible de toutes les retrouver dans une même parcelle, aussi riche soit-elle. Rose indique que cet indice est particulièrement adapté aux climats océaniques et reste valable au-delà de la Grande-Bretagne sur la façade ouest de la France, jusqu'au nord-ouest de l'Espagne et même en Toscane, en Italie. Cela dit, il précise que l'interprétation est à pondérer en fonction de la région étudiée car en Grande-Bretagne et en Irlande, certaines sont plus favorables au développement des lichens et amèneront toujours à un résultat élevé même dans une forêt jeune. C'est cette difficulté à être appliquée de manière similaire sur l'ensemble du territoire visé qui est le principal défaut de cette méthode.

En 1992, Francis Rose crée un nouvel indice : le **New Index Ecological Continuity (NIEC)**. Une liste de 70 espèces est établie :

<i>Agonimia allobata</i>	<i>Lecanora jamesii</i>	<i>Peltigera collina</i>
<i>Agonimia octospora</i>	<i>Lecanora quercicola</i>	<i>Peltigera horizontalis</i>
<i>Anisomeridium ranunculosporum</i>	<i>Lecanora sublivescens</i>	<i>Pertusaria multipuncta</i>
<i>Arthonia astroidestera</i>	<i>Leptogium cyanescens</i>	<i>Pertusaria velata</i>
<i>Arthonia ilicina</i>	<i>Leptogium lichenoides</i>	<i>Phaeographis sp. (excl. Phaeographis smithii)</i>
<i>Arthonia vinoso</i>	<i>Leptogium teretiusculum</i>	<i>Phyllopsora rosei</i>
<i>Bacidia biatorina</i>	<i>Lobaria amplissima</i>	<i>Porina coralloidea</i>
<i>Biatora epixanthoides</i>	<i>Lobaria pulmonaria</i>	<i>Porina hibernica</i>
<i>Biatora sphaeroides</i>	<i>Lobaria scrobiculata</i>	<i>Punctelia reddenda</i>
<i>Buellia erubescens</i>	<i>Lobaria virens</i>	<i>Rinodina isidioides</i>
<i>Catinaria atropurpurea</i>	<i>Loxospora elatina</i>	<i>Schismatomma niveum</i>
<i>Cetrelia olivetorum s.l.</i>	<i>Megalospora tuberculosa</i>	<i>Schismatomma quercicola / Pertusaria pupillaris</i>
<i>Chaenotheca sp. (excl. Chaenotheca ferruginea)</i>	<i>Micarea alabastrites / cinerea</i>	<i>Stenocybe septata</i>
<i>Cladonia caespiticia</i>	<i>Micarea pycnidiphora</i>	<i>Sticta fuliginosa/sylvatica</i>
<i>Cladonia parasitica</i>	<i>Mycoporum antecellens</i>	<i>Sticta limbata</i>
<i>Collema furfuraceum / subflaccidum</i>	<i>Nephroma laevigatum</i>	<i>Strangospora ochrophora</i>
<i>Cresponea premnea</i>	<i>Nephroma parile</i>	<i>Thelopsis rubella</i>
<i>Degelia atlantica / plumbea</i>	<i>Ochrolechia inversa</i>	<i>Thelotrema lepadinum</i>
<i>Dimerella lutea</i>	<i>Opegrapha corticola</i>	<i>Usnea ceratina</i>
<i>Enterographa sorediata</i>	<i>Opegrapha prosodea</i>	<i>Usnea florida</i>
<i>Heterodermia japonica</i>	<i>Pachyphiale carneola</i>	<i>Wadeana dendrographa</i>
<i>Lecanactis subabietina</i>	<i>Pannaria conoplea / rubiginosa</i>	
<i>Lecanographa amylacea</i>	<i>Parmeliella parvula</i>	
<i>Lecanographa lyncea</i>	<i>Parmeliella triptophylla</i>	
	<i>Parmotrema crinitum</i>	

Cette liste a été conçue pour classer les boisements en fonction de leur état de conservation sans se limiter à leur ancienneté et/ou maturité. Comme les deux concepts sont plus ou moins liés, la plupart des espèces du RIEC se retrouvent dans la liste du NIEC. Le NIEC n'a pas été conçu pour remplacer le RIEC mais pour le compléter et évaluer l'importance globale de conservation d'un site. Les sites présentant un nombre d'espèces de la liste supérieur à 30 sont à considérer comme ayant une grande importance pour la conservation, alors que ceux dont la valeur est inférieure à 20 sont d'une importance plus limitée.

Étant donné l'accent mis sur l'intérêt de conservation dans le NIEC, un concept « d'espèces bonus » a été mis en place pour prendre en compte la rareté plus locale de certaines espèces. Cela signifie que des espèces qui ajoutent de l'intérêt général pour la conservation d'un site peuvent être

ajoutées à la note finale avant d'en tirer des conclusions. Des listes d'espèces bonus existent mais chaque évaluateur peut décider d'en ajouter de nouvelles si son choix est cohérent et correctement détaillé. Il est toutefois très important de ne pas inclure des espèces dont l'intérêt de conservation n'est pas très élevé à échelle plus large, ou encore des taxons mal connus ou récemment décrits qui apparaissent rares mais qui seraient en fait communs et sous-inventoriés. Quoi qu'il en soit, Rose indique qu'il est primordial de séparer clairement les espèces de la liste initiale des espèces bonus afin de permettre une réévaluation ultérieure si nécessaire. Le résultat de l'indice total (T) peut être présenté sous la forme $T = NIEC + B$ où B correspond au nombre d'espèces bonus. L'évaluation de l'intérêt de conservation se fait alors sur T.

Toutes les méthodologies de Francis Rose ont été publiées dans divers ouvrages, pas toujours évidents à consulter. Toutefois, Coppins & Coppins (2002) ont publié avec la British Lichens Society un article très facilement disponible qui résume bien tous ces concepts, bien que la méthodologie soit peu détaillée. Le ratio de 1 jour de terrain pour 4 jours de laboratoire est préconisé. Ils y ajoutent également des travaux développés par Francis Rose et Brian J. Coppins qui n'avaient pas été publiés. Il s'agit de **4 nouveaux indices** dont le principe est exactement le même que le NIEC mais qui répondent à des **caractéristiques climatiques plus locales de la Grande-Bretagne**. Pour chacun d'entre eux, une liste d'espèces de base et une liste d'espèces bonus est donnée :

- le **Western Scotland Index of Ecological Continuity (WSIEC)** : cet indice est adapté au climat doux et humide de l'ouest de l'Écosse. Les auteurs indiquent que l'indice convient également au sud-ouest de la Norvège. La liste de base compte 50 espèces. Au-delà de 25, un boisement présente une grande importance pour la conservation ; en-dessous de 20, elle est plus limitée. Les listes sont les suivantes :

Espèces de base :

Arthonia anomorphila
Arthonia ilicinella
Arthonia leucopellaea
Arthonia stellaris
Arthonia vinosa
Arthonia ilicina /
Arthothelium lirellans /
Arthothelium orbilliferum
Bacidia biatorina
Bactrospora homalotropa
Biatora epixanthoides
Biatora sphaeroides
Buellia erubescens
Calicium lenticulare
Cetrelia olivetorum s.l.
Collema fasciculare
Collema nigrescens /
subnigrescens

Collema subflaccidum
Enterographa crassa
Fuscopannaria sampaiana
Gomphillus calycioides
Graphina ruiziana
Heterodermia japonica
Hypotrachyna endochlora
Hypotrachyna taylorensis
Leptogium brebissonii
Leptogium burgessii
Leptogium cochleatum
Leptogium hibernicum
Lobaria amplissima
Lobaria scrobiculata
Lopadium disciforme
Megalospora tuberculosa
Micarea stipitata
Nephroma parile

Pachyphiale carneola
Parmeliella testacea
Parmotrema reticulatum
Peltigera collina
Phyllopsora rosei
Pseudocyphellaria crocatae
Pseudocyphellaria intricata /
norvegica
Punctelia reddenda
Pyrenula laevigata
Pyrenula occidentalis
Rinodina roboris
Schismatomma quercicola
Sticta canariensis / *dufourii*
Strangospora ochrophora
Thelopsis rubella
Thelotrema macrosporum
Thelotrema petractoides

Espèces bonus :

Arthothelium macounii
Biatora chrysantha
Biatora vernalis

Graphis alboscripta
Cresponea premnea
Lecanactis subabietina

Leptogium saturninum

Mycoporum lacteum

<i>Opegrapha fumosa</i>	<i>Porina hibernica</i>	<i>Schismatomma niveum</i>
<i>Parmentaria chilensis</i>	<i>Porina rosei</i>	<i>Stenocybe bryophila</i>
<i>Parmotrema arnoldii</i>	<i>Pyrenula dermatodes</i>	<i>Wadeana dendrographa</i>
<i>Polychidium dendriscum</i>	<i>Pyrenula aff. microtheca</i>	
<i>Porina coralloidea</i>	<i>Rinodina isidioïdes</i>	

- **l'Eu-Oceanic Calcifuge Woodlands Index of Ecological Continuity (EUOCIEC)** ; cet indice s'applique aux forêts de l'ouest de l'Écosse, de l'ouest du Pays de Galle, du Devon et de Cornouailles où les précipitations sont très importantes et où les écorces sont plutôt acides. Il peut également s'appliquer plus largement aux zones au climat hyperocéanique, ou dans une moindre mesure euocéanique. La liste de base compte 30 espèces. Les sites dont la valeur est supérieure à 10 sont considérés comme ayant une grande importance pour la conservation. Les listes sont les suivantes :

Espèces de base :

<i>Bryoria bicolor</i>	<i>Hypotrachyna endochlora</i>	<i>Mycoblastus caesius</i>
<i>Bryoria fuscescens</i>	<i>Hypotrachyna laevigata</i>	<i>Mycoblastus sanguinarius</i>
<i>Buellia griseovirens</i>	<i>Hypotrachyna sinuosa</i>	<i>Ochrolechia inversa</i>
<i>Bunodophoron melanocarpum</i>	<i>Hypotrachyna taylorensis</i>	<i>Ochrolechia tartarea</i>
<i>Calicium lenticulare</i>	<i>Lecidea doliiformis</i>	<i>Parmelinopsis horrescens</i>
<i>Cetrelia olivetorum s.l.</i>	<i>Leproloma membranaceum</i>	<i>Pertusaria ophthalmiza</i>
<i>Cladonia luteoalba</i>	<i>Loxospora elatina</i>	<i>Sphaerophorus globosus</i>
<i>Graphina ruiziana</i>	<i>Megalania pulvereana</i>	<i>Trapelia corticola</i>
<i>Heterodermia japonica</i>	<i>Menegazzia terebrata</i>	<i>Usnea filipendula</i>
<i>Japewiella tavaresiana</i>	<i>Micarea alabastrites</i>	
	<i>Micarea stipitata</i>	

Espèces bonus :

<i>Arthothelium dictyosporum</i>	<i>Ochrolechia szatalaensis</i>
	<i>Platismatia norvegica</i>

- **l'Eastern Scotland Index of Ecological Continuity (ESIEC)** : cet indice s'applique principalement aux forêts de feuillus du climat plus sec et plus continental du nord-est de l'Écosse, du nord-est de l'Angleterre, de l'ouest de Hereford, du Worcestershire, du Shropshire et de l'est du pays de Galles. Il peut également s'appliquer au Danemark et au sud de la Suède. La liste de base compte 30 espèces. Les sites dont la valeur est supérieure à 10 sont considérés comme ayant une grande importance pour la conservation. Les listes sont les suivantes :

Espèces de base :

<i>Arthonia cinnabarina / elegans</i>	<i>Catinarina atropurpurea</i>	<i>Nephroma laevigatum / parile</i>
<i>Arthonia vinoso</i>	<i>Cladonia parasitica</i>	<i>Normandina pulchella</i>
<i>Bacidia beckhausii</i>	<i>Degelia plumbea</i>	<i>Pachyphiale carneola / fagicola</i>
<i>Bacidia subincompta</i>	<i>Flavoparmelia caperata</i>	<i>Pannaria conoplea</i>
<i>Biatora chrysantha</i>	<i>Fuscopannaria mediterranea</i>	<i>Parmeliella triptophylla</i>
<i>Biatora epixanthoides</i>	<i>Lobaria pulmonaria</i>	<i>Peltigera collina</i>
<i>Biatora sphaeroides</i>		<i>Pertusaria hemisphaerica</i>
Caliciales : au moins 6 espèces	<i>Lobaria amplissima / scrobiculata / virens</i>	<i>Sticta limbata</i>
<i>(Calicium, Chaenotheca, Chaenothecopsis, Cyphelium, Microcalicium, Mycocalicium, Stenocybe, Sclerophora)</i>	<i>Lopadium disciforme</i>	<i>Sticta fuliginosa / sylvatica</i>
<i>Catillaria globulosa</i>	<i>Loxospora elatina</i>	<i>Thelotrema lepadinum</i>
	<i>Megalania grossa</i>	
	<i>Megalania pulvereana</i>	

Espèces bonus :

<i>Agonimia allobata</i>	<i>Catinaria neuschildii</i>	<i>Gyalecta ulmi</i>
<i>Arthonia zwackhii</i>	<i>Collema fasciculare</i>	<i>Lecanographa amylacea</i>
<i>Bacidia circumspecta</i>	<i>Collema furfuraceum /</i>	<i>Leptogium saturninum</i>
<i>Bacidia igniarii</i>	<i>subflaccidum</i>	<i>Pertusaria multipuncta</i>
<i>Bacidia vermifera</i>	<i>Collema nigrescens</i>	<i>Ramonia sp. (excl. R.</i>
<i>Biatoridium sp.</i>	<i>Enterographa crassa</i>	<i>interjecta)</i>
<i>Catapyrenium psoromoides</i>	<i>Fuscopannaria ignobilis</i>	<i>Rinodina flavosoralifera</i>
<i>Catillaria alba</i>	<i>Gyalecta flotowii</i>	<i>Schismatomma graphidioides</i>

- le **Western Ireland Index of Ecological Continuity (WIIEC)** : cet indice s'applique aux forêts de feuillus de l'ouest de l'Irlande, au climat océanique et extrêmement doux. Il peut également s'appliquer à la Macaronésie. La liste de base compte 50 espèces. Au-delà de 25, un boisement présente une grande importance pour la conservation ; en-dessous de 20, elle est plus limitée. Les listes sont les suivantes :

Espèces de base :

<i>Arthonia astroidestera</i>	<i>Hypotrachyna taylorensis</i>	<i>Nephroma parile</i>
<i>Arthonia ilicina</i>		
<i>Arthothelium lirellans /</i>	<i>Japewiella tavaresiana</i>	<i>Ochrolechia inversa</i>
<i>orbilliferum</i>	<i>Lecanora jamesii</i>	<i>Ochrolechia szatalaensis</i>
<i>Bacidia biatorina</i>	<i>Leptogium brebissonii</i>	<i>Pachyphiale carneola</i>
<i>Bactrospora homalotropa</i>	<i>Leptogium burgessii</i>	<i>Parmentaria chilensis</i>
<i>Biatora epixanthoides</i>	<i>Leptogium cochleatum</i>	<i>Pertusaria velata</i>
<i>Blarneya hibernica</i>	<i>Leptogium hibernicum</i>	<i>Phaeographis lyellii</i>
<i>Collema fasciculare</i>	<i>Leptogium juessianum</i>	<i>Porina atlantica</i>
<i>Collema nigrescens /</i>	<i>Leptogium lichenoides</i>	<i>Porina hibernica</i>
<i>subnigrescens</i>	<i>Lobaria amplissima</i>	<i>Pyrenula dermatodes</i>
<i>Dimerella lutea</i>	<i>Lobaria pulmonaria</i>	<i>Rinodina isidioïdes</i>
<i>Fuscopannaria sampaiana</i>	<i>Lobaria scrobiculata</i>	<i>Stenocybe bryophila</i>
<i>Graphina ruiziana</i>	<i>Lobaria virens</i>	<i>Sticta canariensis</i>
<i>Haematomma solediatum</i>	<i>Loxospora elatina</i>	<i>Sticta dufourii</i>
<i>Heterodermia japonica</i>	<i>Megalaria grossa</i>	<i>Thelotrema macrosporum</i>
<i>Hypotrachyna endochlora</i>	<i>Mycoporum lacteum</i>	<i>Thelotrema petractoides</i>
<i>Hypotrachyna laevigata</i>	<i>Nephroma laevigatum</i>	<i>Trapelia corticola</i>

Espèces bonus :

<i>Calicium diploellum</i>	<i>Parmotrema robustum</i>	<i>Pseudocyphellaria spp.</i>
<i>Leptogium coralloideum</i>	<i>Phyllopsora rosei</i>	

Les zones d'application de chaque indice sont résumées sur la carte suivante (Coppins & Coppins, 2002) :

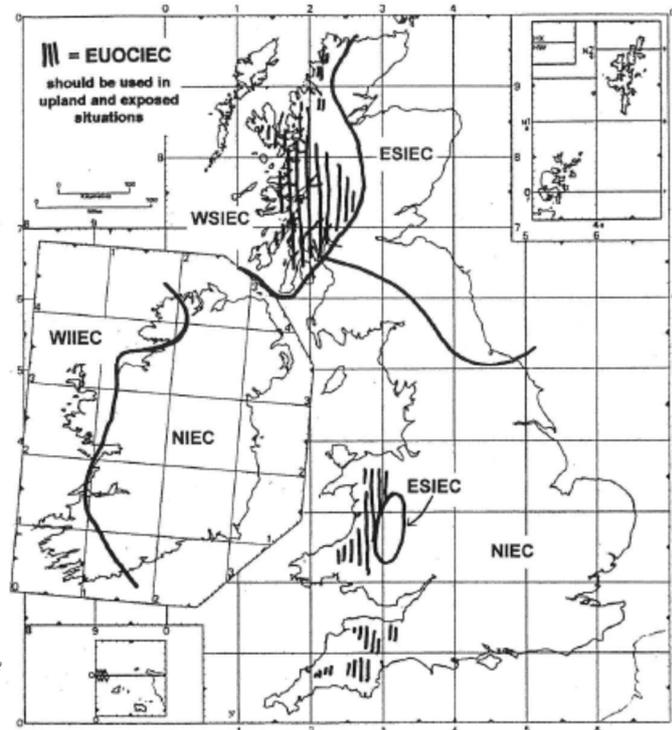


Figure 7 : Zones d'application des différents indices lichéniques suivant les régions climatiques de Grande Bretagne (Coppins & Coppins, 2002)

En conclusion, ces différents articles de Rose et Coppins apportent des éléments extrêmement détaillés qui sont plus ou moins applicables au sud-ouest de la France. Le concept du calcul de l'indice semble avoir fait ses preuves, et même si aucune liste n'est réutilisable directement, **les listes du NIEC et de l'EUOCIEC semblent particulièrement correspondre aux conditions climatiques du sud-ouest de la France et pourront probablement être exploitées.**

Agnello (2016)

Dans le cadre du travail mené en 2016 par le CBN du Massif central sur les forêts anciennes, une étude bibliographique et une proposition de méthodologie adaptée au territoire étudié ont été réalisées par Grégory Agnello. Il définit tout d'abord **13 listes adaptées à chaque département du Massif-Central** et rassemblant au total **54 espèces** sélectionnées à partir de trois grands critères : leur mention dans les articles liés à la thématique des forêts anciennes, leur présence dans l'alliance du *Lobarion pulmonariae* (qui semble caractéristique de boisements plus ou moins anciens), et des échanges avec Corinne Bauvet qui a beaucoup travaillé sur ces questions en France. Les listes sont synthétisées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Liste d'espèces de lichens caractéristiques de vieilles forêts pour chaque département du Massif Central (Agnello G., 2016)

Espèces	Départements												
	Allier	Ardèche	Aveyron	Cantal	Corrèze	Creuse	Loire	Haute-Loire	Lot	Lozère	Puy-de-Dôme	Rhône	Haute-Vienne
<i>Agonimia allobata</i>		X									X		
<i>Arthonia vinosa</i>			X	X		X					X		X
<i>Bacidia biatorina</i>											X		
<i>Bacidia subincompta</i>	X	X		X									
<i>Biatora efflorescens</i>		X								X	X		
<i>Biatora vernalis</i>		X	X	X			X	X		X	X		
<i>Biatoridium monasteriense</i>							X				X		
<i>Bryoria bicolor</i>			X	X			X	X		X	X	X	X
<i>Calicium salicinum</i>	X	X	X	X			X		X		X		X
<i>Calicium trabinellum</i>											X		
<i>Calicium viride</i>	X	X	X	X							X		X
<i>Catinaria atropurpurea</i>		X	X	X						X			
<i>Cetrelia olivetorum</i>		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
<i>Chaenotheca brunneola</i>		X		X						X	X		X
<i>Chaenotheca chrysocephala</i>		X	X	X	X			X		X	X		
<i>Chaenotheca furfuracea</i>	X	X	X	X	X		X	X		X	X		X
<i>Chaenotheca trichialis</i>			X	X						X			X
<i>Cladonia parasitica</i>	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X
<i>Collema nigrescens</i>	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X
<i>Collema subflaccidum</i>		X	X	X	X				X	X			
<i>Cresponea premnea</i>		X	X	X							X		X
<i>Fuscopannaria sampaiana</i>		X			X					X			X
<i>Gyalecta arbuti</i>		X											
<i>Gyalecta carneola</i>		X	X		X					X			X
<i>Gyalecta derivata</i>		X									X		
<i>Gyalecta truncigena</i>		X	X		X				X		X		
<i>Heterodermia subneglecta</i>				X	X			X		X			
<i>Hypotrachyna taylorensis</i>			X	X				X					
<i>Lobaria pulmonaria</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
<i>Lobarina scrobiculata</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Loxospora elatina</i>		X		X							X		
<i>Menegazzia terebrata</i>				X	X		X	X	X		X	X	
<i>Mycobilimbia epixanthoides</i>		X		X						X	X		
<i>Mycobilimbia pilularis</i>	X	X	X	X							X	X	
<i>Mycoblastus sanguinarius</i>					X								
<i>Nephroma parile</i>		X	X	X	X	X		X	X	X	X		X
<i>Nephroma resupinatum</i>		X	X	X			X			X	X		
<i>Pannaria conoplea</i>		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Pannaria rubiginosa</i>			X	X			X		X	X	X		X
<i>Parmeliella triptophylla</i>		X	X	X	X				X	X	X		X
<i>Parmotrema crinitum</i>	X	X	X	X	X	X		X	X	X			X
<i>Pectenia atlantica</i>		X	X							X			
<i>Pectenia plumbea</i>		X	X	X	X				X	X			X
<i>Peltigera collina</i>	X	X	X	X	X			X	X	X	X		X
<i>Peltigera horizontalis</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Ricasolia amplissima</i>		X	X	X	X		X			X	X		X
<i>Ricasolia laetevirens</i>				X	X				X				
<i>Sclerophora pallida</i>		X									X		X
<i>Sticta canariensis</i>				X	X	X							
<i>Sticta fuliginosa</i>		X	X	X	X	X		X	X		X		X
<i>Sticta limbata</i>		X	X	X	X	X			X	X	X		X
<i>Sticta sylvatica</i>		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Thelopsis rubella</i>		X	X			X				X			
<i>Thelotrema lepadinum</i>	X		X				X	X	X		X		X

En ce qui concerne le calcul de l'indice qui est nommé **ICF (Indice de Continuité Forestière)**, il est similaire au RIEC mais avec toutefois une différence majeure :

$$ICF = \frac{\text{Nombre d'espèces de l'inventaire figurant dans la liste de continuité forestière}}{\text{Nombre total d'espèces de la liste}} \times 100$$

Avec une interprétation identique à celle du RIEC (traduction de Agnello 2016) :

0 - 25 % : aucune indication de continuité écologique.

30 - 45 % : premiers signes de continuité écologique.

50 - 70 % : nette évidence d'une continuité écologique.

75 - 100 % : preuve évidente de la présence d'un boisement ancien à longue continuité écologique, sans coupe forestière extensive.

La note maximale (100%) correspond à la présence de toutes les espèces de la liste dans le boisement étudié. Il est donc peu probable qu'elle soit atteinte. Plus globalement, toute la classe 75-100% est difficile à intégrer. Agnello, contrairement à Rose, ne compense pas la diversité des espèces de sa liste dans le calcul de son indice. Ce choix peut se justifier par un **territoire d'étude plus restreint et homogène**.

La **méthodologie de récolte de données sur le terrain** adoptée dans l'article, est beaucoup plus précise que celle définie par Coppins et Coppins (2002). Agnello reprend ainsi une méthode de Thor *et al.* (2010) et Asta *et al.* (2012) : un transect de 30 points est réalisé entre les points les plus éloignés du boisement à étudier. Si les points ne peuvent pas être éloignés d'au moins 5 mètres, un second transect est nécessaire. L'arbre le plus proche de chaque point est étudié jusqu'à une hauteur de 2 mètres en relevant toutes les espèces visibles sur le terrain qui sont également annotées d'un « coefficient d'abondance locale pour une meilleure interprétation *a posteriori* » (l'article ne donne pas plus de détails sur la méthode et l'utilité de ce coefficient). Une grande amplitude d'essences d'arbres et d'âges est à privilégier, et ce même si cela oblige à ne pas étudier l'arbre le plus proche d'un point.

II. Application aux forêts de Nouvelle-Aquitaine

Au regard de la riche bibliographie existante, la proposition d'un protocole pour la Nouvelle-Aquitaine peut se diviser en trois parties distinctes : une **liste d'espèces** jugées caractéristiques de forêts anciennes et/ou matures, un **calcul d'indice** (avec proposition de seuils d'interprétation) et un **protocole d'inventaire**. La question du nombre de listes à établir doit également se poser. Les principaux travaux à exploiter sont ceux détaillés dans la partie I.2.

II.1. Des listes d'espèces adaptées aux grandes variations géologiques et climatiques de Nouvelle-Aquitaine

La Nouvelle-Aquitaine est un territoire relativement vaste et très hétérogène quant à son **climat** et sa **géologie**, et par conséquent ses **types de forêts**. C'est la raison pour laquelle il peut sembler pertinent de réaliser plusieurs listes comme l'ont fait Rose et Coppins afin de mieux prendre en compte ces variations.

Deux solutions peuvent être envisagées :

- ne faire qu'**une seule liste qui englobe l'ensemble des forêts de Nouvelle-Aquitaine** ; elle serait alors très variée, avec par exemple des taxons strictement atlantiques et des taxons strictement montagnards qui ne seraient jamais relevés ensemble. Dans ce cas, une **pondération** serait

impérative lors du calcul de l'indice comme l'a fait Rose en 1976. Celle-ci serait à définir avec des inventaires concrets ;

- faire **plusieurs listes** qui seraient alors plus homogènes, et les calculs des indices auraient moins / pas besoin d'être pondérés, comme l'a proposé Agnello en 2016.

Le second choix semble plus adapté, en veillant toutefois à ne pas trop multiplier les listes. Il aurait l'avantage de permettre une meilleure prise en compte de spécificités plus locales qui risqueraient d'être noyées dans une liste d'espèces trop longue.

II.2. Construction d'un indice de vieilles forêts

Compte tenu de la connaissance partielle de l'écologie des lichens en Nouvelle-Aquitaine et de la nécessité de disposer d'un jeu de données important, il semble compliqué de différencier le caractère ancien ou mature des boisements dans un indice.

La liste d'espèces caractéristiques

Même s'il sera nécessaire d'adapter les espèces de la bibliographie aux spécificités de la Nouvelle-Aquitaine, il semble possible de travailler à partir des listes préexistantes réalisées sur des territoires écologiquement et géographiquement proches du sud-ouest de la France. L'étude d'**Agnello (2016)** est la seule faite en France qui présente des listes d'espèces caractéristiques, c'est la plus intéressante d'un point de vue géographique. Elle l'est particulièrement pour la **partie limousine** de la Nouvelle-Aquitaine qui se rapproche beaucoup de l'ensemble du Massif central. En revanche, une majorité de la Nouvelle-Aquitaine est sous **climat atlantique** ; ce sont les **listes de Rose (1976) puis Coppins et Coppins (2002)** qui s'en rapprochent le plus, même si les territoires étudiés sont plus éloignés. Ces listes devront donc servir de base, à modifier ensuite à partir de la connaissance des lichénologues locaux et des études et inventaires locaux. Les travaux de **Selva** ont montré l'importance des **caliciales** ; il nous semble donc primordial d'apporter une grande importance à ce groupe lors de la réalisation de la liste, et de ne pas hésiter à multiplier les espèces afin de leur donner un certain poids, si les essais terrain démontrent que c'est justifié sous nos latitudes.

Nous ne proposerons pas de liste ici ; ce travail restera à faire pour la suite du programme. Comme expliqué précédemment, les listes dépendront beaucoup des choix qui seront faits sur le nombre d'indices à établir et leur emprise géographique s'ils sont multiples.

Calcul de l'indice

Contrairement à la liste d'espèces, il est souhaitable de **reprendre des calculs d'indices déjà utilisés dans la bibliographie**. Ils ont en effet déjà été testés, et permettent des comparaisons plus faciles s'ils sont largement utilisés. Il est toutefois possible de donner une formule générale similaire à celle proposée par Rose pour le RIEC où plusieurs valeurs sont à adapter selon les choix qui sont faits, et notamment le nombre de listes :

$$I = \frac{n}{p \times Nt} \times 100$$

où :

n = nombre d'espèces de l'inventaire figurant dans la liste d'espèces caractéristiques de vieilles forêts ;

Nt = nombre total d'espèces de la liste d'espèces caractéristiques de vieilles forêts ;

p = facteur de pondération de la diversité des taxons de la liste d'espèces caractéristiques de vieilles forêts, avec $0 < p \leq 1$

Le résultat, exprimé en pourcentage, suivrait exactement les mêmes interprétations que dans les articles de Rose, Coppins et Agnello :

0 - 25 % : aucune indication de continuité écologique.

30 - 45 % : premiers signes de continuité écologique.

50 - 70 % : nette évidence d'une continuité écologique.

75 - 100 % : preuve évidente de la présence d'un boisement ancien à longue continuité écologique, sans coupe forestière extensive.

Ainsi, cet indice serait facilement répliquable pour chaque liste d'espèces, avec un p éventuellement variable en fonction des connaissances et des essais terrain.

Avec cet indice, la réalisation de **plusieurs listes permettrait de compenser la diversité des lichens entre des zones biogéographiques distinctes**. Les lichens caractéristiques des vieilles forêts ne sont pas tous les mêmes au nord du Poitou-Charentes et dans des forêts d'altitude des Pyrénées, pour des raisons d'abord biogéographiques. Ne faire qu'une seule liste à rallonge condenserait les résultats et les rendrait peu clairs. La multiplication trop importante des listes n'est toutefois pas recommandable, au risque de perdre en clarté et de rendre incomparables les résultats.

En parallèle, **le p permet de compenser la diversité des boisements au sein d'une même zone biogéographique**, c'est-à-dire pour une même liste. Les lichens caractéristiques des vieilles forêts sont par exemple très différents dans un boisement de coteau très sec et une forêt alluviale à l'hygrométrie importante en Gironde, mais pour des raisons purement écologiques. Si la liste d'espèces englobe cette diversité, il est donc théoriquement impossible de réaliser un relevé avec toutes les espèces (et avoir une note de 100% qui doit rester théoriquement possible même si jamais atteinte). Le facteur p permet de compenser cette hétérogénéité.

Un problème se pose toutefois pour les **boisements qui ont naturellement moins d'espèces**, du fait par exemple de leur faible diversité de supports ou de leurs conditions écologiques moins propices au développement d'une grande quantité de lichens (boisement plus sec par exemple). Même en étant matures et anciens et au maximum de leur richesse, ces boisements risquent d'avoir une note assez faible non représentative de la réalité. Une **pondération dans la formule avec le nombre d'espèces du relevé** effectué pourrait être une piste à explorer.

Méthode d'inventaire

La méthodologie développée par Agnello (2016) semble être bien **adaptée à des calculs statistiques** car elle est plus cadrée que celle de Coppins & Coppins (2002). Elle peut être résumée comme suit :

- un transect de 30 points entre les points les plus éloignés du boisement (2 transects si les points ne sont pas séparés d'au moins 5 mètres) ;
- inventaires des lichens du tronc et des grosses branches jusqu'à une hauteur de 2 mètres des gros arbres les plus proches de chaque point ;
- privilégier une grande variété d'essences et d'âges d'arbres, et noter un maximum d'information sur les arbres inventoriés (espèce, diamètre, écorce, ...).

L'indication d'un coefficient d'abondance ne semble pas indispensable puisque cette information n'apparaît pas dans le calcul de l'indice. **Il semble par contre important de prendre en compte les arbres morts dont le cortège est différent mais hautement indicateur de vieilles forêts.**

La méthode plus globale de Rose et Coppins, avec un **inventaire complet du boisement**, offre néanmoins l'avantage de ne pas rater des arbres intéressants présentant des espèces très indicatrices mais rares. Le risque est notamment de largement sous-prospecter les calicales si les arbres morts sont peu

nombreux. Le temps peut être limité à une demi-journée / une journée afin de garder une certaine cohérence entre les différents inventaires. Une surface pourrait également être définie à l'avance, mais elle risque d'être difficilement applicable si les sites retenus sont trop variés.

Il serait donc intéressant de tester, dans quelques boisements, les deux méthodes d'inventaire afin de mieux se rendre compte des avantages de chacune. D'un côté, la précision du premier protocole simplifierait les calculs statistiques et les comparaisons. De l'autre, l'inventaire global limiterait les risques de sous-prospection des espèces rares. On pourrait alors imaginer une méthode intermédiaire, qui consisterait par exemple à **réaliser un inventaire complet** mais à le cadrer au maximum en **fixant des règles** pour que les résultats restent comparables :

- **surface fixe** de la placette à inventorier ;
- **diamètre seuil des arbres à inventorier** pour ne prendre en compte que, par exemple, les très gros bois vivants et les bois morts de grosse circonférence ;
- **hauteur maximale** d'inventaire sur le tronc ;
- noter le support et le diamètre pour chaque arbre inventorié ;
- etc.

Les tests de protocole devront également se faire dans **différentes combinaisons de degré de maturité / ancienneté des boisements**. Toutes les **données de contexte écologique, paysager ou historique**, pouvant influencer les résultats, devront être annotées sur le terrain ou au bureau (dans la limite des données disponibles) :

- **Conditions stationnelles** / type de forêt ;
- **Structure et composition** du peuplement forestier ;
- **Gestion** forestière passée et actuelle ;
- Fragmentation paysagère de la **trame forestière**.

II.3. Les données de l'OBV-NA

L'outil de base pour la flore et la fonge régionales étant l'**Observatoire de la Biodiversité Végétale de Nouvelle-Aquitaine**, il convient de regarder la quantité de données disponibles de la liste d'Agnello (2016). Cela permettrait en effet de cibler des vieilles forêts potentielles dans un premier temps. Malheureusement, les données lichens sont très partielles. **Hormis *Lobaria pulmonaria* et *Lobaria scrobiculata* qui sont souvent relevés (respectivement 562 et 165 données sur l'OBV), il y a moins de 50 données pour toutes les autres espèces, et seules trois espèces ont entre 20 et 50 données (*Sticta limbata*, *Peltigera horizontalis* et *Pannaria conoplea*).**

Il paraît compliqué de se limiter à *Lobaria pulmonaria* et *Lobaria scrobiculata* pour précibler des boisements anciens. En effet, ce sont des espèces assez communes du *Lobarion pulmonariae* (surtout *Lobaria pulmonaria*) et c'est un cortège plus complet de l'alliance qu'il faut cibler. Par ailleurs, il n'est pas rare de trouver *Lobaria pulmonaria* sur des vieux arbres isolés dans des zones anciennement boisées ; la lenteur de développement des lichens provoque un décalage entre la disparition d'un boisement ancien et la disparition du cortège lichénique associé. En revanche, combinée avec d'autres éléments, la présence de ces espèces (surtout si les deux sont relevées ensemble) est un argument de plus en faveur de l'ancienneté d'un boisement.

Les cartes de la figure 8 présentent les données de l'OBV-NA pour *Lobaria pulmonaria* (à gauche) et *Lobaria scrobiculata* (à droite) au 7 décembre 2020 à l'échelle communale. Dans les deux cas, quatre foyers se distinguent : le plateau landais, les Pyrénées, le Limousin et les vallées alluviales de Dordogne.

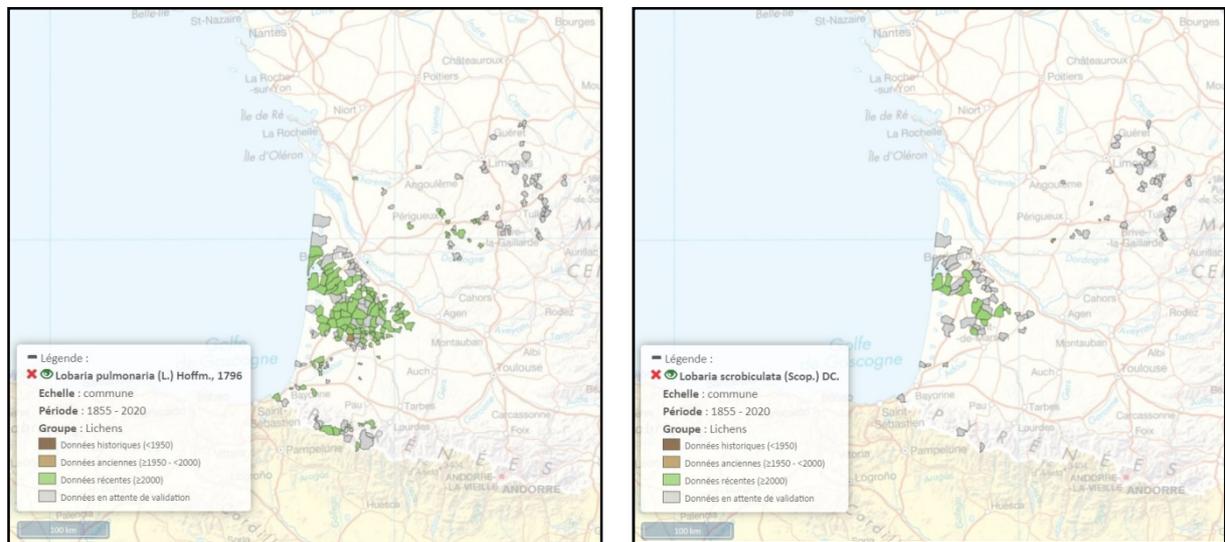


Figure 8 : Cartes de répartition des données de l'OBV-NA pour *Lobaria pulmonaria* et *Lobaria scrobiculata* à l'échelle communale (extraction du 7 décembre 2020)

Conclusion

Une dizaine d'études pertinentes à utiliser en Nouvelle-Aquitaine est détaillée dans ce travail de synthèse. Les plus pertinentes pour la création d'un indicateur en Nouvelle-Aquitaine sont celles élaborant des **indices qui permettent d'interpréter l'ensemble du cortège lichénologique** d'une forêt, à partir de **listes d'espèces spécifiques** d'une zone biogéographique. Ces études sont celles de **Francis Rose et John Coppins** (synthétisées dans Coppins & Coppins, 2002), élaborant quatre indices spécifiques à différentes régions du **Royaume-Uni** : le Western Scotland Index of Ecological Continuity (WSIEC), l'Eu-Oceanic Calcifuge Woodlands Index of Ecological Continuity (EUOCIEC), l'Eastern Scotland Index of Ecological Continuity (ESIEC) et le Western Ireland Index of Ecological Continuity (WIIEC) ; ainsi que celle de **Grégory Agnello** (Agnello, 2016), qui propose un Indice de Continuité Forestière s'appuyant sur 13 listes d'espèces adaptées à chaque département du **Massif Central**.

À la lecture de ces travaux, pour construire un indice de vieilles forêts en Nouvelle-Aquitaine, il semble évident qu'il est nécessaire de produire des **listes d'espèces de lichens spécifiques à des ensembles biogéographiques, homogènes en termes de climat, de substrat géologique ou encore d'histoire sylvicole**. Ces listes doivent ensuite être exploitées grâce à un **indice** qui permettrait d'interpréter l'ensemble du cortège lichénologique d'un massif forestier. **Un outil opérationnel est disponible sur le Limousin** grâce au travail de Grégory Agnello (Agnello, 2016).

Pour produire ces listes et cet indice, la récolte de données sur le terrain est nécessaire. Une méthodologie d'inventaire reste à proposer, mais certains paramètres ont d'ores et déjà été identifiés :

- Échantillonnage de **forêts anciennes et récentes**, incluant **différents degrés de maturité** du peuplement forestier ;
- **Surface** fixe de prospection et définition du type de **support** à inventorier ;
- Annotation de **co-variables écologiques, paysagères et historiques** : conditions stationnelles, structure et composition du peuplement forestier, gestion sylvicole, connectivité paysagère, etc.

Cette synthèse pose les bases de la démarche de construction d'un indicateur de naturalité forestière par le cortège lichénique en Nouvelle-Aquitaine. Si le Limousin bénéficie déjà d'un outil de diagnostic, le Poitou-Charentes et l'Aquitaine restent à étudier. L'analyse bibliographique devra être poursuivie dans les années à venir et des inventaires de terrain sont à mener, en suivant un protocole spécifique qui doit encore être développé.

Bibliographie

AGNELLO G., 2016 - *Lichens épiphytes et forêts anciennes*. Envinerude, Conservatoire Botanique National du Massif central, 10 p.

ASTA J., TISSUT M., RAVANEL P. & AGNELLO G., 2012 - *Les lichens dans les ENS, Inventaires & liste rouge, biosurveillance & retombées atmosphériques, Études et perspectives*. Rapport d'expertise pour le Conseil Départemental de l'Isère, 52 p.

BOUDREAU C., BERGERON Y., GAUTHIER S. & DRAPEAU P., 2002 - Bryophyte and lichen communities in mature to old-growth stands in eastern boreal forests of Canada. *Can. J. For. Res.*, 32, pp. 1080-1093.

BRUNIALTI G., FRATI L., ALEFFI M., MARIGNANI M., ROSATI L., BURRASCANO S. & RAVERA S., 2010 - Lichens and bryophytes as indicators of old-growth features in Mediterranean forests. *Plant Biosystems*, 144, pp. 221-233.

CAMERON R. & BONDRUP-NIELSEN S., 2012 - Coral Lichen (*Sphaerophorus globosus* (Huds.) Vain) as an Indicator of Coniferous Old-Growth Forest in Nova Scotia. *Northeastern Naturalist*, 19(4), pp. 535-540.

COPPINS A.M. & COPPINS B.J., 2002 - *Indices of Ecological Continuity for Woodland Epiphytic Lichen Habitats in the British Isles*. Wimbledon : British Lichen Society, 36 p.

COXSON D.S. & STEVENSON S.K., 2007 - Growth rate responses of *Lobaria pulmonaria* to canopy structure in even-aged and old growth cedar-hemlock forests of central-interior British Columbia, Canada. *Forest Ecology and Management*, 242, pp. 5-16.

DYMYTROVA L., BRÄNDLI U.-B., GINZLER C. & SCHEIDEGGER C., 2017 - Forest history and epiphytic lichens: Testing indicators for assessing forest autochthony in Switzerland. *Ecological Indicators*, 84, pp. 847-857.

FRITZ Ö, GUSTAFSSON L. & LARSSON K., 2008 - Does forest continuity matter in conservation ? A study of epiphytic lichens and bryophytes in beech forests of southern Sweden. *Biological Conservation*, 141, pp. 655-668.

HILMO O. & SÅSTAD M., 2001 - Colonization of old-forest lichens in a young and an old boreal *Picea abies* forest : an experimental approach. *Biological Conservation*, 102, pp. 251-259.

HOFMEISTER J., HOŠEK J., BRABEC M., DVOŘÁK D., BERAN M., DECKEROVÁ H., BUREL J., KŘÍŽ M., BOROVIČKA J., BEŤÁK J., VAŠUTOVÁ M., MALÍČEK J., PALICE Z., SYROVÁTKOVÁ L., STEINOVÁ J., ČERNAJOVÁ I., HOLÁ E., NOVOZÁMSKÁ E., ČÍŽEK L., IAREMA V., BALTAZIUK K. & SVOBODA T., 2015 - Value of old forest attributes related to cryptogam species richness in temperate forests: A quantitative assessment. *Ecological Indicators*, 57, pp. 497-504

KUUSINEN M., 1996 - Cyanobacterial macrolichens on *Populus tremula* as indicators of forest continuity in Finland. *Biological Conservation*, 75, pp. 43-49.

MCMULLIN R.T., URE D., SMITH M, CLAPP H. & WIERSMA Y.F., 2017 - Ten years of monitoring air quality and ecological integrity using field-identifiable lichens at Kejimikujik National Park and National Historic Site in Nova Scotia, Canada. *Ecological Indicators*, 81, pp. 214-221.

MARMOR L., TÕRRA T., SAAG L. & RANDLANE T., 2011 - Effects of forest continuity and tree age on epiphytic lichen biota in coniferous forests in Estonia. *Ecological Indicators*, 11, pp. 1270-1276.

NASCIMBENE J., MARINI L. & NIMIS P.L., 2010 - Epiphytic lichen diversity in old-growth and managed *Picea abies* stands in Alpine spruce forests. *Forest Ecology and Management*, 260, pp. 603-609.

- ROSE F., 1974 - The epiphytes of oak. In : MORRIS M.G. & PERRING F.H. (eds.). *The British Oak*. E.W. Classey : Farringdon, pp. 250-273.
- ROSE F., 1976 - Lichenological indicators of age and environmental continuity in woodlands. In : BROWN D.H., HAWKSWORTH D.L. & BAILEY R.H. (eds.) - *Lichenology : progress and problems*. London : Academic Press, pp. 279-307.
- ROSE F., 1992 - Temperate forest management: Its effects on bryophyte and lichen floras and habitats. In : BATES J.W. & FARMER A.M. (eds.) - *Bryophytes and Lichens in a Changing Environment*. Oxford: Clarendon Press, pp. 211-233.
- ROSE F., 1993 - Ancient British woodlands and their epiphytes. *British Wildlife*, 5, pp. 83-93.
- SELVA S.B., 1994 - *Lichen diversity and stand continuity in the northern hardwoods and spruce-fir forests of northern New England and western New Brunswick*. *Bryologist*, 97: 424-429
- SELVA S.B., 2003 - Using calicioid lichens and fungi to assess ecological continuity in the Acadian Forest Ecoregion of the Canadian Maritimes. *The Forestry Chronicle*, 79(3), pp. 550-558.
- SILLETT S.C. & GOSLIN M.N., 1999 - Distribution of epiphytic macrolichens in relation to remnant trees in a multiple-age Douglas-fir forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 29, pp. 1204-1215.
- SILLETT S.C., MCCUNE B., PECK J.E., RAMBO T.R. & RUCHTY A., 2000 - Dispersal limitations of epiphytic lichens result is species dependent on old-growth forests. *Ecological Applications*, 10(3), pp. 789-799.
- THOR G., JOHANSSON P., JÖNSSON M.T., 2010 - Lichen diversity and red-listed lichen species relationships with tree species and diameter in wooded meadows. *Biodiversity Conservation*, 19, pp. 2307-2328.
- TIBELL L., 1992 - Crustose lichens as indicators of forest continuity in boreal coniferous forests. *Nord. J. Bot.* 12, pp. 427-450.

CONSTRUIRE UN INDICATEUR DE VIEILLES FORETS PAR LES BRYOPHYTES

Rédaction : Isabelle Charissou (CBNSA)

I. Exploitation des connaissances actuelles

I.1. Espèces de bryophytes indicatrices de l'ancienneté forestière

De nombreux auteurs s'entendent sur le fait que, dans l'état actuel des connaissances, on ne pourra pas définir des espèces de bryophytes indicatrices de forêts anciennes ainsi qu'un protocole de collecte de données sur un territoire donné (Rose 1993, Frego 2007, Celle 2017...), sans **études spécifiques**. « *Un travail exhaustif sur les bryophytes, l'ancienneté et la maturité, reste à entreprendre. Il nécessiterait au-delà de l'analyse des données existantes de nouvelles levées de terrain, avec relevé de paramètres écologiques et dendrologiques afin de tester en plus de l'ancienneté des paramètres liés à la maturité. Comme pour la flore vasculaire, un travail sur des espèces patrimoniales ciblées serait intéressant* » (RENAUX B. & VILLEMEY A. (coord.) 2017)

Le tableau 6 propose une synthèse des travaux portant sur la recherche d'espèces indicatrices de **forêts anciennes, vieilles ou naturelle**. Dans ces publications, le type de forêt étudié est rarement indiqué de façon non équivoque.

Tableau 6 : Synthèse bibliographique sur les espèces de bryophytes indicatrices d'ancienneté forestière (ou de vieilles forêts/naturelles)

Auteur, date	Pays de l'étude	Précision géographique	Type de forêt	Commentaire de l'auteur	Proposition de liste d'espèces indicatrices
Rose, 1993	Angleterre	Forêts de basse altitude	Ancient woodland	Pas possible de produire une liste de bryophytes épiphytes indicatrices car très peu montrent une corrélation avec l'ancienneté de la forêt	Les seules espèces potentiellement indicatrices appartiennent au Lobarion : <i>Homalothecium sericeum</i> , <i>Isothecium myosuroides</i> , <i>Pterogonium gracile</i> , <i>Leucodon sciuroides</i> , <i>Orthotrichum lyellii</i> , <i>Zygodon baumgartneri</i> , <i>Frullania tamarisci</i> (corticoles)
Dupouey <i>et al.</i> , 2002	France	Lorraine, forêt tempérée de basse altitude	Forêts anciennes peu ou non perturbées à l'époque romaine	L'impact de pratiques agricoles, même très anciennes, a un effet durable sur les communautés de plantes. La restauration complète de communautés typiques de forêts très anciennes, sur des sites abandonnés par l'agriculture, est probablement impossible.	Bryophyte des milieux les moins perturbés à l'époque romaine : <i>Thuidium tamariscinum</i>

Auteur, date	Pays de l'étude	Précision géographique	Type de forêt	Commentaire de l'auteur	Proposition de liste d'espèces indicatrices
Frego, 2007	Synthèse hémisphère nord	Forêts tempérées et boréales (Suède, Canada...)	Intégrité forestière (recouvre à la fois biodiversité naturelle, structure forestière et continuité au sens ancienneté)	Des bryophytes peuvent être indicateurs, mais des recherches (notamment concernant la biologie et l'autécologie des espèces) sont nécessaires afin de définir et de calibrer des méthodologies standardisées et fiables.	Indicateurs possibles : - présence ou abondance d'une espèce spécifique (Umbrella species) ; - présence ou abondance d'une communauté d'espèces (espèces indicatrices) ; - <u>nombre d'espèces d'hépatiques ?</u> (espèces ayant besoin de microhabitats plus humides) (1) ; [voir pour forêts anciennes sentinelles (15 sites) : le nombre d'hépatiques par site varie entre 3 et 18, représentant un pourcentage sur le nombre d'espèces de bryophytes de 9 à 40 % ; ce critère ne semble pas suffisant pour caractériser une forêt ancienne] - recouvrement en bryophytes ; - richesse spécifique en bryophytes.
Lorber & Vallauri, 2007 (indications sur les bryophytes de V. Hugonnot)	France	Région méditerranée	Naturalité	Le caractère indicateur est lié aux besoins d'ombrage et d'hygrométrie ou trophiques, une dispersion limitée, la présence d'arbres sénescents.	<i>Antitrichia californica</i> , <i>Buxbaumia viridis</i> , <i>Leucodon sciuroides</i> , <i>Neckera besseri</i> , <i>Orthotrichum sp.</i> , <i>Scorpiurium sendtneri</i> , <i>Zygodon forsteri</i> . La plupart de ces espèces sont absentes de notre diction (IC) ; seul <i>L. sciuroides</i> et <i>Orthotrichum sp.</i> sont présents
Laüt et al. 2014	France	Forêt domaniale de Tronçais	Forêts occupées ou non à l'époque romaine	Les espèces qui préfèrent les sites antiques sont neutrophiles ou nitrophiles, indicatrices de sols plus riches en éléments nutritifs, alors que celles qui les évitent sont acidiphiles, indicatrices de sols plus acides.	Espèces de forêts non occupées à l'époque romaine : <i>Polytrichum formosum</i> <i>Dicranella heteromalla</i> <i>Leucobryum glaucum</i>
Mölder et al. 2015	Allemagne	Lander du nord	Forêts anciennes	Un groupe de 17 espèces (groupe à <i>Eurhynchium striatum</i>) est lié aux forêts caducifoliées sur sols basiques à forte humidité Un second groupe de 14 espèces (groupe à <i>Leucobryum glaucum</i>) correspond à un cortège acidiphile des hêtraies acidiphiles et des forêts mixtes ou de conifères.	<i>Leucobryum glaucum</i> <i>Mnium hornum</i> <i>Polytrichastrum formosum</i> <i>Thuidium tamariscinum</i>
Celle & al. 2017	France	Massif central	Forêts anciennes	Espèces testées avec chloris : uniquement bryophytes du sol	<i>Atrichum undulatum</i> sol dénudé <i>Buxbaumia viridis</i> bois pourrissant <i>Dicranum scoparium</i> sol <i>Diplophyllum albicans</i> sol ou rochers <i>Isothecium alopecuroides</i> bas de troncs, souches <i>bois pourrissant</i> <i>Lepidozia reptans</i> sol <i>Leucobryum glaucum</i> rochers <i>Marsupella emarginata</i> sol humide <i>Mnium hornum</i> sol <i>Plagiochila porelloides</i> sol humide, bois pourrissant <i>Polytrichastrum formosum</i> sol <i>Rhizomnium punctatum</i> sol humide <i>Rhytidiadelphus loreus</i> bois pourrissant <i>Sphagnum palustre</i> <i>Tetraphis pellucida</i> <i>Thuidium tamariscinum</i> sol en gras : espèces retenues comme test <i>in situ</i> essai de comparaison avec espèces indicatrices de forêts récentes

Auteur, date	Pays de l'étude	Précision géographique	Type de forêt	Commentaire de l'auteur	Proposition de liste d'espèces indicatrices
Infante 2019	France	Piémont méditerranéenne	Vieilles forêts	Pas d'accès possible aux annexes (« confidentiel »!)	23 espèces sélectionnées (critères : dioïque ou sans propagules, espèces itinérantes ou vivaces, sciaphiles)

(1) La proportion d'hépatiques semble surtout liée au caractère atlantique des forêts. Ainsi, dans une forêt à l'abri des interventions humaines et isolée, comme aux Açores, la proportion d'hépatiques est très élevée : 64 espèces d'hépatiques pour 41 espèces de mousses. Autre exemple en Guyane, une forêt (*lowland rain forest*) abrite en épiphytes 82 espèces d'hépatiques pour 52 espèces de mousses. (GABRIEL R. & J.W. BATES, 2005).

A une demande de piste bibliographique concernant de potentiels indicateurs des bryophytes sur les forêts anciennes, V. Hugonnot répond (mai 2020) : « *Il n'existe pas de travaux pratiques sur ce sujet. Il y a bien des références plus théoriques sur le net mais elles ne concernent pas les bryophytes ou alors de manière marginale. Il faut "inventer" quelque chose à mon avis sur la base de tes observations originales.* »

Remarques de V. Hugonnot dans (Lorber et Vallauri 2007) : « *Les espèces saxicoles peuvent très bien caractériser une forêt ancienne, car certaines espèces, saxicoles ou corticoles sont sensibles à l'ambiance forestière. Le caractère indicateur des espèces peut être accentué en limite d'aire (écologique ou altitudinale) ou en zone refuge, certaines espèces même seront indicatrices dans ces conditions et ne le seront pas dans la partie principale de leur aire.* »

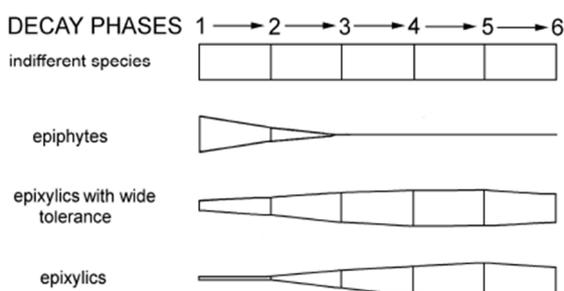
Remarques de Jaoua Celle dans (Celle 2017) : « *Il n'apparaît pas probant d'utiliser les espèces du sol seules (souvent fort recouvrement muscinal avec très peu d'espèces ; ajouter par ex. Buxbaumia viridis pour les forêts de montagne)* ». Conclusions de Jaoua : « *Tout d'abord, le fait que les espèces rares, potentiellement les plus indicatrices, ne figurent pas dans ces listes (faute d'occurrences suffisantes pour passer les seuils de significativité) pose un vrai problème. D'autre part il ne faut pas perdre de vue que ce qui est désigné par « espèce indicatrice » d'après les analyses statistiques, n'est qu'une espèce qui est plus fréquente en forêt ancienne qu'en forêt récente (ou inversement). Or lorsqu'on regarde les données d'occurrences, les écarts sont souvent assez peu importants, signifiant ainsi une fidélité très relative de l'espèce à un type de forêt (ancienne ou récente). Il pourrait s'agir simplement « d'espèces guides » dans le cadre de protocoles multidisciplinaires n'intégrant pas uniquement les bryophytes. Isothecium alopecuroides et Plagiochila porelloides pour les forêts anciennes Scleropodium purum pour les forêts récentes.* ». Il existe toutefois des tests statistiques permettant de voir si les différences de fréquence d'apparition des espèces en forêts anciennes ou récentes sont significatives. Par ailleurs, il ne s'agirait pas uniquement de produire des listes d'espèces mais des indicateurs, permettant d'interpréter la composition de l'ensemble d'un cortège et de son affinité avec l'ancienneté forestière.

I.2. Espèces de bryophytes indicatrices de la maturité forestière

De nombreuses publications traitent de la maturité des forêts. Pour caractériser des forêts **matures**, il semble important de prendre en compte les espèces se développant sur le bois mort en décomposition. Si les forêts sont gérées peu intensivement, en laissant les arbres et branches mortes évoluer naturellement, les communautés bryologiques saprolignicoles peuvent se développer : ce sont les troncs tombés au sol qui abriteront le plus d'espèces, les cortèges évoluant en même temps que l'avancée de la décomposition. De nombreuses études ont été faites sur ces communautés, en voilà quelques exemples :

Tableau 7 : Synthèse bibliographique sur les espèces de bryophytes indicatrices de maturité forestière

Auteur date	Pays, type de forêt	Commentaires	Espèces indicatrices de maturité ?
Andersson L. & Hytteborn H. 1991	Suède Une forêt naturelle de <i>Picea abies</i> principalement (pas d'intervention depuis environ 200 ans) Une forêt gérée, coupée à blanc début XXe et exploitée, <i>Picea abies</i> et <i>Pinus sylvestris</i>	D'avantage d'espèces épixyliques dans la forêt naturelle (stades avancés de décomposition) favorisées par la présence de troncs de grande taille au sol et la diversité des essences (différents feuillus dans la forêt naturelle)	16 espèces saprolognicoles dans la forêt naturelle, 5 espèces dans la forêt gérée
Odor & al. 2004	Hongrie Forêt de hêtres (150 – 250 ans)	Préférence des bryophytes pour certains états de décomposition du bois mort	Pas évoqué entrée biodiversité
Odor & al. 2006	Hêtraies d'Europe (Slovénie, Hongrie, Pays-Bas, Belgique et Danemark) forêts de plus de 150 ans	La fragmentation des forêts est très préjudiciable aux bryophytes vivant sur le bois mort, car ils ont besoin d'une ambiance humide et confinée.	Pas évoqué entre 48 et 103 espèces suivant les forêts étudiées
Hugonnot 2011	Ain Forêt en RBI (hêtraies et sapinières) Analyse des communautés saprolognicoles de la RBI étudiée dans Hugonnot 2010	Etude faite principalement sur bois de <u>sapins pourrissants</u> (qui abritent des communautés plus diversifiées que les feuillus de part la structure du bois).	« Les espèces et les communautés saprolognicoles en particulier montrent une spécialisation en fonction des micro-habitats disponibles et notamment du stade de décomposition du support. Les communautés des bois pourrissants peuvent à ce titre être employées comme des indicateurs pertinents de continuité forestière. »
Bardet 2014	Forêt du Morvan âge des arbres non mentionné	Hêtres : peu d'espèces de bryophytes Chênes : le plus d'espèces rares (hépatiques en particulier) Résineux : dégradation plus rapide ; abritent le plus d'hépatiques	Espèces spécifiques et récurrentes : <i>Dicranum montanum</i> <i>Herzogiella seligeri</i> <i>Lophocolea bidentata</i> <i>Lophocolea heterophylla</i> <i>Nowellia curvifolia</i> <i>Plagiothecium succulentum / nemorale</i> <i>Tetraphis pellucida</i>
Infante 2019	12 forêts anciennes de plaine et piémont midi-pyrénéen		<i>Dicranum flagellare</i> <i>Dicranum montanum</i> <i>Herzogiella seligeri</i> <i>Lepidozia reptans</i> <i>Leucobryum juniperoideum</i> <i>Lophocolea heterophylla</i> <i>Nowellia curvifolia</i> <i>Tetraphis pellucida</i>



Hypnum cupressiforme, *Bryum subelegans*, *Pseudoleskeella nervosa*, *Pterigynandrum filiforme*, *Platygyrium repens*, *Plagiomnium rostratum*, *Homalothecium sericeum*, *Metzgeria furcata*, *Isothecium alopecuroides*.

Leucodon sciuroides, *Orthotrichum stramineum*, *Frullania dilatata*.

Lophocolea heterophylla, *Brachythecium velutinum*, *Amblystegium serpens*, *Brachythecium rutabulum*, *Brachythecium salebrosum*, *Sanionia uncinata*, *Dicranum scoparium*.

Rhizomnium punctatum, *Herzogiella seligeri*, *Plagiomnium cuspidatum*, *Plagiothecium species*, *Amblystegium riparium*, *Lophocolea minor*, *Plagiochila porelloides*, *Blepharostoma trichophyllum*, *Riccardia palmata*, *Nowellia curvifolia*, *Chylosciphus pallescens*.

Figure 9 : Espèces de bryophytes identifiées en fonction de l'avancée de la décomposition du bois (Odor, 2006)

Decay phases	Bark	Twigs and branches	Softness	Surface	Shape
1	intact or missing only in small patches, more than 50%	present	hard or knife penetrate 1-2 mm	covered by bark, outline intact	circle
2	missing or less than 50%	only branches (>3 cm) present	hard or knife penetrate less than 1 cm	smooth, outline intact	circle
3	missing	missing	begin to be soft, knife penetrate 1-5 cm	smooth or crevices present, outline intact	circle
4	missing	missing	soft, knife penetrate more than 5 cm	large crevices, small pieces missing, outline intact	circle or elliptic
5	missing	missing	soft, knife penetrate more than 5 cm	large pieces missing, outline partly deformed	flat elliptic
6	missing	missing	soft, partly reduced to mould, only core of wood	outline hard to define	flat elliptic covered by soil

Figure 10 : Les différents états du bois pourrissant (Odor, 2004)

La forêt mature sera caractérisée par la présence de bois mort au sol de toute taille et en particulier de troncs, présentant des stades de décompositions variés : cet habitat permettra l'installation d'un nombre d'espèces de bryophytes spécifiques (appelées saprolignicoles ou épixyliques). **Toutefois, les travaux parcourus n'indiquent pas de seuil de nombre d'espèces permettant de dire que la forêt est mature.**

II. Application aux forêts de Nouvelle-Aquitaine

II.1. Exploitation de données disponibles en Nouvelle-Aquitaine

Etude du cortège bryologique des hêtraies planitiaires

Un autre programme mené par le CBNSA, étudie la réponse des **hêtraies de plaines** au changement climatique (programme « Sentinelles du Climat »). La tableau 8 présenté à la page suivante rassemble les relevés de bryophytes réalisés sur les **seize placettes de suivi**. Les espèces sont regroupées par écologie (corticoles de tronc, corticoles de branches, humus, saprolignicoles, etc.).

La quasi-totalité des sites d'étude sont des forêts anciennes, sauf la forêt de Campagne (première colonne du tableau 8). En termes de maturité, les forêts de Lussagnet, Benejacq, Aulnay et Braconné (dernières colonnes du tableau) ne présentent pas d'arbres ayant dépassé leur diamètre d'exploitabilité, ni de gros bois morts. La question est la suivante : « Les espèces de mousses présentes dans les différents inventaires effectués sur un échantillonnage de forêts anciennes et matures pourraient-elles être considérées comme indicatrices ? »

La diversité des espèces est très variable d'une forêt à l'autre (de 20 à 45 espèces de bryophytes). Cela est lié principalement à la diversité des microhabitats : la présence de rochers, la pente permettant à la terre de rester nue, la présence de bois mort de taille suffisante au sol (les troncs qui se décomposent lentement abritent davantage d'espèces), etc.

Les espèces les plus souvent observées sur les parcelles sont **grisées** dans le tableau 8. Il s'agit surtout d'espèces communes et parfois ubiquistes, mais on peut en extraire quelques-unes qui, d'expérience, semblent **caractéristiques des forêts « bien établies »** (à défaut de parler d'anciennes) : ***Isothecium alopecuroides* - *Isothecium myosuroides* - *Neckera complanata* - *Neckera pumilla*** (mais ces espèces sont aussi observées dans des forêts très perturbées, comme celle d'Aulnay). Les espèces d'**hépatiques** sont mises en évidence **en gras** dans le tableau 8. Groupe taxonomique souvent utilisé dans la bibliographie comme potentiellement indicateur d'ancienneté ou de maturité.

La diversité des espèces saprolignicoles est également très variable (entre 0 et 7 espèces identifiées). Deux forêts se distinguent par une diversité relativement importante de ces espèces : la forêt de Borne-Sauvagnac (24) avec 6 espèces saprolignicoles et la forêt de Mixe (64) avec 7 espèces, toutes deux à la fois anciennes et matures. La forêt de Mixe présente également la plus grande quantité d'hépatiques.

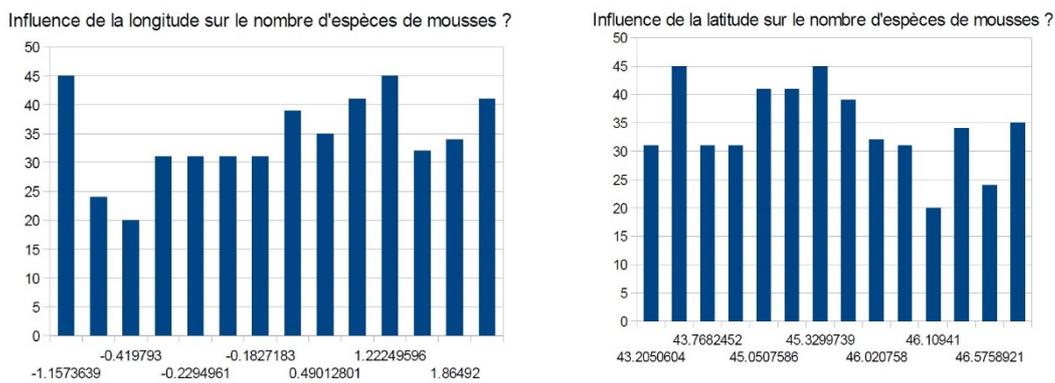
Tableau 8 : Relevés bryologiques sur les placettes de suivi en hêtre de plaine du programme Sentinelles du Climat

Les espèces en gras sont les hépatiques.

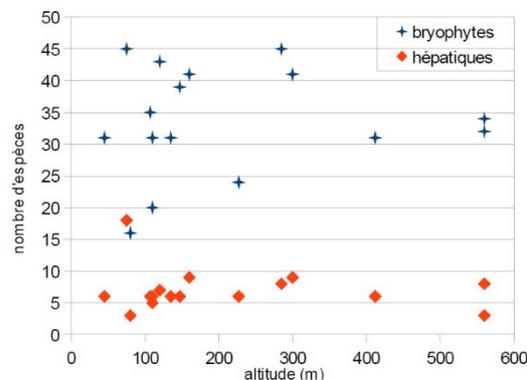
	Campagne (24)	Le Mas d'Agnas (47)	Borne-Savanac (24)	Mixe (64)	Montignac-lascaux (24)	Bernois-Beaulac (33)	Secogny (79)	Chizé (79)	Mouillères (86)	Chabrières (23)	Dauges (87)	Spontour (19)	Lussagnet (40)	Bénéjacq (64)	Aulnay (17)	Bracome (16)
forêt mûre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
forêt anciennes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
latitude	44.906351	44.394394	45.329739	43.433561	45.050758	44.383892	46.575821	46.10941	46.622829	46.7658	46.020758	45.236437	43.768242	43.2050804	46.0334979	45.652609
longitude	0.9710098	0.9396578	1.22249596	-1.1573639	1.97438438	-0.3121955	-0.4450033	-0.419793	0.4902801	1.86492	1.409287	2.8591	-0.2294961	-0.82783	-0.9182	0.29524801
altitude	120	80	285	75	60	45	227	10	107	560	560	300	10	412	195	117
nombre total d'espèces	44	16	45	45	41	31	24	20	35	34	32	41	31	31	31	39
nombre d'hépatiques	8	3	8	18	9	6	6	5	6	3	8	9	6	6	6	6
% d'hépatiques	18	18	18	40	22	19	25	25	17	9	25	22	19	19	19	15
espèces de bois pourrissant	4	0	6	7	2	3	1	0	2	1	3	1	2	3	2	3
% espèces bois pourrissant	9	0	13	16	5	10	4	0	6	3	9	2	6	10	6	8
carticoles troncs																
<i>Frullania dilatata</i>	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Hypnum cupressiforme</i>	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Metzgeria furcata</i>	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Isoetecium alopecuroides</i>	14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Isoetecium myosuroides</i>	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Neckera complanata</i>	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Homalothecium sericeum</i>	13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Brachythecium rutabulum</i>	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Frullania tamarisci</i>	11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Neckera pumila</i>	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Leucodon sciuroides</i>	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Neckera crispa</i>	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Hypnum andoi</i>	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Porella platyphylla</i>	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Zygodon rupestris</i>	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Lejeunea cavifolia</i>	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Homalothecium lutescens</i>	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Microlejeunea ulicina</i>	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Antitrichia curtipendula</i>	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Homalia trichomanoides</i>	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Anomodon viticulosus</i>	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Frullania fragillifolia</i>	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Platygyrium repens</i>	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Thamnobryum alopecurum</i>	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Zygodon conoideus</i>	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Hypnum resupinatum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Metzgeria temperata</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Pylaisia polyantha</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Rhynchostegium confertum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Zygodon viridissimus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
carticoles petites branches																
<i>Radula complanata</i>	13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Orthotrichum lyellii</i>	11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Ulotia crispa / crispula</i>	11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Orthotrichum affine</i>	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Orthotrichum striatum</i>	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Ulotia bruchii</i>	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Cryphaea heteromalla</i>	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Orthotrichum stramineum</i>	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Syntrichia papillosa</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
sol nu																
<i>Atrichum undulatum</i>	11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Dicranella heteromalla</i>	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Fissidens taxifolius</i>	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Campylopus introflexus</i>	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Calypogeia arguta</i>	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Calypogeia fissa</i>	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Diplophyllum albicans</i>	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Diplophyllum obtusifolium</i>	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Fissidens bryoides</i>	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Pleuroidium acuminatum</i>	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Pogonatum aloides</i>	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Fissidens exilis</i>	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Pohlia melanodon</i>	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Scapania nemorea</i>	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Trichodon cylindricus</i>	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Bryum rubens</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Didymodon insulanus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Fissidens viridulus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Funaria hygrometrica</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Pohlia lescuriana</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Pohlia lutescens</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Trichostomum crispulum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Weissia controversa</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
sol humus																
<i>Thuidium tamariscinum</i>	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Dicranum scoparium</i>	13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Eurhynchium striatum</i>	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Polytrichum formosum</i>	11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Kindbergia praelonga</i>	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Pseudotaxiphyllum elegans</i>	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Bryum capillare</i>	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Leucobryum glaucum</i>	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Loeskeobryum brevirostre</i>	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Pseudoscleropodium purum</i>	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Rhytidadelphus loreus</i>	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Rhytidadelphus triquetrus</i>	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Ctenidium molluscum</i>	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Hylacomium splendens</i>	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Mnium hornum</i>	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Hypnum jutlandicum</i>	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Oxyrrhynchium hians</i>	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Campylophyllum calcareum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Diphyscium foliosum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Hycomium armoricum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Pellia epiphylla</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Plagiothecium curvifolium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Plagiothecium denticulatum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Plagiothecium succulentum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Pleurozium schreiberi</i>	1	1	1	1												

Sur certaines parcelles, l'effet de lisière doit se faire sentir, soit par la présence de parcelles coupées proches, soit par la gestion qui a ouvert le sous-bois ne laissant sur pied que les arbres de plus gros diamètres. La présence d'*Orthotrichum stramineum* ou *Pseudoscleropodium purum* serait liée à cet effet.

Si l'on compare ce cortège à celui rassemblé dans le tableau 7 de l'analyse bibliographique (indicatrices de « maturité forestière »), seulement 2 à 6 espèces sont retrouvées dans les forêts inventoriées. Peut-être que les massifs forestiers contenant les parcelles n'étaient pas assez vastes pour maintenir une ambiance suffisamment humide pour ces espèces. A noter qu'il n'y a pas d'influence marquée de l'atlantinité des forêts sur le nombre d'espèces de mousses ou la proportion d'hépatiques, non plus que de l'altitude (voir les graphes ci-dessous).



Graph 1 et 1bis : Longitude/latitude des sites de suivi Sentinelles du Climat et nombre de bryophytes observés



Graph 2 : Altitude des sites de suivi Sentinelles du Climat et nombre de bryophytes observés (avec distinction des hépatiques)

L'exemple de ces forêts, suivies dans le cadre du programme Sentinelle, semble montrer qu'il est difficile de mettre en évidence des espèces indicatrices de forêts anciennes (très peu d'espèces en commun autre que les espèces banales). Il faudrait de plus pouvoir comparer avec les cortèges de forêts récentes. Concernant la maturité, la présence de communautés de bois mort serait certainement parlante, mais toutes les forêts matures de l'échantillon n'en présentent pas (plusieurs forêts « matures » n'ont des communautés saprologéniques que très pauvres en espèces).

Exploitation de données dans l'Observatoire de la Biodiversité Végétales de Nouvelle-Aquitaine (OBV-NA)

Dans cette partie, nous allons vérifier la continuité forestière, depuis les années 1950, de quelques forêts dans lesquelles ont été observées *Isoetecium alopecuroides* et *Frullania tamarisci*. Ces deux espèces sont assez communes, mais elles sont citées dans la bibliographie évoquée en première partie. ***Isoetecium alopecuroides* est dite potentiellement présente dans des forêts anciennes et matures, *Frullania tamarisci* apparaît dans la littérature pour les forêts matures uniquement.** Des données sont disponibles pour ces espèces dans l'OBV, la base de données du CBNSA. Attention, ces comparaisons ne concerneraient qu'une ancienneté très relative, 70 ans seulement (de 1950 à nos jours), et ne gagent pas de la maturité du boisement.

Isoetecium alopecuroides :

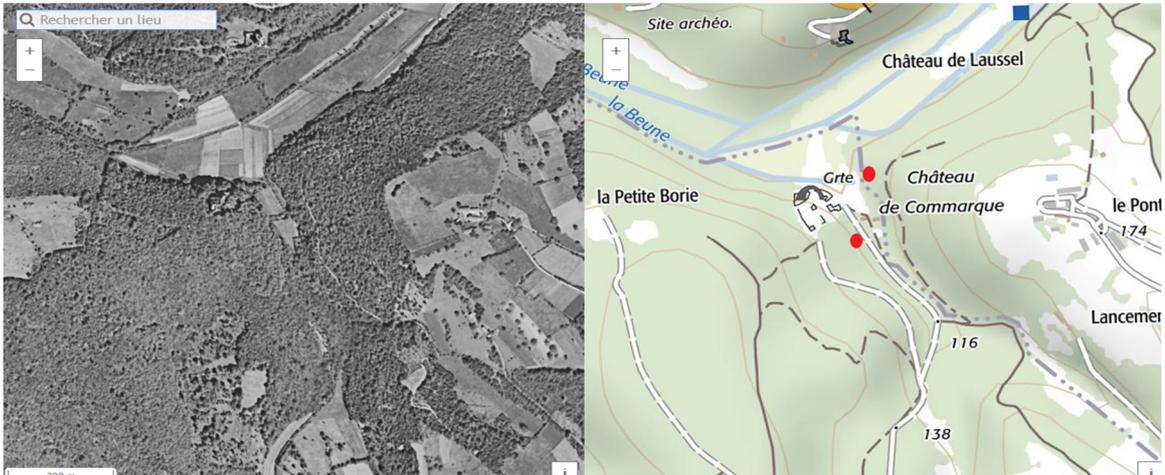


Isoetecium alopecuroides
Photo Marc Chouillou
Puy-de-Dôme et Cantal - 2017
(vue d'ensemble
vue rapprochée en mélange avec *Hypnum cupressiforme*
détail de feuille raméale)

Cette espèce pourrait être indicatrice d'ancienneté ou de maturité dans les forêts de plaine peu humides de Nouvelle-Aquitaine (en excluant peut-être le Pays basque où cette espèce est sans doute beaucoup plus présente). Elle s'installe sur la partie basse des troncs ou bien au sol.

Sur quelques exemples, nous positionnons les données de cette espèce, observée dans des forêts actuelles, sur des photos aériennes historiques (entre 1950-1960).

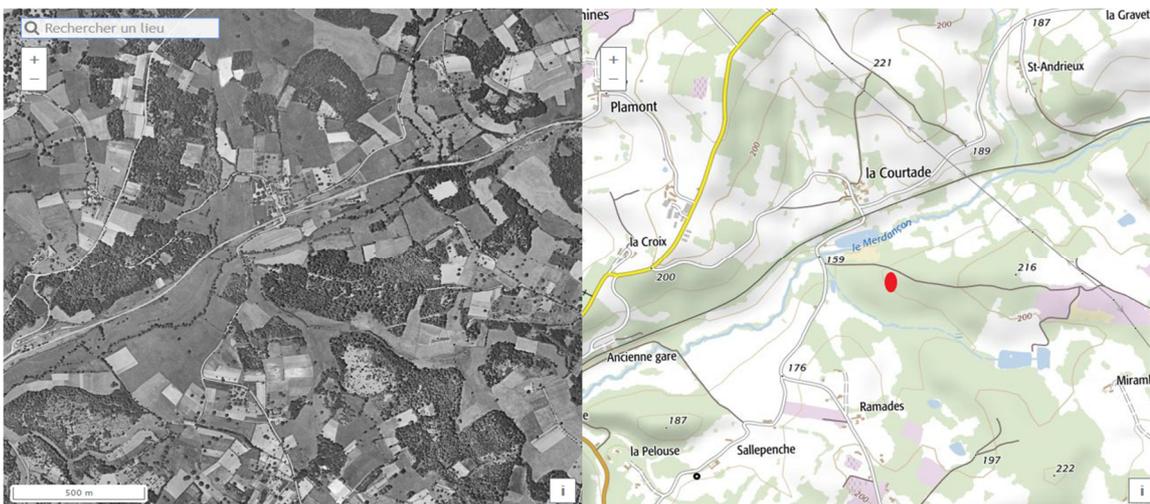
1. Château de Commarque en Dordogne (commune de Marquay et des Eyzies-de-Tayac-Sireuil) : Observations d'*Isotheicum alopecuroides* à droite, photo aérienne de 1957 à gauche : la forêt est présente sur ce site depuis au moins 70 ans.



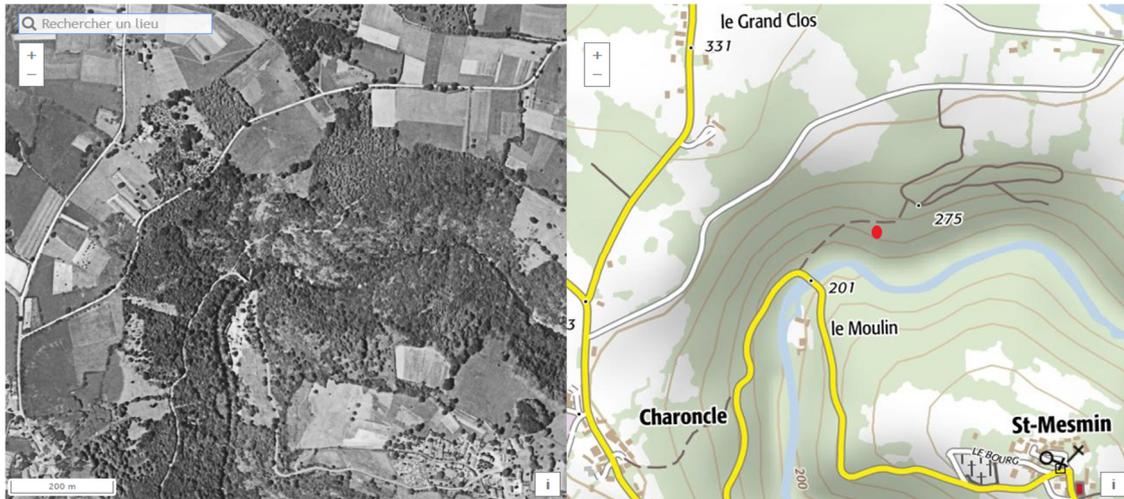
2. Causse de Dordogne (Limeyrat) : Photo aérienne de 1960, la forêt est présente sur ce site depuis au moins 70 ans mais les arbres semblent épars (pâturage en sous-bois?).



3. Nord de la Dordogne (Saint-Germain-des-près) : photo aérienne de 1960, la forêt est présente sur ce site depuis au moins 70 ans.



4. Nord-est de la Dordogne (Saint-Mesmin, gorges de l'Auvézère) : photo aérienne de 1960, la forêt semble présente sur ce site depuis au moins 70 ans mais le secteur semble escarpé, avec de la roche affleurante.

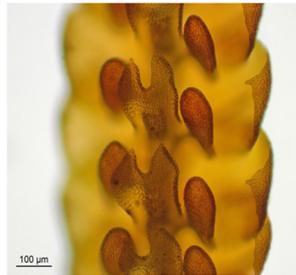


5. Landes (Sore) : photo aérienne de 1950 à gauche, la photo semble montrer des alignements (plantations ?) et la BD ortho infrarouge montre des feuillus seulement le long de la Petite Leyre.



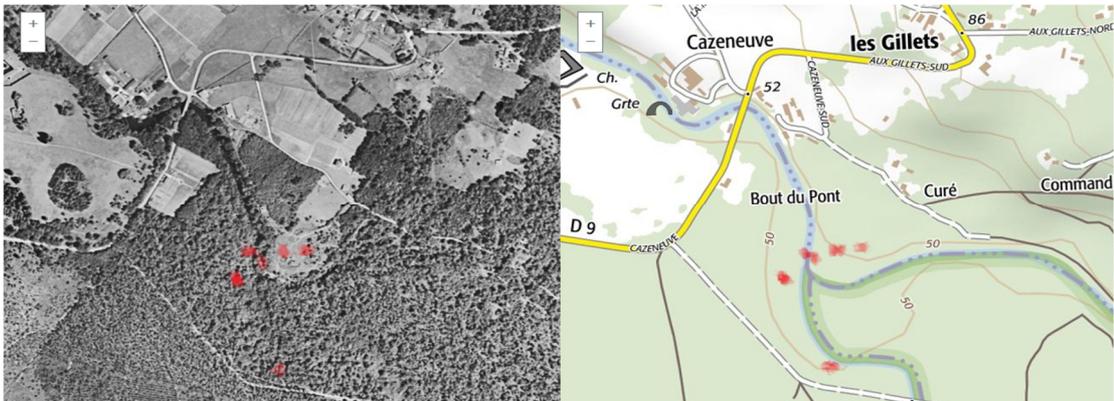
Sur ces exemples, il semble que l'espèce puisse être indicatrice, mais la présence d'*Isothecium alopecuroides* n'est pas suffisante pour identifier une forêt ancienne ; en effet, la forêt d'Aulnay n'existait pas dans les années 1950, mais elle abrite pourtant cette espèce. Il serait également possible d'utiliser *Neckera pumila*, mais nous disposons de trop peu de données dans l'OBV.

Frullania tamarisci :



Frullania tamarisci
Photo Marc Chouillou
Lozère et Corrèze- 2013-17
(vue d'ensemble
et vue rapprochée)

1. Est de la Gironde (Pompejac) : Présence de l'espèce à la fois sur des parcelles avec des arbres dispersés et de la forêt, sur la photo aérienne de la campagne 1950 (zone de pâturage probable dans la partie est).



D'autres observations actuelles en forêts semblent correspondre à des arbres de bord de ruisseau (par ex. sur Giscos, Escaudes, au bord du Ciron). *Frullania tamarisci* peut être présent sur des arbres de forêts visibles sur les photos aériennes de 1950 ou non (d'anciens arbres de lisières ou d'alignement lui conviennent aussi).

Ces exemples sont peu probants. Il faut peut-être rappeler ici que les oiseaux sont des vecteurs importants pour la diffusion des espèces de bryophytes forestières (Chmielewski 2019). En effet, les bryophytes ont diverses stratégies de dispersion, à la fois sexuées (production de spores) et végétatives (multiplication par fragments de tissus ou par des organes spécifiques appelés propagules) et ceci est vrai pour toutes les espèces. Il suffit donc qu'à quelques kilomètres une mousse soit présente pour qu'elle soit transportée dans le plumage et s'implante dans un bois aussitôt que les conditions locales lui conviennent.

A partir de la lecture des travaux sur le sujet, il semble que **des études restent à entreprendre pour définir des espèces indicatrices d'ancienneté ou de maturité en Nouvelle-Aquitaine**. Il sera alors important de prendre des données de **covariables environnementales** lors des inventaires. Certaines espèces saprolognocoliques ne s'installeront que si le substrat a été préparé par la présence de champignons décomposeurs et si l'ambiance est suffisamment tamponnée par une vaste étendue de forêt.

II.2. Éléments pour la construction d'un indice bryophytique de vieilles forêts

La première étape serait de **poursuivre la saisie de données** géolocalisées (précisément ou à l'échelle de la commune) dans la **bibliographie**. Des publications intéressantes portent sur le Poitou-Charentes et pourraient être traitées en priorité : (Barbier 1973) sur la Vienne, (Rallet 1966) sur les Deux-Sèvres. Ensuite, il sera nécessaire de pouvoir comparer des relevés réalisés en forêts anciennes, en forêts récentes et de couvrir un gradient de maturité dans chaque catégorie. Une campagne de terrain dédiée sera nécessaire.

Concernant la **méthode d'échantillonnage** sur site, toutes les espèces de bryophytes présentes sur un boisement apparaissant homogène devront être relevées. La taille et l'implantation de la placette restent à définir. L'opérateur veillera à **échantillonner du bois mort à différents stades de décomposition, debout, au sol, à regarder les dendromicrohabitats ainsi que tous les troncs vivants jusqu'à environ 1,5m de hauteur** (exclure peut-être les branchettes tombées au sol qui peuvent porter des espèces de la canopée et inclure donc un effet lisière dans le jeu de données).

Remarque : Il semble que l'on trouve davantage d'espèces saprolignicoles sur résineux en décomposition que sur feuillus, à cause de la structure du bois (davantage spongieux et restant humide chez les résineux) ; il faudra donc veiller à ce que la composition en essences du peuplement ne constitue pas un biais dans la détermination des espèces indicatrices.

En termes d'indice, le **rapport « espèces de forêts anciennes »/« espèces de forêts jeunes » pourrait être étudié, mais les listes restent à définir**. Il apparaît d'ailleurs difficile de définir des listes d'espèces par entité biogéographique (peut-être distinguer les forêts du Pays basque). Plusieurs espèces potentiellement indicatrices de forêts anciennes, qui apparaissent dans la littérature scientifique, sont relativement communes dans les boisements de Nouvelle-Aquitaine. Il conviendra donc de rééchantillonner les données, ou de mener des campagnes de terrain, permettant de faire des analyses sur des forêts anciennes et des forêts récentes. Il sera également nécessaire de **fixer des seuils** à l'indicateur, pour être en mesure d'établir un diagnostic. Il est enfin possible de considérer le **nombre d'espèces d'hépatiques (ou le pourcentage) afin de distinguer des forêts plus naturelles**.

Bibliographie

BARBIER A., 1973 - Contribution à l'étude de la bryoflore du département de la Vienne. *Revue de la Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles*, 3ème série 12 (50), pp. 1-44.

ANDERSSON L. & HYTTEBORN H., 1991 - Bryophytes and Decaying Wood : A Comparison between Managed and Natural Forest. *Holarctic Ecology*, 14 (2), pp. 121-130.

BARDET O., 2014 – *Diagnostic de la biodiversité associée aux vieux bois, arbres de gros diamètre et bois mort dans forêts du Morvan, Volet Bryophytes*. Conservatoire botanique nationale du Bassin Parisien, délégation Bourgogne. 24 p. +annexes.

CELLE J., POUVREAU M. & VILLEMÉY A., 2017 - Bryophytes, ancienneté et maturité des forêts. In : Renaux, 2017 - *Identifier et caractériser les forêts anciennes du Massif central. État des connaissances – boîte-à-outils – perspectives*. Conservatoire botanique national du Massif central, Union Européenne (FEDER Massif central), République française (FNADT), Région Auvergne-Rhône-Alpes, Région Nouvelle-Aquitaine, Département de l'Allier. 94 p. + 1 volume d'annexes.

CHMIELEWSKI M.W., EPPLEY S.M., 2019 - Forest passerines as a novel dispersal vector of viable bryophyte propagules. *Proceedings of the Royal Soc. B* 286, 1897, 20182253. Disponible à l'adresse : <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2018.2253>

DAMBRINE, E., DUPOUEY, J.-L., LAÛT, L., HUMBERT, L., THINON, M., BEAUFILS, T. & RICHARD, H. 2007 - Present forest biodiversity patterns in France related to former Roman agriculture. *Ecology* 88, pp. 1430–1439.

DUPOUEY J. L., DAMBRINE E., LAFFITE J.D., and MOARES C., 2002 - Irreversible impact of past land use on forest soils and biodiversity. *Ecology*, 83(11), pp. 2978–2984.

FREGO K. A., 2007 - Bryophytes as potential indicators of forest integrity. *Forest Ecology and Management* 242(1), pp. 65–75.

GABRIEL R. & J.W. BATES, 2005 - Bryophyte community composition and habitat specificity in the natural forests of Terceira, Azores. *Plant Ecology* 177, pp. 125–144.

GAUTROT T., 2011 – *La bryoflore associée au bois mort en contexte forestier planitiaire, exemple de deux massifs du bassin parisien*. Thèse de doctorat. Paris : Ecole Pratique des Hautes Etudes.

HUGONNOT V., 2010 – la Flore bryophytique d'une réserve biologique intégrale de l'ONF. : le site d'Arvières (Ain). *Les Nouvelles Archives de la Flore jurassienne*, 8 : 227-236.

HUGONNOT V., 2011 – Les bryocénoses saprolignicoles de la réserve biologique intégrale du site d'Arvières (Ain). *Les Nouvelles Archives de la Flore jurassienne*, 9, pp. 45-51.

INFANTE SANCHEZ M. 2019 – *Bryophytes des vieilles forêts de la plaine et du piémont de midi-pyrénées*. Rapport réalisé dans le cadre de l'Inventaire et caractérisation des noyaux de vieilles forêts de plaine. Pour une continuité de la trame forestière entre Pyrénées et Massif Central – Conservatoire botanique National des Pyrénées et Midi-Pyrénées, 30 p + annexes.

LORBER D. & VALLAURI D., 2007 - *Contribution à l'analyse des forêts anciennes de l'écorégion Méditerranée 1. Critères et indicateurs du gradient de naturalité*. Rapport. Marseille : WWF, 95 pages.

MÖLDER, A., SCHMIDT, M., ENGEL, F., SCHÖNFELDER, E., & SCHULZ, F., 2015 - Bryophytes as indicators of ancient woodlands in Schleswig-Holstein (Northern Germany). *Ecological Indicators* 54, pp. 12–30.

ÓDOR P. & VAN HEES A.-F.-M., 2004 - Preferences of dead wood inhabiting bryophytes to decay phase, log size and habitat types in Hungarian beech forests. *Journal of Bryology*, 26, pp. 79-95.

ODOR P. & al., 2006 - Diversity of dead wood inhabiting fungi and bryophytes in semi-natural beech forests in Europe. *Biol Conserv.* 131, pp. 58–71.

RALLET 1966 - Catalogue des muscinées du département des Deux-Sèvres d'après les notes trouvées dans les papiers de J. CHARRIER (1879-1963). *Revue de la Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles*, 3ème série 5(19), 50 p.

RENAUX B. & VILLEMÉY A. (coord.) 2017 – *Identifier et caractériser les forêts anciennes du Massif central. État des connaissances – boîte-à-outils – perspectives*. Conservatoire botanique national du Massif central, Union Européenne (FEDER Massif central), République française (FNADT), Région Auvergne-Rhône-Alpes, Région Nouvelle-Aquitaine, Département de l'Allier. 94 p. + 1 volume d'annexes.

ROSE F., 1993 - Ancient British woodlands and their epiphytes. *Bri. Wildl.* 5, pp. 83–93.

CONCLUSION GENERALE : CE QU'IL FAUT RETENIR

Ce rapport propose un **protocole de terrain**, dont l'objectif est de **définir le niveau de maturité qui caractérise les vieilles forêts de Nouvelle-Aquitaine**. Ce protocole s'applique aux forêts de plus de 0.5 ha, dont l'ancienneté a été confirmée (présentes sur les cartes d'état-major vers 1850 et sur les photographies aériennes des années 1950-65). Il n'a pas pour objectif de cartographier l'ensemble des vieilles forêts de Nouvelle-Aquitaine, ni d'en caractériser la biodiversité potentielle. En revanche, la détermination des seuils dendrométriques caractérisant les vieilles forêts permettra, *a posteriori*, de **calibrer des outils de diagnostic utiles à l'ensemble du monde naturaliste et forestier**. De plus, les données récoltées grâce au protocole ont une précision suffisante pour **alimenter de futurs modèles de télédétection**. La mise en œuvre du protocole requiert une formation spécifique, des compétences en écologie et dendrologie forestière étant requises.

Sont également proposées dans ce rapport, trois synthèses sur la possibilité de construire des **indicateurs** d'ancienneté ou de maturité forestière, respectivement par la **flore vasculaire**, les **lichens** et les **bryophytes**. Il apparaît nécessaire, pour les trois groupes concernés, de produire dans un premier temps des **listes d'espèces caractéristiques**, grâce à des analyses statistiques intégrant des **covariables** environnementales, paysagères et historiques. En l'absence d'une base de données suffisamment importante et détenant les informations adéquates, des inventaires doivent être menés sur le terrain, suivant des **protocoles adaptés**. Il est important, par ailleurs, de produire des listes d'espèces distinctes suivant les **différentes zones biogéographiques d'un territoire**, homogènes vis-à-vis du climat et si possible de la géologie, afin de s'affranchir d'un certain nombre de biais.

Après cette première étape d'élaboration des listes, leur utilisation passe par la **construction d'un indice**, c'est-à-dire d'une formule permettant d'intégrer l'ensemble du cortège observé dans une forêt. Des **seuils d'interprétation** doivent être proposés pour cet indice, ainsi qu'une estimation du **taux d'erreur**. A noter que des indicateurs basés sur la flore vasculaire et les lichens ont été proposés pour le Limousin par le Conservatoire Botanique National du Massif Central.

La synthèse concernant la **flore vasculaire** met en évidence les nombreux biais susceptibles de fausser la production de listes d'espèces qui seraient caractéristiques de l'**ancienneté** forestière. Par conséquent, la base de données à exploiter, ainsi que les traitements statistiques à y appliquer, doivent faire l'objet d'une étude approfondie, préférentiellement en partenariat avec un laboratoire de recherche. Pour les **lichens et les bryophytes**, une riche littérature scientifique est disponible quant à leur potentiel indicateur de **vieilles forêts** (attestant de la pertinence de l'utilisation de ces groupes), **mais les données sont peu nombreuses** sur la région Nouvelle-Aquitaine. Il est donc indispensable de **récolter des données sur le terrain**, au sein des différentes zones biogéographiques de Nouvelle-Aquitaine, suivant un **protocole spécifique qu'il reste à développer**. Les étapes de construction d'indices pourront venir dans un second temps, toutefois des pistes sont proposées dans les synthèses.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figures :

Figure 1 : Seuils de maturité recherchés pour les vieilles forêts.....	11
Figure 2 : Exemple de peuplement mature à inventorier, photo aérienne actuelle	13
Figure 3 : Exemple de peuplement mature à inventorier, photo aérienne des années 1950-65.....	13
Figure 4 : Fiche de relevé du protocole de caractérisation des vieilles forêts de Nouvelle-Aquitaine.	18
Figure 6 : « Critère de définition des vieilles sapinières »	20
Figure 7 : « Critère de définition des vieilles forêts de plaine en Occitanie »	20
Figure 8 : Zones d'application des différents indices lichéniques suivant les régions climatiques de Grande Bretagne.....	55
Figure 9 : Cartes de répartition des données de l'OBV-NA pour <i>Lobaria pulmonaria</i> et <i>Lobaria scrobiculata</i> à l'échelle communale.....	61
Figure 10 : Espèces de bryophytes identifiées en fonction de l'avancée de la décomposition du bois	68
Figure 11 : Les différents états du bois pourrissant.....	69

Tableaux :

Tableau 1 : Synthèse bibliographique sur les liens entre flore vasculaire et forêts anciennes	29
Tableau 2 : Synthèse des listes d'espèces de flore vasculaire de forêts anciennes.....	32
Tableau 3 : 50 espèces de flore vasculaire liées aux forêts anciennes, citées dans 3 études sur 5.....	34
Tableau 4 : Résumés des études les plus pertinentes sur les lichens liés à l'ancienneté et à la maturité des forêts dans le monde, classées par origine géographique	44
Tableau 5 : Liste d'espèces de lichens caractéristiques de vieilles forêts pour chaque département du Massif Central.....	56
Tableau 6 : Synthèse bibliographique sur les espèces de bryophytes indicatrices d'ancienneté forestière (ou de vieilles forêts/naturelles)	65
Tableau 7 : Synthèse bibliographique sur les espèces de bryophytes indicatrices de maturité forestière	68
Tableau 8 : Relevés bryologiques sur les placettes de suivi en hêtraie de plaine du programme Sentinelles du Climat.....	71

Graphiques :

Graphe 1 et 1bis : Longitude/latitude des sites de suivi Sentinelles du Climat et nombre de bryophytes observés	72
Graphe 2 : Altitude des sites de suivi Sentinelles du Climat et nombre de bryophytes observés (avec distinction des hépatiques)	72

ANNEXE

Notice d'utilisation de la fiche terrain du protocole « Caractérisation des vieilles forêts de Nouvelle- Aquitaine »

Notice d'utilisation de la fiche terrain du protocole « Caractérisation des vieilles forêts de Nouvelle-Aquitaine »

Version d'avril 2021 (Anna HOVER a.hover@cbnsa.fr CBNSA).

La présente notice porte sur la mise en œuvre d'un protocole permettant de caractériser les vieilles forêts (anciennes¹ et biologiquement matures²) de Nouvelle-Aquitaine. Une synthèse sur le contexte d'utilisation et la mise en œuvre du protocole est consultable dans le rapport : *Méthodes de caractérisation des vieilles forêts de Nouvelle-Aquitaine*, CBNSA, avril 2021.

Le protocole a pour objectif d'étudier l'extrémité positive du gradient de maturité biologique des forêts de la région, afin de définir notamment les seuils dendrométriques permettant d'identifier des vieilles forêts. Ces seuils pourront varier suivant les territoires (sylvoécorégions, étages bioclimatiques ou autres logiques de compartimentation). Les données à récolter sur le terrain sont choisies de manière à pouvoir alimenter des modèles de télédétection si nécessaire. Ce travail a été réalisé par le Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique, en étroite collaboration avec le Conservatoire Botanique National du Massif Central, dont les travaux sont disponibles à l'adresse suivante : <https://projets.cbnmc.fr/forets/actions/boite-outils-identifier-caracteriser>.

Cette notice indique le **matériel** nécessaire pour appliquer le protocole, puis chaque **rubrique** à renseigner dans la **fiche terrain** est détaillée. Des aides au diagnostic de terrain sont disponibles en **annexe**. Toutes les informations concernant la stratégie d'échantillonnage sont disponibles dans le rapport : *Méthodes de caractérisation des vieilles forêts de Nouvelle-Aquitaine*, CBNSA, avril 2021.

Matériel nécessaire

- GPS ;
- Boussole ;
- Clisimètre ou clinomètre (pente et hauteur des arbres) ;
- Ruban de cubage ou compas forestier ;
- Télémètre laser, à défaut deux décamètres de 60 m et des rubans biodégradables ou autres repères visuels ;
- Relascope (surface terrière [G]) ;
- Compteur quadruple (décomptes G par essence et classe de diamètre) ;
- Couteau (stades de décomposition du bois mort) ;
- Appareil photo ;
- Notice du protocole, fiches de terrain, cartes des sites avec orthophotos et une grille de mailles 100x100 m, bordereau cartographique (annexe 7 de cette notice), clé des humus (d'après JABIOL B. *et al*, 1995 - *L'humus sous toutes ses formes*. ENGREF).

Informations à renseigner dans la fiche terrain

Les rubriques en **noir** sont à renseigner obligatoirement, celles en **gris** sont optionnelles.

ID / Localisation

N° rel. : Numéro de la **placette pour laquelle la fiche est remplie**, au sein du polygone pré-identifié. Initiales Prénom Nom – numéro de placette – numéro de polygone – VF pour vieille forêt. Exemple : **AH0712VF** relevé réalisé par Anna Hover, 7^{ème} placette du polygone 12.

¹ Forêt ancienne : forêt dont la continuité temporelle est attestée par des documents historiques sur au moins 150 ans, quel que soit le niveau de perturbation.

² Forte maturité biologique : peuplements ayant dépassé l'âge d'exploitabilité économique, intégrant les phases « terminale » et de « déclin » du cycle sylvigénétique.

N° rel. associé(s) : Numéro des éventuels relevés associés (flore, phytosociologie, faune, autre protocole évaluant la naturalité forestière, etc.).

N° polyg. : Numéro de polygone **pré-identifié lors de la phase de bureau** (plusieurs relevés par polygone).

N° pt GPS : Numéro du point GPS pris **au centre de la placette circulaire**.

Coord. GPS : Longitude X et latitude Y des coordonnées du point GPS en WGS 84

Syst. Coord : Système de projection des coordonnées (WGS84 par défaut) préciser si autre (Lambert 93, Lambert II étendu, etc.).

Lieu-dit / commune / département (optionnel) : précisions géographiques

Date : Date du relevé

Observateur(s)/organisme(s) : Nom(s) de la ou des personne(s) lisant la placette et des organismes d'affiliation.

Nom projet : nom de projet/programme dans lequel est fait le relevé

Echantillonnage : méthode d'implantation de la placette de relevé

- « **statistique** » : placette implantée de manière systématique ou aléatoire, **afin d'être représentative d'un point de vue statistique** ;
- « orienté typique » : implantation « orientée typique », dans une partie du peuplement jugée « représentative du secteur » ;
- « maximum de maturité » : évaluation sur des zones choisies sur le terrain comme correspondant au maximum de maturité ;
- « contrainte » : implantation de la placette contrainte par manque de temps ou difficultés d'accès.

Surface de relevé (**annexe 1**) : La surface requise est un disque de 20 m de rayon (= 1257 m²). Cocher la case si c'est bien le cas. Si la placette a une surface différente, elle doit être indiquée de manière précise. Il s'agit d'une surface réelle au sol. ATTENTION : si le terrain est en pente, il est nécessaire de corriger le rayon de la placette, un abaque est disponible en **annexe 1**.

Photos : Références des photos réalisées sur la placette. Il est conseillé également, au démarrage du relevé, de prendre en photo la fiche de relevé avec son numéro et son emplacement, ce qui constituera un signal de nouveau site.

Pré-analyse

Section à renseigner au bureau concernant l'ensemble du polygone pré-cartographié (informations communes à l'ensemble des placettes réalisées dans le polygone).

Ancienneté présumée : FA = forêt présumée ancienne, FR = forêt présumée récente, ? = pas d'information

Sources :

- Cassini : couvert forestier sur la carte dite de Cassini, cocher oui, non ou partiel si la forêt est située sur une limite et donc non interprétable.
- Etat-major : couvert forestier sur la carte d'état-major, cocher oui, non ou partiel si la forêt est en limite (l'imprécision des cartes de l'état-major est de l'ordre de 100 m, variable selon les secteurs).
- Orthophotos années 50 : couvert forestier sur les photographies aériennes des années 1950, cocher oui, non ou partiel si la forêt est située sur une limite ou qu'elle est partiellement boisée.
- Autre : archives, carte postale ancienne, autres cartes anciennes...

Maturité présumée : Il est important de reporter sur le bordereau les informations issues de la phase de photo-interprétation au bureau, afin d'en disposer sur le terrain.

- Mature dominant : le peuplement semble avoir atteint un fort niveau de maturité (gros houppiers, arbres morts debout, etc.) sur au moins 80% de sa surface.
- Mature partiel : le peuplement semble avoir atteint un fort niveau de maturité sur une partie de la surface étudiée, entre 20 et 80% de la surface.
- Vieux arbres/ilots isolés : le peuplement semble ne présenter des très gros arbres ou du bois mort debout qu'au niveau de bosquets ou d'arbres isolés, représentant moins de 20% de la surface.
- Inconnu : à cocher si le travail de pré-analyse n'a pas été fait.

Sources : préciser les documents utilisés et leur date.

Contexte écologique

*Cette rubrique vise à comprendre si le peuplement croît dans des **conditions stationnelles difficiles**, qui justifieraient la réduction des **seuils de pré-comptage des diamètres** pour l'inventaire des très gros arbres vivants et du gros bois mort.*

Altitude (centre placette) : altitude en mètres, prise au centre du relevé (GPS ou carte IGN).

Exposition : orientation du versant, **Nord, Sud, Est, Ouest** ainsi que **Nord-Est, Nord-Ouest, Sud-Est, Sud-Ouest**. « Nulle » si le terrain est plat, situé sur un plateau ou dans un fond de vallon.

Pente : pente en degrés, mesurée précisément avec un clisimètre ou clinomètre (et non estimée à l'œil), indispensable à la correction de la surface terrière (**annexe 1**).

Topographie : situation topographique à échelle paysagère. Si plusieurs contextes sont présents dans le relevé, les noter tous en les hiérarchisant de 1 à 3 par exemple.

Contrainte stationnelle localisée :

- Engorgé : sols présentant un engorgement à proximité de la surface durant l'essentiel de la saison de végétation.
Ex : Aulnaie marécageuse.
- Tourbe : présence d'un horizon tourbeux acide. Généralement présence de sphaignes au sol.
- Éboulis > 80 % : sol **mobile**, constitué à au moins 80% d'éléments fins ou grossiers.
- Blocs/dalle > 80 % : sol constitué d'une dalle rocheuse affleurante ou de blocs stabilisés sur au moins 80 % de la surface.
- Xérophile : sols connaissant une période de sécheresse, de sorte que la sécheresse est une contrainte importante pour les espèces s'y développant : coteaux³, haut de versant, sol très superficiel, exposition chaude, crête, sommet.
- Absente : aucune de ces situations.

Secteurs à contrainte de croissance (**annexe 3**) :

- Dunes atlantiques : de la réserve naturelle du Courant d'Huchet (commune de Léon) au sud, à la pointe d'Arvert (au nord de l'estuaire de la Gironde), bande d'environ 5 km de large (à l'ouest des grands lacs). Sols sableux très filtrants, profonds mais acides et très peu fertiles. Secteur soumis aux embruns et accusant un déficit hydrique estival.
- Îles de Ré/Oléron et presqu'île d'Arvert : secteur très exposé aux vents et aux embruns. L'île de Ré et une grande partie de l'île d'Oléron sont composées de Terres de Groies (voir catégorie ci-dessous). La presqu'île d'Arvert et la pointe sud de l'île d'Oléron sont constituées de sables quartzeux très purs, légèrement carbonatés pour l'île d'Oléron.
- Terres de Groies et nord de la Champagne Charentaise : les Terres de Groies incluent les plaines et plateaux de l'Aunis et de l'Angoumois (axe La Rochelle – Saint-Jean-d'Angély - Angoulême), hors vallées. Secteur avec des sols argilo-calcaires secs, caillouteux, de faible profondeur et peu favorables à la production forestière.

³ Coteaux calcaires particulièrement dans les secteurs suivants (**annexe 3**) : Vallée de la Vienne et ses affluents ; cours d'eau encaissés en périphérie de Poitiers (Le Clain et ses affluents) ; vallée de la Charente et ses affluents ; estuaire de la Gironde ; ponctuellement dans l'Entre-Deux-Mers, la Haute-Guyenne (au nord de la rivière Lot) et le sud du département de la Dordogne ; vallées de la Garonne, du Lot, de la Dordogne, de la Vézère et leurs affluents ; coteaux de la Dronne et du Ribéacais (entre Angoulême et Périgueux).

S'ajoute à ce secteur le nord d'une couche géologique du Crétacé supérieur, présentant des zones décarbonatées avec argiles à silex, notamment entre Saintes et les marais de Brouage.

- **Causses** : (=plateaux karstiques fortement érodés)
 - A l'est de la Dordogne et au sud-ouest de la Corrèze, à plus de 200 m d'altitude :
 - Causses de Daglan,
 - Causses de Cubjac et de Thenon,
 - Causses de Terrasson- Nadaillac,
 - Causses de Martel.
 - Au nord-ouest de la Dordogne, entre Périgueux et Angoulême : petites causses du Mareuillais et de Paussac et Saint-Vivien.
- « Serres de l'Agenais » : correspond aux terrains en pente sur le secteur entre les cours d'eau du Lot et de la Garonne, au nord d'Agen. Les plateaux de ce même secteur présentent en revanche des sols profonds et sont fréquemment cultivés.
- **Néracais** (extrémité est du triangle landais, au sud-ouest du Lot-et-Garonne) : secteur où le climat thermophile et le déficit de pluie viennent se conjuguer au caractère pauvre et drainant des sables landais, créant des conditions accrues de contrainte à la croissance des arbres. Des peuplements de chênes lièges se développent dans ce secteur (syntaxon : Groupement à *Quercus pyrenaica* et *Quercus suber* Lafon, Leblond & Caze 2014 *nom. ined.* (art. 1) et *nom. inval.* (art. 2d, 3c)).
- **Subalpin** : Situation très ponctuelle en Nouvelle-Aquitaine, uniquement dans la chaîne des Pyrénées, à partir de 1 600 m d'altitude en versant N, 1 800 m en versant S.

pH, Humidité, Trophie (optionnel) : acidité, humidité et niveau trophique du sol, estimé par un écologue d'après la flore indicatrice et le type de végétation.

Type de végétation (annexe 2) : **champ obligatoire mais libre**. Il peut être rempli de manière différente en fonction des connaissances (syntaxon phytosociologique de différents niveaux ; codes de nomenclatures européennes : CORINE Biotope, EUNIS, etc. ; tout autre type de description). *A minima*, nommer le type de végétation (essences dominantes) et le contexte écologique (roche mère, etc.). Le sylvofaciès peut également être précisé.

Annexes à consulter :

- *Annexe 2 : liste des végétations susceptibles d'être rencontrées dans des conditions stationnelles contraignantes pour la croissance des arbres.*
- *Annexe 3 : cartes des secteurs dans lesquels la contrainte à la croissance des arbres est plus marquée et carte des secteurs de coteaux (contrainte xérique localisée).*

Composition et structure du peuplement

Composition : sur la placette de 20 m de rayon

- Noter toutes les essences d'arbres observées dans la strate arborée, arbustive ou herbacée (régénération).
- Spécifier ensuite la ou les essence(s) dominante(s) de la strate arborée, sur la base du taux de couvert des houppiers dans cette strate.

Hauteur (annexe 4) : sur la placette de 20 m de rayon

Cette mesure permet de juger de manière objective de l'existence de contraintes stationnelles importantes, qui impliqueraient l'application de seuils de diamètre abaissés.

- Cocher d'abord si la hauteur est mesurée précisément à l'aide d'un clinomètre ou d'un dendromètre, ou seulement estimée. Voir **annexe 4** pour les mesures précises.
- Mesurer le plus haut des arbres parmi ceux ayant le plus gros diamètre. **Noter la hauteur, l'essence et le diamètre**. Prendre deux mesures s'il y a deux essences dominantes dans la strate arborée (une par essence).

Structure : informations de contexte, allant au-delà de la placette de relevé (approximativement sur 1 ha, soit 57 m de rayon)

- Cocher le type de structure du peuplement :
 - Taillis : peuplement issu de rejets de souche dont la perpétuation est obtenue par des coupes régulières de rajeunissement.
 - TSF = « taillis sous futaie » : peuplement constitué d'un taillis surmonté d'arbres de franc pied.
 - FR. = futaie régulière : peuplement (mono ou plurispécifique) dominé à plus de 80 % par une seule catégorie de diamètre et de hauteur.
 - FIR = futaie irrégulière : peuplement où sont présentes (à l'échelle de la parcelle de gestion) l'ensemble des classes d'âge et catégories de diamètres, réparties pied à pied ou par unités plus grandes (bouquets d'arbres). Inclut aussi les peuplements non réguliers très hétérogènes, constitués de bouquets ou parquets d'arbres de structure différente, avec une répartition spatiale très variable des différentes classes de diamètres.
- Classe de diamètre les plus représentées (optionnel) : cocher les classes de diamètre les plus représentées dans le peuplement, c'est-à-dire celles qui constituent au moins 1 tige sur 4. Estimation à partir d'un dénombrement rapide des tiges situées à proximité de l'observateur(trice). PB = Petits Bois (17,5 < diamètre ≤ 27,5 cm) ; BM = Bois Moyens (27,5 < d ≤ 47,5 cm) ; GB = Gros Bois (47,5 < d ≤ 67,5 cm) ; TGB = Très Gros Bois (67,5 < d ≤ 87,5 cm) ; TTGB (d > 87.5 cm).
- Surface terrière : pour rappel, la surface terrière (G) est comptée en m²/ha et est estimée à l'aide d'un relascope à chaînette, permettant de dénombrer les arbres sur une rotation complète de la manière suivante :
 - Si le diamètre apparent du tronc de l'arbre dépasse l'encoche, l'arbre compte pour 1 ;
 - S'il est égal à l'encoche, l'arbre compte pour 0,5 ;
 - S'il est inférieur à l'encoche, l'arbre compte pour 0.

Les relascopes courants permettent d'utiliser plusieurs « **facteurs** » de mesure (correspondant chacun à des encoches différentes) selon la structure et la densité du peuplement. Le nombre d'arbres observés lors du tour relascopique doit être multiplié par ce facteur pour obtenir la surface terrière.

- Facteur 1 (encoche de 1 cm de large) pour les taillis-sous-futaie ou les futaies très claires,
- **Facteur 2** (encoche de 1.4 cm de large) futaies les plus courantes,
- Facteur 3 (encoche de 1.7 cm) et facteur 4 (encoche de 2 cm) pour les futaies très denses et homogènes. Ces facteurs sont rarement utilisés. Le nombre d'arbres observés lors du tour relascopique doit être multiplié par 4 pour obtenir la surface terrière.

La surface terrière se calcule pour chaque essence, dans les différentes catégories de diamètre, de la manière suivante : **$G \text{ réelle} = (N_{\text{arbres}} * K) / \cos(\text{pente}^\circ)$** , avec **G** la surface terrière, **N_{arbres}** le nombre d'arbres pour chaque essence dans une catégorie de diamètre, et **K** le facteur relascopique. **Il est donc absolument nécessaire d'indiquer le facteur K du relascope et d'avoir relevé la pente du site.**

Sur la fiche de terrain :

- K relascope : facteur K relatif à l'encoche utilisée sur le relascope :
- Cocher la case « pente corrigée » si le **type de relascope corrige la pente automatiquement**. La surface terrière n'aura alors pas besoin d'être corrigée par la pente mesurée sur le terrain, de retour au bureau (pas besoin de diviser par le cosinus de la pente en degrés).
- Noter dans le **tableau** le nombre de tiges par essence et catégorie de diamètre : nombre de tiges comptabilisées (somme des « 1 » et des « 0,5 ») **avant application du coef. K et avant correction de pente**. La surface terrière doit obligatoirement être relevée pour les **catégories TGB et TTGB**. Elle doit être relevée pour les gros bois si une forte contrainte stationnelle a été identifiée. Enfin, la surface terrière des gros bois **morts debouts** (diamètre > 37.5 cm à 130 cm de hauteur) est à relever en option.

Vieux arbres vivants

Sur la placette de 20 m de rayon.

Vieux arbres vivants $\varnothing >$ au seuil (espèce, $\varnothing 130$ cm) (annexe 5) : Dénombrement et mesure à 130 cm du sol de tous les très (très) gros arbres vivants (TGB et TTGB) sur la placette de 20 m de rayon. Pour chaque arbre, l'essence sera précisée, suivie du diamètre mesuré. Si la section de l'arbre n'est pas circulaire, le diamètre résulte de la moyenne des mesures prises dans 2 directions perpendiculaires. La manière de mesurer le diamètre dépend également de la configuration de l'arbre, une aide illustrée est consultable en annexe 5.

Seuils de pré-comptage : Les arbres sont comptabilisés s'ils dépassent un seuil, qui dépend du contexte (cocher le contexte correspondant sous le tableau) :

- Etages planitiaire, collinéen et montagnard, hors stations/secteurs à forte contrainte (voir partie « contexte écologique ») : arbres comptabilisés et mesurés s'ils font plus de **67,5 cm** de diamètre à 130 cm (classes de diamètre 70 et suivantes). ATTENTION : le **hêtre** à l'étage climatique « plaine et colline » en Nouvelle-Aquitaine sera comptabilisé à partir de **57,5 cm**, car il est dans ce contexte en limite d'aire de répartition et probablement contraint dans sa croissance par le climat. *L'étage planitiaire et collinéen de Nouvelle-Aquitaine correspond à une altitude comprise essentiellement entre 0 et 500 mètres, jusqu'à 800-1000 m dans le Massif Central et les Pyrénées.*
- Stations/secteurs à forte contrainte pour la croissance (voir partie « contexte écologique ») et essences n'atteignant jamais des dimensions importantes : seuil abaissé à **37,5 cm** (classe de diamètre 40 et suivantes).

Essences considérées comme n'atteignant jamais des dimensions importantes (qu'on les rencontre sur station à forte contrainte ou non) : Poiriers, Pommiers, Sorbiers (incluant l'Alisier torminal et le Cormier), **Bouleaux, Chêne vert, Erable de Montpellier.**

Pour les individus considérés par l'observateur sous contrainte de croissance, le diamètre annoté sera surmonté d'un « c ». En cas de doute sur le caractère contraint de la station, il est préférable de compter tous les arbres en utilisant le seuil de diamètre sous contrainte. Il est possible que la placette comporte une certaine hétérogénéité, avec des arbres sous contrainte forte et d'autres non.

Bois mort

Sur la placette de 20 m de rayon.

Arbres morts debout $\varnothing >$ au seuil (espèce, $\varnothing 130$ cm) (annexes 5 et 6) : Dénombrer et mesurer le diamètre à 130 cm du sol des arbres morts sur pied de plus de 1 m de long et d'un diamètre supérieur au seuil (voir annexe 5 pour les mesures de diamètre suivant la configuration de l'arbre). Si l'essence n'est pas identifiable, préciser « ?R » pour résineux indéterminé, « ?F » pour feuillu indéterminé, « ? » si l'essence est indéterminée. Choisir le stade saproxylique modal de la pièce de bois (le plus représentatif). Voir annexe 6 pour les stades.

Les seuils pour les arbres morts sont les suivants :

- Etages planitiaire, collinéen et montagnard, hors stations/secteurs à forte contrainte (voir partie « contexte écologique ») : diamètre **> 37,5 cm** de diamètre à 130 cm (classes de diamètre 70 et suivantes).
- Stations/secteurs à forte contrainte (voir partie « contexte écologique ») et essences n'atteignant jamais des dimensions importantes : seuil abaissé à **17,5 cm** de diamètre (classe de diamètre 40 et suivantes).

Arbres morts au sol $\varnothing >$ au seuil (espèce, $\varnothing 130$ cm, stade saproxylique) (annexes 5 et 6) : Dénombrer et mesurer le diamètre à 130 cm du collet si présent (annexe 5), sur la largeur la plus importante si la base a disparu. Les arbres morts au sol sont comptabilisés s'ils font plus de 1 m de long et ont un diamètre supérieur au seuil (voir précédemment). Choisir le stade saproxylique modal de la pièce de bois (le plus représentatif). Voir annexe 6 pour les stades.

Usages agricoles :

- Terrasses agricoles : Terrain aménagé en terrasses (grandes « marches d'escalier » stabilisées par des murets ou des levées de terre), afin de mener des cultures ou des vergers sur pentes abruptes.
- Têtards : Arbres avec un tronc court dont partent de nombreuses branches (technique de taille particulière). Origine de l'arbre souvent non forestière, sauf cas particuliers (où cette taille aurait été pratiquée en forêt).
- Arbres plessés : Arbres anciennement plessés, suivant une technique traditionnelle de taille et tressage des branches, forçant le houppier à entrer dans un plan.
- Arbre rural néoforestier : Arbre de forme généralement trapue, avec un large houppier hérité de sa croissance initiale. Cela traduit l'existence passée d'un peuplement ouvert ou d'un milieu non forestier autour de l'arbre. Les autres arbres du peuplement actuel ont logiquement une conformation très différente de celle de l'arbre rural néoforestier.
- Pâturage actuel : Traces récentes de pâturage, indiquant non pas les usages passés mais pouvant expliquer d'éventuels dysfonctionnements (régularité du peuplement, dégâts au sol, absence de régénération, etc.).

Usages forestiers :

- Souche récente / ancienne : Les souches à considérer sont bien celles issues d'une exploitation et non les souches issues de chablis naturels. Une **souche récente** correspond aux **stades de décomposition 1 et 2** (une lame de couteau ne s'enfonce que de quelques mm), une **souche ancienne aux stades 3 à 5** (possibilité d'enfoncer une lame de couteau d'au moins 1 cm)
- Vieille cépée : Témoin d'une pratique ancienne et répétée de coupes de taillis, parfois abandonnées aujourd'hui. Une vieille cépée forme un cercle ou un large arc de cercle, d'où sortent des brins issus de rejets.
- Vieux tas de bois enstérés : Bois de chauffage mis en stère.
- Charbonnière : Il peut s'agir de plateformes de charbonnage ou de marmites de chaudronnier.
- Pin(s) bouteille : Pins gemmés intensivement pour l'exploitation de la résine, développant une morphologie en bouteille par cicatrisations successives.
- Bornes forestières : Les bornes forestières avaient pour objectif de délimiter les domaines forestiers des différents propriétaires. Ce sont généralement des blocs de pierre taillée avec ou sans inscriptions, ou des inscriptions réalisées sur les rochers.

Autres

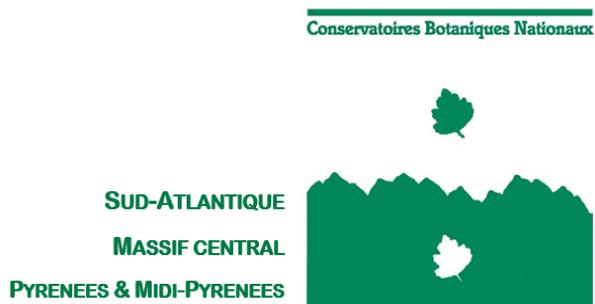
- Piste / sentier : Préciser la présence de pistes ou sentiers à proximité du relevé ou dans le relevé (dans ce cas, mettre « 0 » dans la distance).
- Poste de chasse : Préciser la présence d'un poste de chasse dans ou à proximité de la placette. En Gironde et dans les Landes notamment, il est intéressant de noter la présence des palombières (qui peuvent être à l'origine de la conservation de peuplements plus matures que le contexte alentour).
- Agrainage, sel, crud NH3 : Agrainage, pierre à sel ou utilisation de crud d'ammoniac.
- Dégâts sol : Dus à l'exploitation (ornières, tassement), au passage sauvage d'engins à moteur, etc.

Préciser « R.A.S » si aucun indice d'usages passés ou récents.

Arbre vivant le plus vieux / souche la plus vieille (optionnel) : Carottage des plus gros arbres ou comptage des cernes des grosses souches, afin de connaître l'âge des plus vieux arbres.

Le développement de ce protocole s'inscrit dans le cadre du programme « **Cartographie des forêts anciennes de Nouvelle-Aquitaine et méthodologie de caractérisation des vieilles forêts** » mené sur la période 2019-2021, en collaboration avec l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière, ainsi qu'avec les Conservatoires Botaniques Nationaux du Massif Central et des Pyrénées - Midi-Pyrénées. Cette étude a été financée par la DREAL, la Région Nouvelle-Aquitaine, et des fonds FEDER sur le Limousin.

Rédaction et coordination :



Partenaires financiers :



Annexe 1 : Correction de surfaces de placettes suivant la pente

Pente (%)	Pente (°)	Rayon (m)
0	0	20,0
5	3	20,0
10	6	20,1
15	9	20,1
20	11	20,2
25	14	20,3
30	17	20,4
35	19	20,6
40	22	20,8
45	24	20,9
50	27	21,2
55	29	21,4
60	31	21,6
65	33	21,8
70	35	22,1
75	37	22,4
80	39	22,6
85	40	22,9
90	42	23,2
95	44	23,5
100	45	23,8
105	46	24,1
110	48	24,4
115	49	24,7
120	50	25,0
125	51	25,3
130	52	25,6
135	53	25,9
140	54	26,2
145	55	26,5
150	56	26,9

Tab. 1 : Valeur du rayon d'une placette de 1257 m² en fonction de la pente

Soit α = angle

$\alpha \%$ = $100 \times \tan(\alpha^\circ)$

α° = $\arctan(\alpha\%/100)$

Annexe 2 : Végétations forestières en conditions de contrainte à la croissance

Végétations xérophiles concernées par les zones biogéographiques à contrainte de sécheresse, ou sur station xérophile localisée (comme les coteaux, hauts de versants, crêtes, etc.), déclinées suivant un synsystème phytosociologique :

CARPINO BETULI – FAGETEA SYLVATICAE

- **Cephalanthero damasonii – Fagion sylvaticae**

- **Aceri monspessulani – Fagetum sylvaticae** (*Fagus sylvatica*, *Quercus pubescens*, *Acer monspessulanum*, *Sorbus torminalis*, *Sorbus aria*, *Cornus mas*, *Rubia peregrina*, *Carex flacca*, *Brachypodium rupestre*, *Neottia nidus-avis*, *Vincetoxicum hirundinaria*, *Epipactis helleborine*, *Cephalanthera longifolia*, *Cephalanthera rubra*, *Digitalis lutea*, *Teucrium scorodonia*, *Solidago virgaurea*).

QUERCETEA ILICIS

- **Quercion ilicis**

- **Phillyreo latifoliae – Quercetum ilicis** (*Viburnum tinus*; *Arbutus unedo*; *Acer monspessulanum*; *Quercus ilex*; *Phillyrea latifolia*)
- **Pino pinastri – Quercetum ilicis** (*Rubia peregrina*; *Quercus ilex*; *Pinus pinaster*; *Cephalanthera rubra*; *Cistus salviifolius*; *Arbutus unedo*; *Daphne gnidium*)
- **Pino pinastri – Quercetum suberis** (*Phillyrea angustifolia*; *Pinus pinaster*; *Quercus suber*; *Erica cinerea*; *Smilax aspera*; *Rubia peregrina*; *Pteridium aquilinum*)

QUERCETEA PUBESCENTIS

- **Quercion pubescenti – sessiliflorae**

- **Buxo sempervirenti – Quercetum pubescentis** (*Trifolium rubens*; *Rubia peregrina*; *Sorbus domestica*; *Acer monspessulanum*; *Amelanchier ovalis*; *Asparagus tenuifolius*; *Brachypodium pinnatum*; *Buxus sempervirens*; *Carex halleriana*; *Carex humilis*; *Cyanus triumfettii*; *Filipendula vulgaris*; *Helleborus foetidus*; *Ranunculus bulbosus*; *Quercus pubescens*; *Primula veris*; *Polygonatum odoratum*; *Muscari botryoides*; *Melittis melissophyllum*; *Lonicera etrusca*; *Lathyrus latifolius*; *Teucrium chamaedrys*; *Rhamnus saxatilis*)
- **Rhamno alaterni – Quercetum pubescentis** (*Viburnum lantana*; *Quercus pubescens*; *Quercus x streimeri*; *Quercus ilex*; *Coriaria myrtifolia*; *Hippocrepis emerus*; *Phillyrea media*; *Viburnum tinus*; *Cervaria rivini*; *Filipendula vulgaris*; *Iris foetidissima*; *Lathyrus latifolius*; *Origanum vulgare*; *Primula veris*; *Rhamnus alaternus*; *Rhamnus cathartica*; *Rosa micrantha*; *Rubia peregrina*; *Ruscus aculeatus*; *Teucrium chamaedrys*; *Viola hirta*)
- **Rubio peregrinae – Quercetum pubescentis** (*Clinopodium nepeta* subsp. *ascendens*; *Quercus pubescens*; *Quercus x streimeri*; *Prunus mahaleb*; *Rhamnus cathartica*; *Viburnum lantana*; *Rosa canina*; *Anthericum ramosum*; *Brachypodium pinnatum*; *Bupleurum falcatum*; *Carex humilis*; *Cytisus hirsutus*; *Cornus mas*; *Coronilla varia*; *Fragaria viridis*; *Genista pilosa*; *Geranium sanguineum*; *Helleborus foetidus*; *Melampyrum cristatum*; *Melittis melissophyllum*; *Origanum vulgare*; *Polygonatum odoratum*; *Primula veris*; *Rubia peregrina*; *Silene nutans*; *Sorbus torminalis*; *Teucrium chamaedrys*; *Vincetoxicum hirundinaria*; *Viola hirta*)
- **Avenello flexuosae – Quercion pubescentis**
 - **Arbuto unedonis – Quercetum petraeae** (*Pseudarrhenatherum longifolium*; *Pulmonaria longifolia*; *Rubia peregrina*; *Ruscus aculeatus*; *Succisa pratensis*; *Sorbus torminalis*; *Rosa sempervirens*; *Rubus ulmifolius*; *Brachypodium pinnatum*; *Carex flacca*; *Erica cinerea*; *Hypericum pulchrum*; *Laurus nobilis*; *Lonicera periclymenum*; *Melampyrum pratense*; *Potentilla montana*; *Cytisus scoparius*; *Phillyrea media*; *Viburnum tinus*; *Ulex europaeus*; *Arbutus unedo*; *Quercus ilex*; *Quercus petraea*)

QUERCETEA ROBORI – PETRAEAE

- **Quercion pyrenaicae**

- **Arbuto unedonis – Quercetum roboris** (Chênaie pédonculée xérophile, acidophile, thermophile, des sables décalcifiés des dunes littorales sous climat thermo-atlantique à influence méditerranéenne) *Erica scoparia*; *Ilex aquifolium*; *Arbutus unedo*; *Cytisus scoparius*; *Cistus salviifolius*; *Quercus robur*; *Pinus pinaster*; *Carex arenaria*; *Avenella flexuosa*
- **Groupement à *Quercus pyrenaica* et *Quercus suber*** (Chênaie mésoxérophile à xérophile, acidophile, sur substrat sableux filtrants, sous climat thermo-atlantique à influence méditerranéenne) *Pinus pinaster*; *Quercus robur*;

Quercus pyrenaica; Quercus suber; Pseudarrhenatherum longifolium; Ruscus aculeatus; Carex arenaria; Arenaria montana; Cytisus scoparius; Erica scoparia; Arbutus unedo.

D'autres syntaxons **peuvent être rencontrés** dans les secteurs de sécheresse évoqués précédemment, mais ils se développent préférentiellement dans des contextes moins secs :

QUERCETEA PUBESCENTIS

- *Carpinion betuli*
 - *Pulmonario longifoliae – Carpinetum betuli* (optimum dans l'Entre-Deux-Mers, limitée au nord par la vallée de la Charente et de la Dronne, absente du sud de la région).
Carpinus betulus, Quercus petraea, Sorbus torminalis, Prunus avium, Euonymus europaeus, Ruscus aculeatus, Rubia peregrina, Dioscorea communis, Carex flacca, Rosa sempervirens, R. x pervirens, Pulmonaria longifolia, Sanicula europaea, Melica uniflora, Festuca heterophylla, Hypericum pulchrum, Teucrium scorodonia, Viola riviniana
 - *Rusco aculeati - Quercetum petraeae* (nord et est de Poitou-Charentes)
Carpinus betulus, Quercus petraea, Sorbus torminalis, Crataegus laevigata, Ligustrum vulgare, Ruscus aculeatus, Dioscorea communis, Carex flacca, Pulmonaria longifolia, Festuca heterophylla, Melittis melissophyllum, Arum maculatum
 - *Viburno lantanae - Quercetum petraeae* (végétation neutrophile-calcicole, relativement disséminée à travers la Nouvelle-Aquitaine, en dehors des Landes, Pyrénées-Atlantiques et du Limousin)
Carpinus betulus, Quercus petraea, Acer campestre, Viburnum lantana, Ruscus aculeatus, Rubia peregrina, Dioscorea communis, Arum italicum, Rosa sempervirens, R. x pervirens, Viola hirta, Mercurialis perennis, Sanicula europaea, Pulmonaria longifolia

CARPINO BETULI – FAGETEA SYLVATICAE

- *Carpino betuli – Fagion sylvaticae*
 - *Rubio peregrinae – Fagetum sylvaticae* (Sylve d'Argenson, ponctuelle ailleurs en Gironde et Poitou-Charentes)
Fagus sylvatica, Sorbus torminalis, Ligustrum vulgare, Cornus mas, Lonicera xylosteum, Viburnum lantana, Crataegus laevigata, Ruscus aculeatus, Rubia peregrina, Carex flacca, Mercurialis perennis, Arum italicum, Festuca heterophylla, Anemone nemorosa, Pulmonaria longifolia.

Aulnaies marécageuses et tourbières boisées :

ALNETEA GLUTINOSAE

- *Alnion glutinosae* (aulnaies marécageuses)
 - *Osmundo regalis – Alnetum glutinosae* (Aulnaie marécageuse oligo-mésotrophile, acidoclinophile à acidophile, thermo-atlantique, présente en Gironde et dans les Landes dans les vallons)
Alnus glutinosa, Salix atrocinerea, Frangula alnus, Thelypteris palustris, Osmunda regalis, Lysimachia vulgaris, Iris pseudacorus, Carex paniculata, Carex elata
 - *Osmundo regalis – Betuletum pubescentis* (Boulaie marécageuse oligo-mésotrophile, acidophile, thermo-atlantique, présente en Gironde et dans les Landes, proche des étangs arrière-littoraux)
Betula pubescens, Salix atrocinerea, Frangula alnus, Thelypteris palustris, Osmunda regalis, Carex paniculata, Lysimachia vulgaris, Iris pseudacorus
- *Sphagno – Alnion glutinosae* (tourbières boisées)
 - *Carici laevigatae – Alnetum glutinosae* (Aulnaie oligotrophile, des substrats tourbeux, atlantique, observée dans les vallons landais, probablement présente en Poitou-Charentes)
Alnus glutinosa, Carex laevigata, Scutellaria minor, Osmunda regalis, Blechnum spicant, Wahlenbergia hederacea, Sphagnum fallax, Sphagnum palustre
 - *Scutellario minoris – Betuletum albae* (Boulaie oligotrophile, des substrats tourbeux, observée en Gironde, Landes et Limousin)
Betula pubescens, Wahlenbergia hederacea, Scutellaria minor, Hydrocotyle vulgaris, Carex echinata, Molinia caerulea, Sphagnum palustre, Sphagnum subnitens

Forêts sur éboulis à plus de 80 % :

CARPINO BETULI – FAGETEA SYLVATICAE / Ordre : *Aceretalia pseudoplatani* (Erblaies-frênaies-tillaies-ormais des ravins et éboulis plus ou moins mobiles, nitroclinophiles à nitrophiles)

- *Tilio platyphylli – Acerion pseudoplatani* (Erablaies-frênaies-Tillaies submontagnares, des éboulis mobiles, versants frais, fonds de vallons et combes froides, Pyrénées-Atlantiques). Voir notamment l'association de l'*Ulmo glabrae – Tiliatum cordatae* (Corriol, 2012)
- *Dryopterido affinis – Fraxinion excelsioris* (Tillaies-frênaies-ormais des ravins et versants pentus à exposition fraîche, hygrosiaphiles, atlantiques à subatlantiques). Associations possibles diverses pour cette alliance, dont la répartition reste à décrire sur la Nouvelle-Aquitaine.

Forêts de l'étage subalpin :

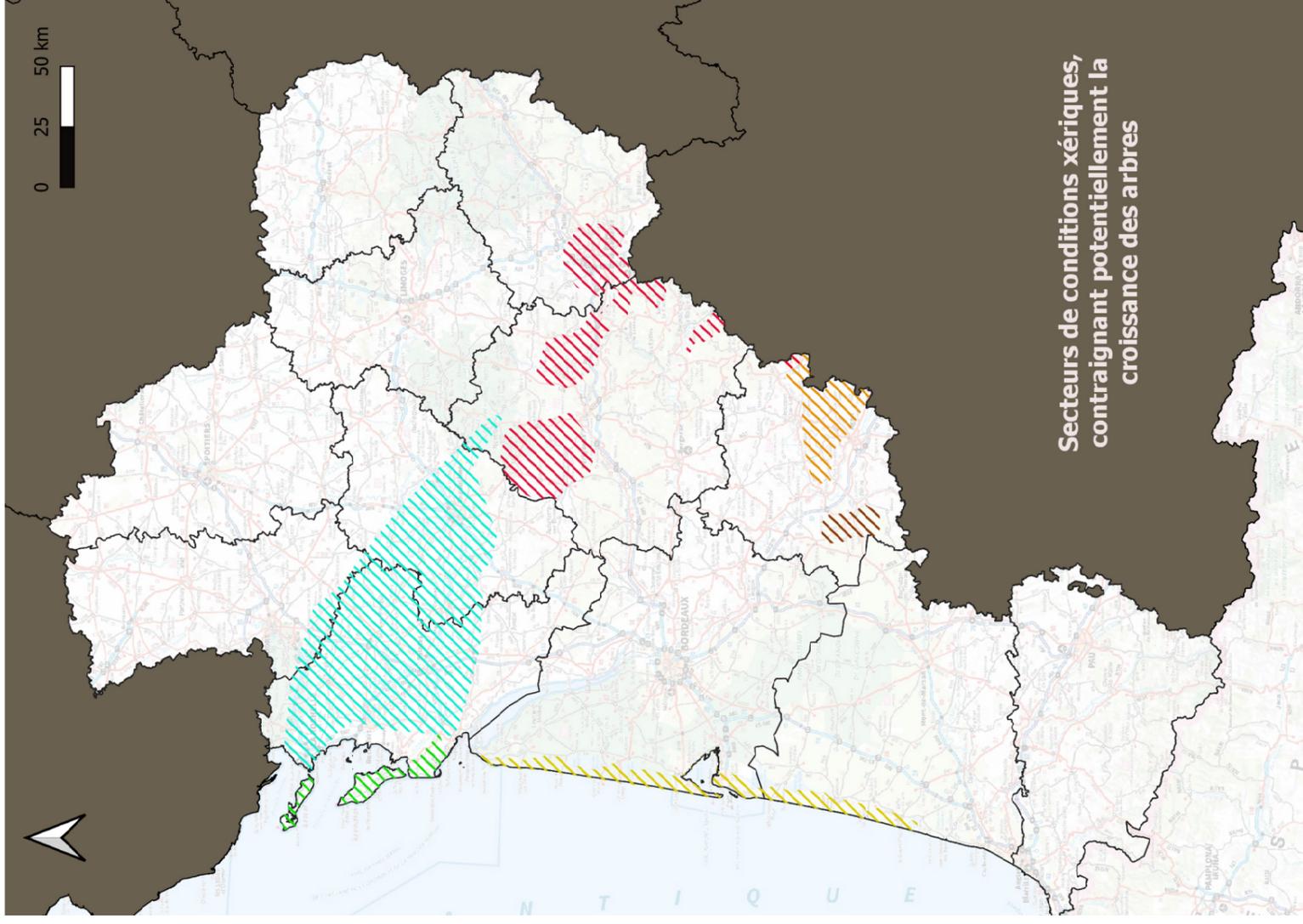
VACCINIO – PICEETEA

- *Seslerio caeruleae – Pinion uncinatae* (Communautés forestières subalpines pyrénéennes à *Pinus mugo subsp. uncinata* et/ou *Abies alba*, *Juniperus communis subsp. nana*, acidiphiles à acidiclinales, sur roches siliceuses ou calcaires hygroclinales à xéroclinales. Elles constituent l'essentiel des forêts subalpines pyrénéennes).
 - *Pulsatillo alpinae – Pinetum uncinatae* (Pinaie subalpine, calcicole, pyrénéenne, d'ombrée)
 - *Rhododendro ferruginei – Abietetum albae* (Sapinière subalpine, hyperacidophile, pyrénéenne, d'ombrée)
 - *Arctostaphylo uvae-ursi – Pinetum uncinatae* (Pinaie subalpine, acidophile, pyrénéenne, de soulane)
 - *Rhododendro ferruginei – Pinetum uncinatae* (Pinaie subalpine, acidophile, pyrénéenne, d'ombrée)

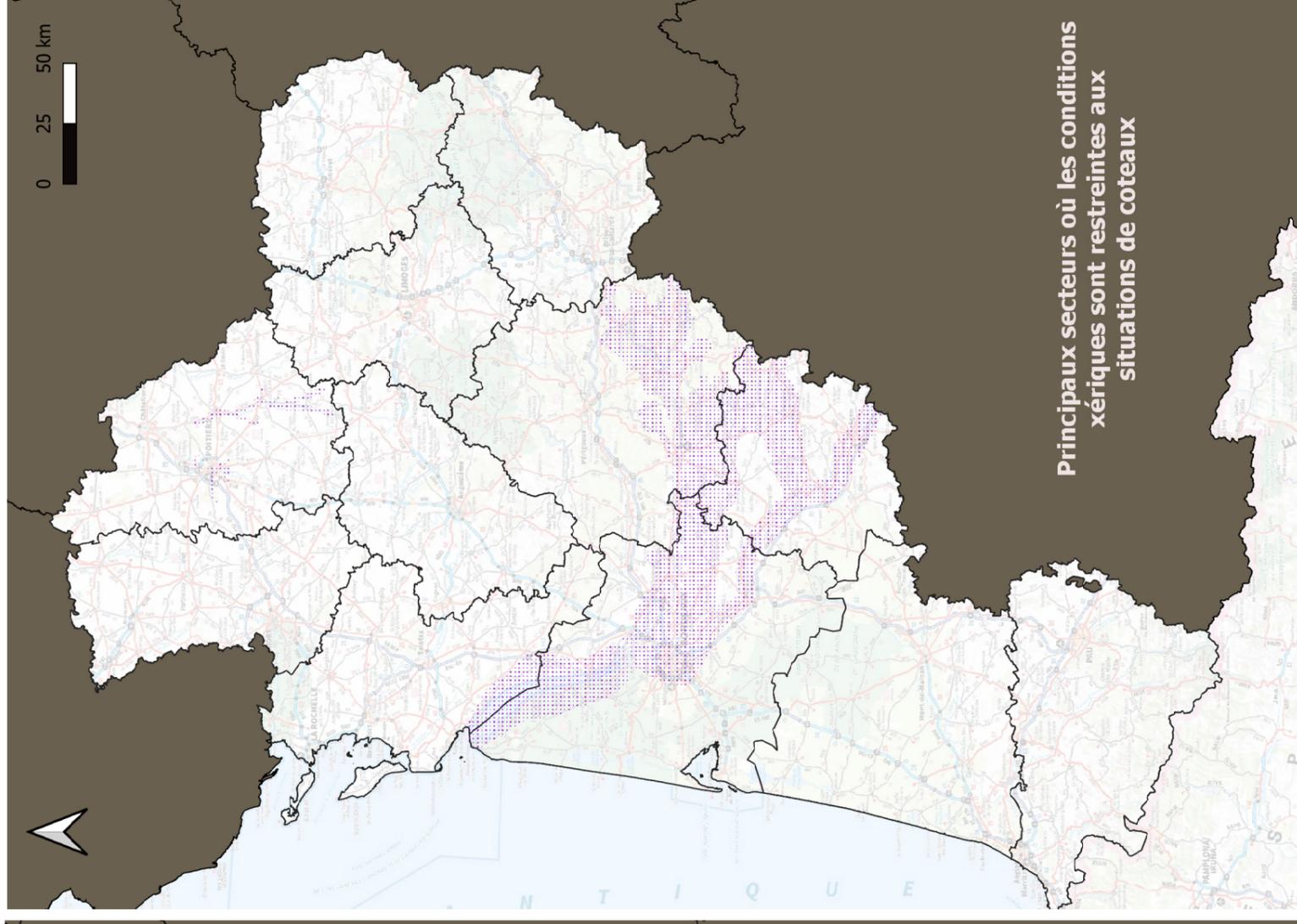
Détails des associations à lire dans Thébaud G. et Bernard C-E. 2018, p.283 à 421 du Prodrome des végétations de France : *Montio fontanae – Cardaminetea amarae* ; *Phragmito – Magnocaricetea* ; *Sedo albi – Scleranthetea biennis* ; *Vaccinio – Piceetea* ; *Junipero sabinae – Pinetea ibericae* ; *Roso pendulinae – Pinetea mugo* - 2017 - Vol. 7

Des forêts d'éboulis peuvent également être rencontrées ponctuellement à l'étage subalpin.

Annexe 3 : Carte des grands secteurs biogéographiques à contrainte de xéricité et carte des secteurs de coteaux (contraintes localisées)



- Légende**
- Contraintes localisées aux coteaux
 - Zones biogéographiques xériques
 - Dunes atlantiques
 - Ile de Ré, île d'Oléron et presqu'île d'Arvert
 - Terres de groies et nord de la Champagne Charentaise



- Causse de Cubjac, Thenon, Terrasson, Daglan, Martel
- Causse Quercy
- Petits causses et coteaux du Périgord blanc (nom à confirmer)
- Serres de l'Agenais
- Neracais, peuplements à Chêne liège

Annexe 4 : Calcul de la hauteur d'un arbre en fonction de l'angle entre sa base et la cime

Deux méthodes :

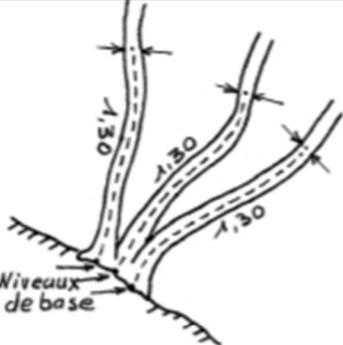
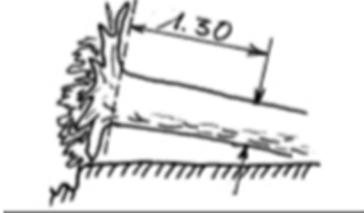
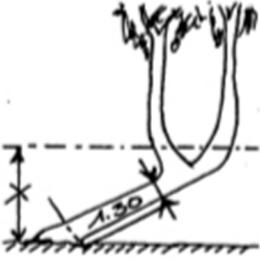
- Effectuer deux mesures d'angle, entre l'horizontale et le pied, puis entre la cime et l'horizontale, et additionner les deux hauteurs obtenues pour avoir la hauteur totale de l'arbre.
- Effectuer une seule mesure d'angle, entre l'horizontale et la cime, et ajouter à la hauteur obtenue la hauteur entre le regard et le sol (environ 1.5 m en règle général).

ATTENTION, l'angle est pris par un observateur qui doit être à un niveau topographique égal à celui de la base de l'arbre.

$$H = D * \tan \alpha(^{\circ}), \text{ ou } H = D * \alpha(\%) / 100$$

MESURE DE LA HAUTEUR D'UN ARBRE					MESURE DE LA HAUTEUR D'UN ARBRE				
1 mise à distance PRECISE (15, 20 ou 25 m)					1 mise à distance PRECISE (15, 20 ou 25 m)				
2 mesure angle α					2 mesure angle α				
3 hauteur arbre = $H + H'$, avec H' = hauteur de l'observateur sur pente = 0° ou mesuré de la même manière que H mais en visant le pied de l'arbre					3 hauteur arbre = $H + H'$, avec H' = hauteur de l'observateur sur pente = 0° ou mesuré de la même manière que H mais en visant le pied de l'arbre				
									
ist. D obs:	à 15 m	à 20 m	à 25 m	à 30 m	Dist. D obs:	à 15 m	à 20 m	à 25 m	à 30 m
angle α °	hauteur H ($H = D * \tan \alpha$)				angle α °	hauteur H ($H = D * \tan \alpha$)			
5	1.3	1.7	2.2	2.6	46	15.5	20.7	25.9	31.1
6	1.6	2.1	2.6	3.2	47	16.1	21.4	26.8	32.2
7	1.8	2.5	3.1	3.7	48	16.7	22.2	27.8	33.3
8	2.1	2.8	3.5	4.2	49	17.3	23.0	28.8	34.5
9	2.4	3.2	4.0	4.8	50	17.9	23.8	29.8	35.8
10	2.6	3.5	4.4	5.3	51	18.5	24.7	30.9	37.0
11	2.9	3.9	4.9	5.8	52	19.2	25.6	32.0	38.4
12	3.2	4.3	5.3	6.4	53	19.9	26.5	33.2	39.8
13	3.5	4.6	5.8	6.9	54	20.6	27.5	34.4	41.3
14	3.7	5.0	6.2	7.5	55	21.4	28.6	35.7	42.8
15	4.0	5.4	6.7	8.0	56	22.2	29.7	37.1	44.5
16	4.3	5.7	7.2	8.6	57	23.1	30.8	38.5	46.2
17	4.6	6.1	7.6	9.2	58	24.0	32.0	40.0	48.0
18	4.9	6.5	8.1	9.7	59	25.0	33.3	41.6	49.9
19	5.2	6.9	8.6	10.3	60	26.0	34.6	43.3	52.0
20	5.5	7.3	9.1	10.9	61	27.1	36.1	45.1	54.1
21	5.8	7.7	9.6	11.5	62	28.2	37.6	47.0	56.4
22	6.1	8.1	10.1	12.1	63	29.4	39.3	49.1	58.9
23	6.4	8.5	10.6	12.7	64	30.8	41.0	51.3	61.5
24	6.7	8.9	11.1	13.4	65	32.2	42.9	53.6	64.3
25	7.0	9.3	11.7	14.0	66	33.7	44.9	56.2	67.4
26	7.3	9.8	12.2	14.6	67	35.3	47.1	58.9	70.7
27	7.6	10.2	12.7	15.3	68	37.1	49.5	61.9	74.3
28	8.0	10.6	13.3	16.0	69	39.1	52.1	65.1	78.2
29	8.3	11.1	13.9	16.6	70	41.2	54.9	68.7	82.4
30	8.7	11.5	14.4	17.3	71	43.6	58.1	72.6	87.1
31	9.0	12.0	15.0	18.0	72	46.2	61.6	76.9	92.3
32	9.4	12.5	15.6	18.7	73	49.1	65.4	81.8	98.1
33	9.7	13.0	16.2	19.5	74	52.3	69.7	87.2	104.6
34	10.1	13.5	16.9	20.2	75	56.0	74.6	93.3	112.0
35	10.5	14.0	17.5	21.0	76	60.2	80.2	100.3	120.3
36	10.9	14.5	18.2	21.8	77	65.0	86.6	108.3	129.9
37	11.3	15.1	18.8	22.6	78	70.6	94.1	117.6	141.1
38	11.7	15.6	19.5	23.4	79	77.2	102.9	128.6	154.3
39	12.1	16.2	20.2	24.3	80	85.1	113.4	141.8	170.1
40	12.6	16.8	21.0	25.2					
41	13.0	17.4	21.7	26.1					
42	13.5	18.0	22.5	27.0					
43	14.0	18.7	23.3	28.0					
44	14.5	19.3	24.1	29.0					
45	15.0	20.0	25.0	30.0					

Annexe 5 : Hauteur de mesure du diamètre d'un arbre

<p><u>Arbres debout</u></p> 		
<p>mesure perpendiculaire à l'axe de la tige...</p>	<p>...à 1,30 m à partir du niveau de base...</p>	<p>en suivant l'axe de la tige</p>
<p><u>Chablis</u></p> 		
<p>(...) à 1,30 m du collet, en suivant l'axe de la tige (...)</p>	<p>un seul arbre individualisé à 1,30 m en suivant l'axe</p>	

Source IGN – Inventaire forestier national

Annexe 6 : Stade de saproxylation du bois mort (d'après Larrieu L., 2012)

	Quelle dureté du bois ?	Comment se présente l'écorce ?	Autres caractéristiques
Stade 1	Très dur, bois mort dans l'année, peu ou pas altéré	Partout adhérente	Le liber est vivant ou au moins perceptible en enlevant l'écorce
Stade 2	Très dur, bois peu altéré Impossibilité d'enfoncer un couteau de plus de quelques mm, même un Tanazac)	Quasiment partout présente, mais moins adhérente	Le liber n'est plus perceptible
Stade 3	Bois altéré, plus tendre en surface : possibilité d'enfoncer la lame d'un couteau de 1 à quelques cm	Partiellement à globalement tombée (sauf pour certaines essences comme le hêtre où l'écorce reste en place très longtemps)	L'essence est encore reconnaissable et le bout de bois n'a pas perdu de volume
Stade 4	Bois très altéré : possibilité d'enfoncer un couteau jusqu'à la garde, au moins localement	N'est plus présente	Le bois a perdu du volume, mais l'essence est généralement encore reconnaissable
Stade 5	Bois très peu cohérent et dispersable facilement avec le pied. Mélange d'organismes saproxyliques et du sol	N'est plus présente	Seul un examen attentif permet d'identifier l'essence

Notice bordereau cartographique pour délimiter les secteurs biologiquement matures

- **N° polyg** : numéro de polygone sur la carte (pré-ciblé au bureau ou découvert sur le terrain)
- **Relevé(s) dendro associé(s)** : relevés complets (sur placette de 20 m de rayon) associés au polygone si le bordereau cartographique sert de complément.
- **N° obs** : numéro de l'observation (1 par ligne)
- **Point GPS** : point GPS de l'observation (localisation de la prise de données de surface terrière)
- **Pente (°)** : pente maximale du point d'observation
- **Contrainte stationnelle forte** : dalle affleurante, éboulis mobile à plus de 80% de la surface observée, sol engorgé, tourbe, conditions xérophiles. Répondre OUI ou NON
- **K relascope** : facteur de surface terrière (relatif à l'encoche utilisée sur le relascope)
- **G TTGB** : surface terrière des Très Très Gros Bois vivants. Diamètres à hauteur de poitrine supérieurs à 87.5 cm.
- **G TGB** : surface terrière des Très Gros Bois vivants. Diamètres à hauteur de poitrine compris entre 67.5 cm et 87.5 cm (**attention comptabiliser le hêtre à partir de 57.5 cm en plaine/colline**).
- **G GB** : surface terrière des Gros Bois vivants. Diamètres à hauteur de poitrine compris entre 47.5 cm et 67.5 cm. A renseigner uniquement en cas de contrainte stationnelle forte ou pour les essences à croissance lente.
- **G bois mort debout** : surface terrière du bois mort debout, de diamètre supérieur à 37.5 cm (à 1m30 du sol). Seuil abaissé à 17.5 cm si contrainte stationnelle forte ou pour les essences à croissance lente (poiriers, pommiers, sorbiers, Chêne vert, Chêne liège, Erable de Montpellier, etc.).
- **Présence bois mort au sol** : présence de bois mort au sol, de diamètre supérieur à 37.5 cm ou à 17.5 cm si contrainte stationnelle forte ou essence à croissance lente. Comptabilisé si plus d'1 m de longueur. Répondre OUI ou NON
- **Observations** : champ libre



Siège

Domaine de Certes
47 avenue de Certes
33980 AUDENGE
Téléphone : 05 57 76 18 07

Antenne Poitou-Charentes

Domaine du Deffent
443 route du Deffent
86 550 MIGNALOUX BEAUVOIR
Téléphone : 05 49 36 61 35

Relais méridional

31 avenue Gaetan Bernoville
64 500 St Jean de Luz
Téléphone : 05 59 23 38 71

@ / contact@cbnsa.fr
