



Rapport d'Etude 2008 - 2011

Novembre 2011



Ce projet a été financé par l'Union Européenne
L'Europe s'engage avec le Fonds Européen
de Développement Régional



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



Photographie de couverture (photo JM SAVOIE, EI PURPAN) :

Sapinière (-hêtraie) du site d'Auribareille, Forêt Syndicale de Saint-Savin, commune de Cauterets (Hautes-Pyrénées), en aval du Pont d'Espagne, au niveau du Pont du Pas de l'Ours. Ce site présente de nombreuses caractéristiques de vieilles forêts ou de forêt ancienne :

- présence des 2 essences dryades naturelles de l'étage montagnard moyen : le sapin, très dominant, et le hêtre ;
- gestion antérieure marquée par l'absence de coupe et d'enlèvement d'arbres dépérissants ;
- proportion très importante de très gros bois (arbres de plus de 210 cm de circonférence) dans le peuplement vivant : 55% en nombre ;
- très fort volume de bois mort (229 m³/ha), le plus important des 10 sites étudiés ;
- pourcentage considérable du volume de bois mort par rapport au volume de bois vivant : 106% ;
- pourcentage du nombre de chandelles par rapport au nombre d'arbres vivants supérieur à 10% (18%), même en considérant les chandelles et les arbres vivants de circonférence supérieure à 85 cm à 1,30m (16%) ;
- répartition homogène du bois mort dans les différentes classes de décomposition, témoignant d'une alimentation continue en bois mort ;
- bonne densité en microhabitats (90 par hectare), en particulier des carpophores de champignons saproxyliques (33 par hectare), des fentes à chauve-souris (23 par hectare) et des coulées de sève (8 par hectare) ; diversité en microhabitats satisfaisante (17 types sur 56 possibles) ; bonne diversité en habitats liés au bois mort et aux arbres sénescents (26 types sur 68 possibles) ;
- plus de 40% d'espèces de flore vasculaire indicatrices de forêt ancienne ;
- fort indice d'intérêt de la communauté de champignons saproxyliques, avec 23 espèces indicatrices de vieille forêt (soit 40%) dont 2 remarquables : *Gymnopilus bellulus* et *Hericium flagellum* ;
- assez bonne diversité en syrphes (48 espèces), avec un fort pourcentage d'espèces "au rendez-vous" pour l'habitat "sapinières surmatures" (56%), une bonne représentation des espèces indicatrices de vieilles forêts (43%) et une espèce remarquable, *Brachypalpus laphriformis*, déterminante ZNIEFF et en déclin dans le domaine alpin ;
- forte diversité en coléoptères saproxyliques (100 espèces), avec une très bonne représentation des espèces montagnardes (plus de 30%), 8 espèces à fort indice d'intérêt et 10 espèces indicatrices de vieilles forêts dont 3 remarquables : *Diacanthous undulatus*, *Ampedus nigrinus* et *Benibotarus alternatus*.

Rapport d'Etude 2008-2011

Novembre 2011

Forêts pyrénéennes anciennes de Midi-Pyrénées

Première phase

Cartographie des sites pouvant abriter des forêts anciennes

Elaboration d'une méthode d'évaluation de leur intérêt patrimonial

Etude réalisée par :

Michel BARTOLI

Hervé BRUSTEL, EI PURPAN

Gilles CORRIOL, CBN PMP

Carole HANNOIRE, CBN PMP

Laurent LARRIEU, CRPF MP

Jean-Marie SAVOIE, EI PURPAN

Antoine BRIN, EI PURPAN

Jaoua CELLE, NMP

Clother COSTE, CBN PMP

Mathilde HARREL, CRPF MP

Véronique SARTHOU, SYRPHYS

Lionel VALLADARES, EI PURPAN

Etude financée par :

- l'Union Européenne (Fonds Européen de Développement Régional – FEDER)
- la République Française
- le Conseil Régional Midi-Pyrénées

Ce document est à citer sous la forme suivante :

SAVOIE J.M. (coordinateur), BARTOLI M., BRIN A., BRUSTEL H., CELLE J., CORRIOL G., COSTE C., HANNOIRE C., HARREL M., LARRIEU L., SARTHOU V., VALLADARES L., 2011. Forêts pyrénéennes anciennes de Midi-Pyrénées. Rapport d'Etude de projet FEDER 2008-2011. Ecole d'Ingénieurs de PURPAN/DREAL Midi-Pyrénées, 320 p.

Le présent rapport rend compte des travaux menés par le Groupe d'Études des Vieilles Forêts Pyrénéennes (GEVFP) sur une période de 40 mois au cours des années 2008 à 2011. Portée par l'École d'Ingénieurs de PURPAN en partenariat avec le Centre Régional de la Propriété Forestière de Midi-Pyrénées et le Conservatoire Botanique National des Pyrénées et de Midi-Pyrénées, l'étude a bénéficié du soutien financier de l'Union Européenne (Fonds FEDER), de l'Etat français et du Conseil Régional de Midi-Pyrénées.

Après un rappel du contexte scientifique de l'étude et de ses objectifs, le document présente d'abord les résultats de la cartographie des sites abritant potentiellement des forêts anciennes. Les données acquises sur les 10 sites retenus pour l'étude sont ensuite exposés : indicateurs « stationnels », indicateurs « structurels » (données dendrométriques, données sur le bois mort, micro-habitats, indicateurs « espèces » (plantes supérieures, Bryophytes saproxyliques, Agaricales et polypores saproxyliques, lichens corticaux, coléoptères saproxyliques, syrphes), enfin, indicateurs de la gestion (passée, actuelle et potentielle) du site. Les résultats concernant les 10 sites sont d'abord analysés indicateur par indicateur puis une analyse globale, prenant en compte l'ensemble des données de tous les indicateurs est ensuite effectuée. Le document présente ensuite la méthodologie simplifiée mise au point afin d'évaluer la totalité des sites pyrénéens de Midi-Pyrénées répertoriés dans la cartographie initiale et expose les résultats obtenus sur quelques sites test. Les perspectives de poursuite du projet global sont enfin présentées.

1. RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ETUDE ET DES OBJECTIFS

Le projet résulte d'un constat établi par les scientifiques et les naturalistes, spécialistes de la biologie de la conservation des milieux forestiers : en ce début de XXI^{ème} siècle, les forêts anciennes, où l'influence humaine est négligeable, ne représenteraient en France qu'un peu plus de 30 000 ha (soit 0,2% de la surface forestière totale ; Barthod, 1997) dont seuls 15 000 ha ont un statut de réserve intégrale (COST E4, 2000). Ces forêts présentent des caractéristiques fonctionnelles et de diversité biologique proches d'états naturels, qui se traduisent en particulier par le retour de processus sylvigénétiques originaux, rares en forêt exploitée, à l'origine d'une mosaïque instable et complexe de stades forestiers variés (Schnitzler-Lenoble, 2002 ; Angers *et al.*, 2005). Ces conditions permettent d'assurer l'existence de très nombreuses espèces animales et végétales, quelles que soient leurs exigences écologiques (Schnitzler-Lenoble, 2002), et les forêts anciennes présentent donc, parmi tous les milieux naturels, la diversité biologique la plus importante (Falinski, 1986 ; Koop, 1989 ; Carbiener, 1995 ; Peterken, 1996 ; Kempf, 1997). De plus, elles constituent les témoins du fonctionnement originel des forêts et représentent donc le modèle le plus pertinent pour améliorer la connaissance du fonctionnement des écosystèmes forestiers en général (Koop, 1989 ; Carbiener, 1996 ; Schnitzler-Lenoble, 2002). Ces forêts anciennes doivent donc être considérées comme des écosystèmes exceptionnels (Bergeron, Bouchard et Villeneuve, 1997).

Pour le Sud-Ouest de la France, si des massifs forestiers comme ceux de Grésigne (Tarn), de Sare et d'Iraty (Pyrénées-Atlantiques), de la Massane (Pyrénées-Orientales) représentent des hauts-lieux reconnus de biodiversité (Brustel, 2004) c'est davantage à leurs particularités de gestion passée et à leur ancienneté qu'à leur naturalité. Aujourd'hui, les forêts présentant un fort degré de naturalité doivent être recherchées dans les zones d'altitude, surtout aux étages montagnard et subalpin (Astrie & Péchin, 1987 ; Gonin-Reina, 1988), beaucoup plus rarement à l'étage collinéen. Cependant, aucune évaluation globale, prenant en compte à la fois les données historiques, dendrométriques, écologiques et biologiques n'a encore été menée sur les forêts anciennes à l'échelle des Pyrénées françaises.

Le projet concerne les parties pyrénéennes, c'est à dire les régions forestières "Bordure sous pyrénéenne", "Petites Pyrénées et Plantaurel", "Front pyrénéen" et "Haute chaîne pyrénéenne", des départements des Hautes-Pyrénées, de la Haute-Garonne et de l'Ariège.

L'étude initiée par le GEVFP s'est donné les objectifs suivants :

- cartographier les sites pyrénéens de Midi-Pyrénées abritant potentiellement des forêts anciennes, l'accent étant mis sur les vieilles forêts ;
- réaliser une évaluation préalable approfondie d'un nombre limité de forêts d'intérêt reconnu, à partir de multiples indicateurs spécifiques de chaque thématique ;
- à partir des résultats de cette étude préalable, établir une méthodologie simplifiée permettant une évaluation multi critères de tous les sites répertoriés par la cartographie initiale ;
- tester cette méthodologie sur quelques sites connus et inconnus de forêts anciennes, tous types confondus, de niveaux d'ancienneté et de naturalité variés.

A la suite de cette étude, considérée comme une phase préliminaire, il est prévu :

- d'effectuer un inventaire et une évaluation de tous les sites recensés lors de la phase initiale de cartographie, à l'exception de ceux dont l'intérêt est déjà connu et de valeur patrimoniale faible à limitée ;
- d'établir une typologie et une liste hiérarchisée des forêts anciennes pyrénéennes en Midi-Pyrénées, l'accent étant mis sur les vieilles forêts.

A terme, les retombées envisagées sont les suivantes :

- une meilleure connaissance des forêts anciennes pyrénéennes en Midi-Pyrénées et des organismes vivants hébergés par des stades forestiers peu observés en Europe ;
- la proposition, à l'échelle de la partie centrale de la chaîne, d'une liste de sites intégrés dans un réseau cohérent, essentiel au suivi et à la gestion de la biodiversité, et constitués de zones refuges, dont les plus riches seraient spécifiquement prises en compte après discussion avec les propriétaires, de zones intermédiaires de dispersion, de corridors écologiques ;
- la définition de règles de gestion pour chaque type de forêt ancienne et de sites, avec, en tenant compte des contraintes ainsi proposées aux propriétaires, la constitution de réserves intégrales, la mise en place d'îlots de sénescence, la formulation de recommandations de gestion pour la matrice cultivée intercalaire ;
- à la suite d'études complémentaires sur un nombre réduit de sites, acquérir une meilleure connaissance du fonctionnement des forêts, en particulier dans les phases terminales, de déclin et de rajeunissement des cycles sylvigénétiques.

A plus long terme, l'étude proposée ici s'inscrit dans un projet plus large d'inventaire et d'évaluation des forêts anciennes sur l'ensemble de la chaîne pyrénéenne, sur ses versants français et espagnol. Le Groupe d'Etudes des Vieilles Forêts Pyrénéennes compte déjà des experts dans les Pyrénées-Orientales et dans les Pyrénées-Atlantiques. De plus, des contacts existent entre ce groupe de travail et des structures universitaires espagnoles ayant les mêmes préoccupations, aussi bien en Catalogne qu'en Aragon et en Navarre.

2. RESULTATS DE L'ETUDE

2.1. Liste hiérarchisée et cartographie des sites d'intérêt potentiel

Les objectifs de cette partie de l'étude étaient de disposer d'une cartographie (localisation et enveloppe) des sites intégrant potentiellement des forêts anciennes et regrouper dans une base de données l'ensemble des informations disponibles sur ces sites (localisation, surface, existence sur les cartes anciennes, région forestière de rattachement, exposition, étage bioclimatique de rattachement, ...).

2.1.1. Méthodologie

Les informations collectées ont diverses origines : anciens aménagements forestiers depuis, s'ils existent, le XVII^{ème} siècle, données de terrain recueillies par des gestionnaires forestiers, des experts scientifiques de diverses disciplines (botanistes, mycologues, bryologues, lichénologistes, entomologistes, ...) et par des naturalistes amateurs. L'acquisition initiale des données de terrain a pu se faire dans le cadre d'études et d'expertises pour le compte de diverses structures : Parc National des Pyrénées, Réserves Naturelles, DREAL (notamment dans le cadre de la création de sites NATURA 2000 et de la campagne de modernisation des ZNIEFF), CBN PMP, Office National des Forêts, ... et lors de prospections informelles.

Les informations relatives à chaque site ont été saisies dans une base de données. Les points cartographiques ont été reportés sur fond topographique IGN Scan 25 et chaque site est relié à sa fiche d'identité.

2.1.2. Résultats

La base de données et la cartographie comportent aujourd'hui 91 sites (voir la liste des sites avec leurs caractéristiques en annexe 1 et leur cartographie en annexe 2). La surface totale cartographiée représente un peu plus de 6 200 ha (le site de la vallée de Lesponne (2500 ha) présente une enveloppe très large dans lequel les vieilles forêts ont une importance bien moindre que ce qui apparaît sur la carte, 500 ha tout au plus). Aucun site n'est cependant répertorié dans la haute vallée de l'Ariège et le massif du Quérigut, bien que certains secteurs, encore trop mal connus, présentent des potentialités d'existence de vieilles forêts.

La distribution des sites sur les départements pyrénéens de Midi-Pyrénées n'est pas homogène (Tableau 1). Plus de la moitié des sites répertoriés sont localisés dans les Hautes-Pyrénées alors que l'Ariège n'en compte que 10%. Cela traduit une réalité bien connue des forestiers et des scientifiques : la forte dégradation passée des forêts ariégeoises en comparaison de celles des autres départements, en particulier en raison de l'importance qu'y a tenu le traitement en taillis fureté pour alimenter l'industrie métallurgique (forges dites « à la catalane ») jusqu'à la fin du XIX^{ème} siècle (de FROIDOUR, 1670 ; BONHOTE & VERNET, 1988 ; JALUT, METAILIE *et al.*, 1991), les forêts devenant presque toutes des hêtraies pures industrielles.

Tableau 1. Répartition des sites comportant potentiellement des forêts anciennes

Département	Nombre de sites	%	Surface des sites	%
Hautes-Pyrénées	51	56	3 385	54
Haute-Garonne	31	34	2 491	40
Ariège	9	10	380	6
TOTAL	93		6 256	

La répartition selon l'altitude est également très hétérogène (Tableau 2). Comme attendu, les sites sont essentiellement localisés aux altitudes élevées, en particulier aux étages montagnard moyen et supérieur et à l'étage subalpin inférieur. Les autres étages bioclimatiques ne sont représentés que dans moins de 15% des sites et même à peine plus de 5% pour l'étage collinéen. Les forêts pyrénéennes ont en effet subi une double pression anthropique, à partir des altitudes inférieures (coupe de bois de feu et de construction, pâturage, incendie pour entretenir les parcours attenants), mais aussi à partir des altitudes supérieures (incendie pour étendre et entretenir les pâturages, coupe de bois de feu et de construction pour les bergers). Plus récemment, l'implantation de routes forestières dans tous les secteurs où l'accès ne présentait pas de contrainte majeure (pente modérée, sol stable, absence de ressaut, ...), en particulier aux étages collinéen et montagnard inférieur et moyen, ont contribué à faciliter une exploitation assurant un rajeunissement important des forêts.

En conséquence, la distribution dans les régions forestières de l'Inventaire Forestier National montre une représentation dominante des sites recensés dans la région "Haute chaîne pyrénéenne" et une très forte sous représentation dans les régions "Bordure sous-pyrénéenne" et "Petites Pyrénées et Plantaurel". Les sites contenant potentiellement des vieilles forêts ne constituent que près de 2 à 4% de la surface forestière totale des régions "Haute chaîne pyrénéenne" et "Front pyrénéen", mais moins de 1‰ de celle de l'ensemble des régions "Bordure sous-pyrénéenne" et "Petites Pyrénées et Plantaurel".

Tableau 2. Répartition des sites abritant potentiellement des forêts anciennes.

Région forestière	% de sites	% surface forestière	Etage bioclimatique		% de sites concernés	
Bordure sous-pyrénéenne Petites Pyrénées et Plantaurel	1	< 1‰	collinéen	moyen supérieur	2 4	5
			montagnard	inférieur moyen supérieur	12 55 77	90
Haute chaîne pyrénéenne	63	4,1	subalpin	inférieur supérieur	55 9	55

Un des objectifs de la deuxième phase de l'étude sera de préciser les enveloppes des sites abritant réellement des vieilles forêts.

2.2. Présentation des sites étudiés

Les sites retenus pour l'étude préalable comportent 3 forêts anciennes refuges d'espèces et 7 vieilles forêts. Leurs caractéristiques sont données par le Tableau 3. La surface des sites est obtenue à partir de la cartographie sur SIG. Leur répartition globale est fournie par la Figure 1 et la cartographie précise apparaît en annexe 3.

Tableau 3. Caractéristiques des sites étudiés

Type d'habitat	Essences	Nom du site	Commune	Propriétaire	Surface (ha)
forêt refuge	hêtraie	Réouère	Binos (31)	Commune de Binos	45
	pineraie -(sapinière)	Oule	Aragnouet (65)	Commune d'Aragnouet	111
	pineraie	Bastanet	Vielle-Aure (65)	Commune de Vielle-Aure	256
vieille forêt	hêtraie	Génie Longue	Saint-Pé-de-Bigorre (65)	Etat et commune de Saint-Pé-de-Bigorre	176
		Burat	Marignac (31)	Etat et commune de Marignac	325
	sapinière -(hêtraie)	Auribareille	Cauterets (65)	Syndicat de la vallée de Saint-Savin	200
		Oudérou	Esbareich (65)	Propriétaire privé	21
		Barrada	Gèdre (65)	Syndicat de la vallée de Barèges	68
	sapinière	Bois Neuf	Saint-Mamet (31)	Etat	93
		Bugatet	Aragnouet (65)	Commune d'Aragnouet	53

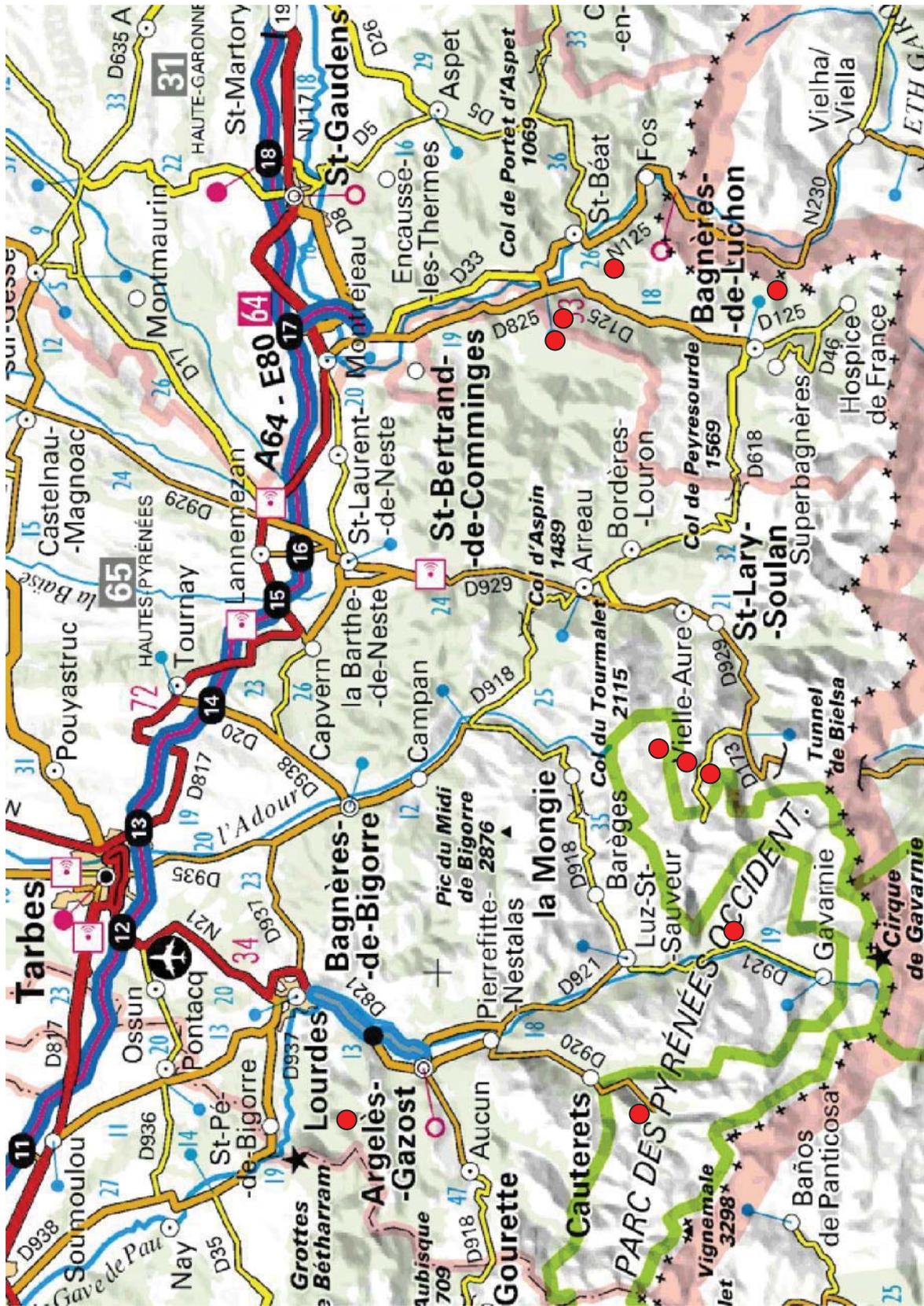
Les forêts refuges d'espèces constituent des hauts-lieux reconnus de biodiversité, mais cela est davantage lié à leurs particularités de gestion passée et à leur ancienneté qu'à leur naturalité. C'est le cas des forêts du massif du Néouvielle (sites de Oule et de Bastanet), situées en bordure de la Réserve Naturelle (voir notamment Brustel *et al.*, 2004 ; Dajoz, 1971 ; Dajoz, 1977 ; Leseigneur, 1972, pour les coléoptères ; Speight, 1989, pour les syrphes). Pour le site de Réouère, occupé par une hêtraie constituée de vieux arbres têtards à utilisation agro-pastorale ancienne, c'est la comparaison avec les forêts de Sare et de Saint-Pée-sur-Nivelle (Pyrénées-Atlantiques), réputées pour leur richesse en coléoptères saproxyliques (Brustel, 2004 ; Van Meer, 2002 ; Van Meer, 1999) qui a motivé le choix.

Le site de Génie Longue constitue également un cas particulier : localisé en fond de ravin au pied de grands versants formant cirque, alors qu'il a été assez intensivement exploité, il bénéficie d'un apport important de bois de chablis et d'une ambiance thermo hygrométrique propice au développement de certains organismes saproxyliques.

Le choix des autres forêts a été réalisé à dire d'expert, à partir de connaissances partielles issues de prospections naturalistes, sur un nombre limité de groupe taxonomique, ou à partir d'observations du potentiel d'accueil des sites.

Un premier indicateur de qualité peut être mis en avant : la surface des sites. D'après Tierney et al. (2009), pour être considérés à forte intégrité écologique, les sites forestiers doivent avoir une surface supérieure à 50 ha, ce qui est le cas de tous ceux qui font l'objet de la présente étude, sauf Oudérou et, dans une moindre mesure, Réouère. Ces sites, comme tous les autres, ne sont cependant jamais isolés et sont intégrés à des massifs forestiers de plus grande étendue.

Figure 1. Répartition géographique des sites étudiés - échelle : environ 1/380 000° (1 cm = 3,8 km)



2.3. Résultats des indicateurs

2.3.1. Les indicateurs « stationnels » (*contributeur : JM SAVOIE, EI PURPAN*)

L'étude des indicateurs stationnels a pour objectif principal de caractériser le plus finement possible le biotope de chacun des sites étudiés. Cela peut aussi permettre d'interpréter des données recueillies sur les indicateurs espèces ou de comprendre les assemblages mis en évidence.

a - méthodologie

Sur chacun des 10 sites sélectionnés dans le cadre du projet, 3 à 5 périmètres homogènes du point de vue des conditions de milieu et de la végétation ont été sélectionnés à proximité des pièges à insectes, soit au total 37 périmètres. Les observations ont été réalisées en un seul passage sur chaque site, entre début mai et mi-août selon l'altitude. Pour chacun des relevés, elles ont concerné les éléments suivants :

- topographie :

- . altitude ; exposition globale du site et exposition du relevé ; pente
- . degré de confinement : mesure de l'angle avec la crête du versant opposé
- . forme du versant, en long et en travers ; situation topographique
- . présence d'accident topographique : falaise, barre ou crête rocheuse, ressaut, ravin, ...

- géologie et géomorphologie :

- . nature de la ou des roches-mères
- . morphologie de surface : présence de lapiaz, éboulis, affleurement rocheux, ...
- . origine des formations superficielles : moraine, colluvion, solifluxion, ...

- forme d'humus, pH en A et type de sol

b - répartition des sites selon les étages bioclimatiques

A partir des données stationnelles (altitude, exposition et degré de confinement), les sites ont été rattachés à un étage bioclimatique (annexe 4). Les sites se répartissent entre 600 et 2100 m d'altitude. La plupart (6) présente une exposition de secteur nord, 3 sont en exposition chaude (sud-ouest à sud-est) et un en exposition est. Ils s'intègrent aux étages montagnard et subalpin (Figure 2) :

- étage **montagnard inférieur** : sites de Génie Longue (GL) et Réourère (Ré)
- étage **montagnard moyen** : sites de Burat (Bur) et Auribareille (Au)
- étage **montagnard supérieur** : sites de Oudérou (Oud) et Barrada (Bar)
- étage **subalpin inférieur** : sites de Bois-Neuf (BN), Bugatet (Bug), Oule (Oul) et Bastanet (Bas)

Le site de Génie-Longue, malgré sa faible altitude, est rangé dans l'étage montagnard inférieur en raison du très fort confinement qui le caractérise : situé au fond d'un cirque très encaissé orienté nord, il bénéficie également d'une forte humidité atmosphérique par la présence du ruisseau et de cascades.

c - conditions microclimatiques des sites

Les données topographiques évaluées sur le terrain (pente, exposition) au niveau de chaque relevé ont été complétées par les informations issues des cartes topographiques afin de calculer les valeurs de l'irradiation annuelle au niveau de chacun des sites étudiés (annexe 4). Ces valeurs ont ensuite été corrigées en fonction de la situation topographique (position du site sur le versant, topographie générale du massif forestier dans son ensemble) et du degré de confinement du site (valeur et orientation du masque). Cela aboutit à une note de l'ambiance thermo hygrométrique du site (Tableau 4 et annexe 4).

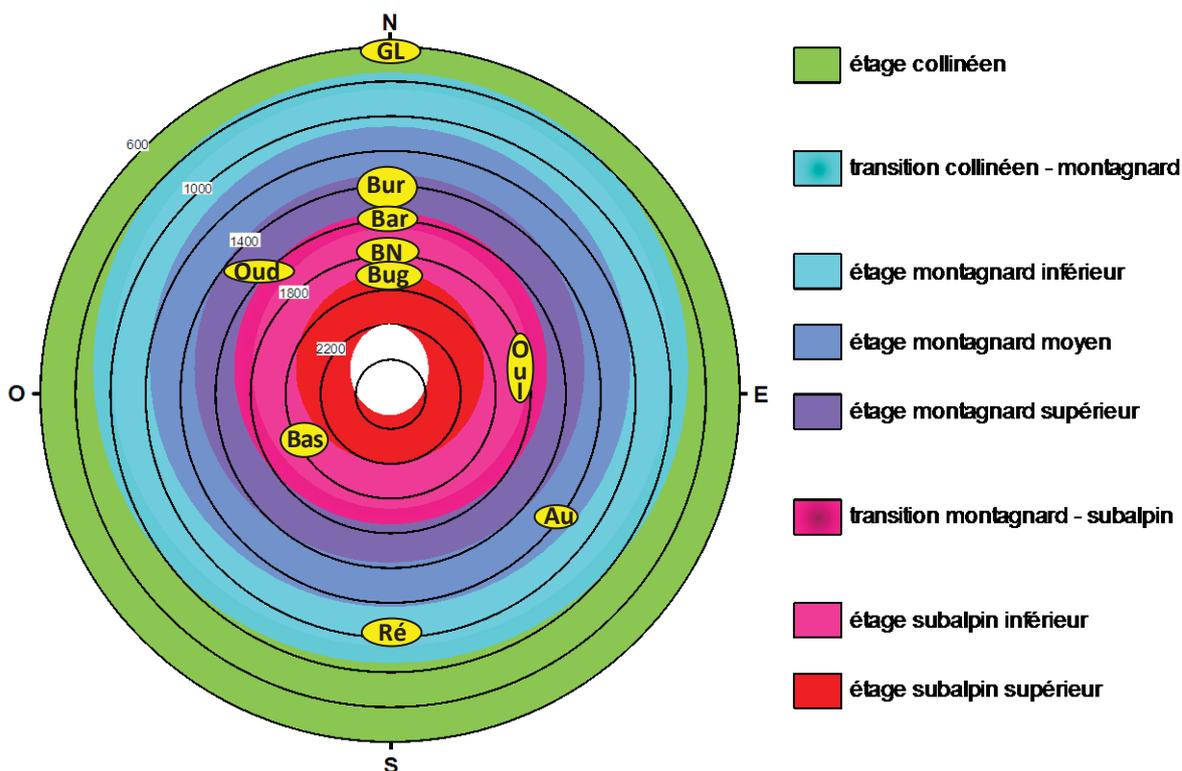


Figure 2. Répartition des sites selon l'altitude et l'exposition (étages bioclimatiques)

Par ailleurs, pour compléter l'évaluation du degré de recouvrement de la strate arborescente (effectuée au niveau de chaque relevé de végétation), le recouvrement global des arbres à l'échelle de chacun des sites a été apprécié sur photographies aériennes (Tableau 4). Cette valeur a ensuite permis de corriger la note d'ambiance thermo hygrométrique pour avoir une idée de l'ambiance micro climatique de chaque site (Tableau 4 et annexe 4).

Tableau 4. Caractéristiques micro climatiques des sites étudiés

Sites	Irradiation (10^9 joules/m ² /an)	Note thermo hygrométrique	Recouvrement arborescent (%)	Note micro climatique
Réouère	6,8	6,5	75	5,4
Bastanet	6,1	5,3	35	5,1
Oudérou	5,6	5,6	60	4,9
Oule	5,5	5	40	4,8
Auribareille	5,7	4,3	70	3,6
Bugatet	4,3	3,7	75	3,0
Burat	4,3	3,7	90	2,9
Bois Neuf	3,7	3,5	95	2,7
Barrada	4,2	3,6	100	2,7
Génie Longue	4,1	3,1	95	2,3

Les sites peuvent être répartis en 4 groupes :

- sites en exposition chaude, en ambiance peu ou pas confinée, avec souvent une strate arborescente assez ouverte, bénéficiant d'un microclimat relativement ensoleillé, avec une note voisine de 5 : **Réouère, Bastanet, Oudérou** et **Oule** ;
- site en exposition intermédiaire, en ambiance assez confinée, avec une strate arborescente assez ouverte et une note voisine de 3,5 : **Auribareille**
- sites en exposition fraîche, en ambiance moyennement confinée, avec souvent une strate arborescente dense à très dense, bénéficiant d'un microclimat ombragé, avec une note voisine de 3 : **Bugatet, Burat, Bois Neuf** et **Barrada** ;
- site en exposition fraîche, en ambiance très confinée en fond de ravin, avec une strate arborescente fermée, bénéficiant d'un microclimat très ombragé et humide à proximité de cascades, avec une note voisine de 2,5 : **Génie Longue**

d - conditions hydriques et trophiques

Les caractéristiques stationnelles des sites étudiés, recueillies sur le terrain, sont reportées en annexe 5. Les données topographiques (exposition, confinement, forme du versant), géologiques (nature de la roche), pédologiques (forme d'humus, pH en A, type de sol) et floristiques, par l'utilisation des clés de reconnaissance du Catalogue des types de stations forestières des Pyrénées centrales (SAVOIE, 1995), ont permis de classer les relevés dans un écogramme.

Les roches sur lesquelles se développent les forêts inventoriées sont surtout de type silicaté : micaschiste (5 sites), granite (2 sites), schiste (2 sites) ; un seul site est installé sur roche calcaire. Les humus, malgré cette dominante des roches silicatées et de l'altitude, se rattachent surtout à des formes assez actives : oligomull ou dysmull (18 relevés sur 37). Les formes peu actives et très peu actives (eumoder, dysmoder et mor) concernent 16 relevés et les formes actives ou très actives, seulement 3 relevés.

Du point de vue des conditions stationnelles, les sites se classent principalement dans les niveaux trophiques « oligotrophe » et « mésotrophe » et dans les niveaux hydriques « assez sec à assez frais » et « frais » (Figure 3) :

- niveau **très oligotrophe** : site de Bastanet
- niveau **oligotrophe** : sites de Réouère, Oudérou, Bois-Neuf, Bugatet et Auribareille (AUR – en partie)
- niveau **mésotrophe à oligotrophe** : sites de Barrada et Oule
- niveau **mésotrophe** : sites de Burat et Auribareille (AUR – en partie)
- niveau **calcique** : site de Génie Longue

- niveau **sec** : site de Oule
- niveau **assez sec à assez frais** : sites de Réouère, Bugatet, Bastanet et Auribareille (AUR – en partie)
- niveau **frais** : sites de Oudérou, Burat, Bois-Neuf, Génie Longue, Barrada et Auribareille (AUR – en partie)

très sec									
sec			OULE						
assez sec	BASTANET	REOUERE							
assez frais		OUDEROU AUR pie							
frais		BUGATET BOIS-NEUF	BARRADA	BURAT AUR pie			GENIE LONGUE		
assez humide									
humide									
mouillé									
humidité richesse chimique		oligotrophe		mésotrophe		eutrophe	calcique		calcaire

Figure 3. Position des sites étudiés sur un écogramme

Ces données ont permis d'attribuer à chaque site une note globale de fertilité, combinant niveau trophique et niveau hydrique (Tableau 5). Du point de vue de leur fertilité, les sites peuvent être répartis en 3 groupes :

- site très fertile, avec une très bonne richesse chimique et une alimentation en eau satisfaisante : Génie Longue ;
- sites à bonne fertilité, avec une richesse chimique modérée à moyenne et une alimentation en eau moyenne à satisfaisante : Burat, Auribareille, Barrada, Bois Neuf et Bugatet ;
- sites à fertilité médiocre, avec une richesse chimique faible et une alimentation en eau moyenne à déficitaire : Oudérou, Oule, Réouère et Bastanet.

Tableau 5. Niveau de fertilité (F) des sites étudiés

	Bastanet	Réouère	Oule	Oudérou	Bugatet	Bois Neuf	Barrada	Auribareille	Burat	Génie Longue
F	3	4	5	6	10	10	12	12	12	16

2.3.2. La gestion antérieure des sites : un indicateur historique (contributeur : M. BARTOLI)

2.3.2.1. Commentaire général

Tenter de trouver dans les archives forestières des éléments anciens pouvant être reliés à la biodiversité actuelle n'est pas évident. De toute façon, le lien est très souvent indirect et alors flou, hypothétique, mais pas toujours (BARTOLI, 2010) ; mais ne pas en chercher peut laisser vaguer l'imagination de façon bien incertaine, la réalité d'aujourd'hui doit à peu près s'expliquer par celle décrite.

Les sites **choisis** l'ont été non sans *a priori* sur leur naturalité. Et celle-ci est souvent due à la difficulté d'accès telle que nous la percevons **actuellement**. La pratique intense du lançage, puis, à partir de 1920-1930, l'arrivée des grands tricâbles forestiers – de plusieurs kilomètres de long (BARTOLI, 2007) - ont conduit à des coupes très fortes dans des zones toujours non desservies et jugées aujourd'hui totalement inexploitable. Les surfaces boisées peuvent aussi n'avoir été que peu ou pas exploitées, mais il est plus que fréquent qu'elles ont été pâturées plus ou moins intensément. C'est alors le renouvellement du peuplement qui a été obéré lors d'une période de maximum d'utilisation anthropique allant de 1840 à 1914, avec une pointe vers 1860. On pouvait même créer des types de peuplements – les têtards – pour concilier récolte de bois et récolte d'herbe. Ce pâturage induisait une présence humaine et, pour améliorer les parcours, de petites mises à feu sous bois et, pour les hommes, des prélèvements d'arbres (pas trop gros pour construire les cabanes) ou de branches et de produits morts gisant (pour le chauffage). Ces prélèvements, au total très loin d'être négligeables, ne sont pas archivés : il s'agissait soit de délits soit de menus produits. Seules les coupes vendues sont consignées dans les archives.

Les problèmes d'interprétation du lien archives/biodiversité sont les suivants :

- les pratiques décrites, si elles ont une influence sur les cycles forestiers, peuvent être très favorables à la biodiversité, créant, par exemple, des blessures le long des couloirs de lançage pour la pratique « exploitation ». Et si le pâturage avait lieu dans une forêt devenue régulière, 150 ans après, cette classe d'arbres s'écroule plus ou moins d'un coup stockant de façon « fugace », de la biodiversité ;
- les peuplements marginaux sont plus ou moins bien décrits dans les aménagements forestiers. En tout cas, **il n'est parlé que des arbres vivants**. On peut trouver des mentions sur les « arbres dépérissants » mais jamais sur les éventuels arbres morts debout ou à terre ;
- dans les zones où il y a eu des coupes, on ne perçoit que le volume total, non celui prélevé, mais celui martelé. Les consignes – très bien suivies – étaient de marquer d'abord les dépérissants, les gros sans qualité qui gênaient des régénérations. Mais leur exploitation n'était pas obligatoire à l'inverse de leur abattage qui, lui, l'était. Une « grosse coupe » avec des tiges de très gros diamètres non vidangeables peut donc avoir été une forte source de nécromasse.

Si des documents d'archives forestières existent depuis la fin du XVII^e siècle (Réformation de Froidour), ils sont alors, pour les sites étudiés, sans description des peuplements comme cela peut être le cas ailleurs (plaine ou certaines forêts audoises ou ariégeoises). Les premières descriptions (peuplement, pâturage et coupes) ne commencent qu'à la fin du XIX^e siècle, ce qui n'est pas un recul énorme. Les mots de cette époque ne signifiaient pas la même chose que le même mot aujourd'hui : un peuplement qualifié de « suffisamment dense » en 1870, serait actuellement décrit comme « clair à très clair ».

En fait, c'est ce travail d'étude de la biodiversité actuelle qui devrait mieux faire « lire » et comprendre les descriptions de naguère.

2.3.2.2. Fiches synthétiques des données d'archives

Les fiches qui suivent rendent compte des données extraites des archives de l'Office National des Forêts (ONF) et des Archives Départementales de la Haute-Garonne (ADHG) qui, pour la forêt, couvrent toute la région Midi-Pyrénées. Elles présentent successivement :

- un résumé de la gestion antérieure du site et la date de la dernière intervention inscrite,
- la gestion actuelle,
- les facteurs limitant **actuellement** l'exploitation forestière,

Pour montrer que les "célèbres" archives de la Réformation de Froidour apportent parfois des renseignements succincts ou pas de renseignement du tout, voici le plan de la forêt communale de Marignac (site Burat ; Figure 4).

Normalement, ces plans sont remplis par les descriptions des peuplements, descriptions répétées dans un procès-verbal. Là, rien ; et le procès-verbal est quasiment aussi vide. On y lit juste que la forêt est pâturée.

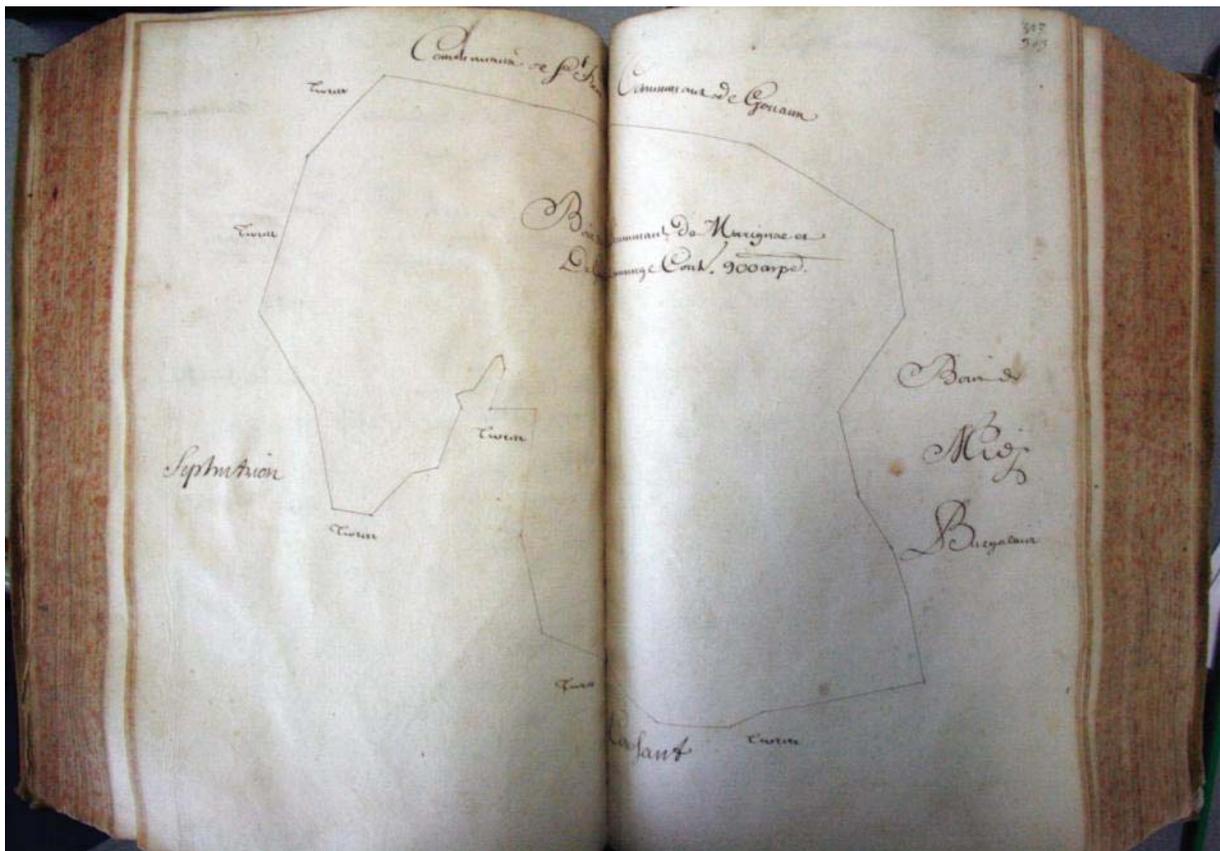


Figure 4. Extrait des archives de Froidour : plan de la forêt de Marignac (site de Burat)

Site de AURIBAREILLE

Sources	Gestion antérieure et gestion prévue
ADHG	<p>Résumé de la gestion antérieure et date de la dernière intervention :</p> <ul style="list-style-type: none"> - en gros, jamais de coupe (sauf d'arbres sur le bord du sentier en aval du site pour le laisser praticable) ni d'enlèvement d'arbres déperissants : <i>"nous ne proposons pas non plus de procéder à des exploitations d'arbres déperissants ; le terme "arbres déperissants" est trop souvent vague et trop susceptible d'être généralisé dans certains cantons et on ne trouverait pas un seul sapin qui ne fût pas taré ou déperissant et cependant ces arbres vivent ainsi bien longtemps, maintiennent le couvert et répandent de la graine sur le sol."</i> lit-on en 1900. - au bord des rares couloirs permettant du lançage vers le Gave, exploitation d'arbres déperissants de 1939 à 1954. <p>Gestion actuelle : pas de coupe prévue</p> <p>Facteurs limitant de l'exploitation forestière :</p> <ul style="list-style-type: none"> - en partie supérieure du site, rochers et falaises empêchant le lançage - pas de desserte, à part des passerelles sur le Gave

Site de BARRADA

Sources	Gestion antérieure et gestion prévue
ADHG ONF Source orale locale	<p>Résumé de la gestion antérieure et date de la dernière intervention :</p> <ul style="list-style-type: none"> - partie est (où est installé le site étudié) jamais exploitée et jamais pâturée (forte pente et manque d'herbe) - partie ouest : <ul style="list-style-type: none"> • coupe à câble en 1953 avec fort prélèvement dans le sapin. Ce fut la première coupe • enlèvement du hêtre sans doute au début du XIXe siècle par des soldats déserteurs. <p>Gestion actuelle : pas de coupe prévue</p> <p>Facteurs limitant de l'exploitation forestière :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pente forte et médiocre qualité des produits <i>dans la partie est du massif</i> - à l'ouest du massif, présence de rochers limitant l'accès

Sites de BASTANET et de OULE

Sources	Gestion antérieure et gestion prévue
<p>ONF</p> <p>(1 seul document : soumission au RF en 1976)</p>	<p>Résumé de la gestion antérieure et date de la dernière intervention :</p> <ul style="list-style-type: none"> - les renseignements disponibles sont mal géoréférencés. S'il n'a pas été trop exploité par des coupes telles qu'on l'entend communément, le massif du Néouvielle, dans lequel s'inscrivent ces deux sites, a été pâturé intensément durant des siècles avec des prélèvements des bergers sur les arbres : fabrication de « têtes » (pour la fabrication de torches) et coupes de branches (pour le chauffage). Ces prélèvements très anciens ont été diffus mais constants. - dans la zone du lac de l'Oule, coupe de 8000 m³ de 1946 à 1957 pour la construction du barrage. <p>Gestion actuelle :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pas de coupe ; il n'y a plus de pâturage - écosystème réglé par l'armillaire <p>Facteurs limitant de l'exploitation forestière :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pas de desserte - pins et sapins de médiocre qualité

Site de BOIS NEUF

Sources	Gestion antérieure et gestion prévue
<p>ADHG</p> <p>ONF</p>	<p>Résumé de la gestion antérieure et date de la dernière intervention :</p> <p>Massif plus ou moins régulièrement exploité selon l'altitude, au détriment des dépérissants, têtards et autres arbres mal conformés. Site assez vaste, couvert par des parcelles régulièrement exploitées encore dans les années 1930, au moins pour leurs parties basses. (NB : les pins à crochets présents ont été semés vers 1880, époque à laquelle le sorbier, le bouleau, le tilleul et le frêne sont signalés).</p> <p>En partie basse, il était prévu d'extraire les « gros hêtres fourchus ». Les parties supérieures des parcelles concernées (<i>où est installé le site étudié</i>) ne semblent pas avoir fait l'objet d'exploitations intensives. Ces parties hautes de la forêt bordent les pâturages du col de Barèges et du Tuc du Plan de la Serre. Mais l'exposition nord, la présence de barres rocheuses et la très forte pente les ont protégées des incursions des troupeaux et des bergers.</p> <p>Gestion actuelle : futaie irrégulière, une coupe prévue en 2012 dans les parties basses des parcelles concernées</p> <p>Facteurs limitant de l'exploitation forestière :</p> <ul style="list-style-type: none"> - aucune pour les parties basses des parcelles concernées - absence de desserte pour les parties supérieures

Site de BUGATET

Sources	Gestion antérieure et gestion prévue
ADHG	<p>Résumé de la gestion antérieure et date de la dernière intervention :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le versant de Couplan, sur lequel s'inscrit le site étudié, a été intensément exploité depuis la fin du XVII^e siècle pour la fourniture de mâts de marine. Une route forestière est ouverte dès 1692. La qualité des bois y est réputée. - la partie la plus haute de la vallée (<i>celle où est implanté le site étudié</i>) a sans doute été moins exploitée mais n'a pu que l'être. En 1879, seule la parcelle A (la plus au nord), <i>dans laquelle est installé le site d'étude</i>, est mise « hors cadre » (= hors coupe). Tout le site a subi « des abus d'exploitation et surtout de pâturage ». - des coupes ont eu lieu (sauf parcelle A) jusqu'en 1908 : découpes en billons de 3,5 à 4 m de longueur avant lançage. <p>Gestion actuelle : jardinage ; pas de coupe prévue</p> <p>Facteurs limitant de l'exploitation forestière : peu, car exploitation par câble possible</p>

Site de BURAT

Sources	Gestion antérieure et gestion prévue
ADHG ONF	<p>Résumé de la gestion antérieure et date de la dernière intervention :</p> <ul style="list-style-type: none"> - fin du XIX^e siècle : zone alors en « demi abandon depuis une quarantaine d'années [avec] un pâturage qui s'exerce assez modérément ». - sur la commune voisine de Burgalays, en 1891, inventaire de tous les arbres avec séparation des têtards (environ 25 % des sapins, 40 % des hêtres). En 1925, il était prévu d'enlever tous les têtards, mais la suite donnée reste inconnue. - la partie supérieure de la forêt, <i>au dessus du site étudié</i>, borde les prairies d'altitude du Burat : cette zone, jamais déboisée, a cependant été soumise au pâturage et, sans doute, aux prélèvements de bois des bergers. <p>Gestion actuelle : Réserve Biologique Dirigée : pas de coupe prévue</p> <p>Facteurs limitant de l'exploitation forestière :</p> <ul style="list-style-type: none"> - forte pente - médiocre qualité des bois - absence de desserte

Site de GENIE LONGUE

Sources	Gestion antérieure et gestion prévue
ONF	<p>Résumé de la gestion antérieure et date de la dernière intervention :</p> <p>Exploitation en taillis avec réserve de baliveaux : jusqu'au début du XX^e siècle, il fallait vraiment que la zone soit tout à fait inaccessible pour ne pas être exploitée. Objectif de l'exploitation : fabrication de charbon de bois, le tilleul étant, pour cela, très apprécié. Au fond de la Génie Longue, dernières coupes de charbonnage vers 1890/1900.</p> <p>Gestion actuelle : néant</p> <p>Facteurs limitant de l'exploitation forestière : tout (absence de desserte, médiocre qualité des bois) ... aujourd'hui, rien autrefois.</p>

Site de OUDEROU

Sources	Gestion antérieure et gestion prévue
néant	<p>Résumé de la gestion antérieure et date de la dernière intervention :</p> <p>Aucune archive, le Bois de Héréchède ne relèvent pas du régime forestier. La dernière exploitation (une partie des sapins de gros diamètre, sans coupe des arbres morts ou mal conformés) date d'une vingtaine d'année et concerne peu le site étudié : seuls quelques individus ont été prélevés sur la bordure sud-ouest.</p> <p>Gestion actuelle : futaie irrégulière</p> <p>Facteurs limitant de l'exploitation forestière : aucun (présence d'une route forestière permettant un accès aisé jusqu'au cœur du site, pente peu accentuée)</p>

Site de REOUERE

Sources	Gestion antérieure et gestion prévue
néant	<p>Résumé de la gestion antérieure et date de la dernière intervention :</p> <p>Aucune archive, la forêt de Binos (Bachos et Binos en réalité) ne relèvent pas du régime forestier. Cela prouve qu'au milieu du XIX^e siècle, le peuplement n'était pas considéré comme étant une forêt, au moins dans le sens où l'entendaient les forestiers de l'époque. Cela prouve au moins qu'il s'agissait de boisements plus ou moins lâches, sans doute parcourus par les troupeaux jusqu'à une période relativement récente.</p> <p>Gestion actuelle : pas de gestion particulière</p> <p>Facteurs limitant de l'exploitation forestière : médiocre qualité des bois</p>

Les données d'archives montrent des gestions passées très différenciées :

- une **absence ou une quasi absence d'utilisation** depuis au moins une centaine d'années : sites d'Auribareille (jamais exploité) et de Barrada (partiellement jamais exploité) ;
- une **utilisation strictement forestière** avec des prélèvements de bois :
 - . **faibles à modérés**, soit antérieurs au début du 20^e siècle (à Bugatet et à Burat), soit plus récents et s'étant prolongés jusqu'au début du 20^e siècle (site de Bois Neuf) ou aux années 80 (site de Oudérou ; mais les relevés dendrométriques et des micro-habitats ont été réalisés en dehors des zones exploitées) ;
 - . **forts à très forts** mais antérieurs au début du 20^e siècle, à Génie Longue ;
- une **utilisation sylvo-pastorale** : association d'un pâturage ancien et intensif, de prélèvements de bois anciens et modérés mais constants et de prélèvements importants pendant 10 ans jusqu'à la fin des années 50, dans le massif du Néouvielle (sites de Bastanet et Oule) ;
- une **utilisation agro-pastorale**, avec un traitement des arbres en têtards, permettant d'assurer une production d'herbe (pour le pâturage des herbivores), de glands (pour le pâturage des porcs), sans doute aussi de fougère aigle (pour la litière des animaux), mais aussi de bois (de branches, pour le chauffage et le charbonnage), avec quasi absence de coupe des troncs (sauf les arbres morts) depuis plus d'un siècle : site de Réouère.

Un indicateur important de qualité est mis en évidence à partir des données d'archives : la gestion des sites. D'après Tierney et al. (2009), pour être considérés à forte intégrité écologique, les sites forestiers doivent avoir moins de 10% de leur surface soumise à une utilisation anthropique, ce qui est le cas de tous ceux qui font l'objet de la présente étude.

2.3.3. Les indicateurs structurels (contributeur : L. LARRIEU, CRPF MP)

Les principaux objectifs du relevé des indicateurs structurels étaient les suivants :

- décrire le plus finement possible la composition des peuplements arborescents vivants, leur structure horizontale et verticale, leurs caractéristiques dendrométriques (diamètre, surface terrière, volume - globalement et pour chaque essence principale). La distribution de ces données doit permettre de se faire une idée de l'historique des peuplements et de leur dynamique ;
- connaître précisément la ressource en bois mort des sites, sur pied et au sol, le nombre de pièces par classe de diamètre, son volume par essence et par stade de saproxylation, afin de mettre en relation ces données avec les observations effectuées sur les organismes saproxyliques, champignons et coléoptères en particulier ;
- évaluer la richesse de chaque site en micro-habitats potentiels pour l'accueil de la faune inféodée à ces biotopes, notamment les syrphes, mais aussi les chiroptères, même si ces derniers n'ont pas fait l'objet d'inventaires dans le cadre de cette étude.

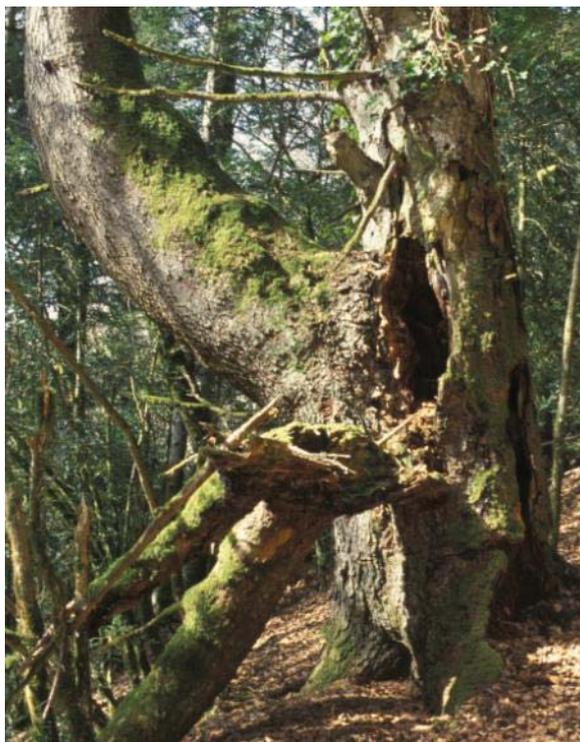
2.3.3.1. Méthodologie

L'évaluation des indicateurs structurels a été effectuée sur 2 à 9 placettes d'observation par site, selon leur taille, à proximité des zones de piégeage d'insectes (coléoptères saproxyliques et syrphes). Elle a été réalisée sur des placettes circulaires, sous la forme de tours d'horizon (visée à angle constant, de rapport 1/50) à l'aide d'un relascope de Bitterlich (appareil auto-correcteur de pente), centré sur le dispositif de piégeage d'insectes (pièges Polytrap ou tentes Malaise) ou, pour complément, à l'extérieur de la zone piégée mais néanmoins à l'intérieur du périmètre de vieille forêt identifiée dans la phase de choix des sites. La surface inventoriée était donc variable. Tous les arbres vivants inclus dans le tour d'horizon ont été identifiés à l'espèce et mesurés à 1,30 m de hauteur sur écorce, au cm arrondi, sans grosseur de précomptage. Puis leurs troncs et les principales ramifications ont été examinés attentivement pour noter les micro-habitats présents sur leurs parties visibles.

Les **bois morts au sol** et les **bois morts sur pied** ne contribuent pas à la surface terrière G. Tous les bois morts ont été identifiés au minimum au genre et dans la plupart des cas à l'espèce et mesurés en longueur au mètre arrondi jusqu'au fin bout de circonférence égale à 60 cm. La circonférence de chaque pièce a été mesurée au milieu pour les bois morts au sol et les bois mort debout de moins de 4 m de hauteur et à 1,30 m pour les bois morts debout de plus de 4 m. Le **stade de saproxylation** a été évalué pour toutes les pièces de bois morts, selon une échelle à 6 stades :

- stade 0,5 : arbre dépérissant ;
- stade 1 : bois mort ou coupé depuis 1 an au maximum, à écorce adhérente ; le couteau ne rentre que de quelques mm ;
- stade 2 : bois mort ou coupé depuis plus de 2 ans ; l'écorce est décollée (sauf sur le Hêtre) et commence à tomber, le bois est encore dur, le couteau ne rentre que d'1 ou 2 cm au maximum ;
- stade 3 : l'écorce est globalement tombée (sur les conifères), la décomposition du bois a commencé, le couteau rentre de 3 à 5 cm ;
- stade 4 : la décomposition du bois est bien avancée, le couteau rentre jusqu'à la garde ;
- stade 5 : bois désintégré.

Dans le cas des bois morts qui possédaient une hétérogénéité de stade de saproxylation, le stade noté était celui qui présentait le volume maximum.



Cavité de grande taille remplie de terreau sur tronc de sapin vivant.

Photo : L. LARRIEU, INRA Toulouse



Cavités vides, creusées par des Picidés, sur tronc de sapin.

Photo : L. LARRIEU, INRA Toulouse



Coulée de sève sur sapin, micro-habitat favorable à certaines espèces de syrphes.
Site de Barrada

Photo : L. LARRIEU, INRA Toulouse



Figure 5 : Types de micro-habitats représentés dans les sites étudiés



Carpophore d'*Ischnoderma benzoinum*, champignon saproxylique sur sapin, micro-habitat favorable à certains insectes saproxyliques (syrphes, coléoptères). Site de Burat.

Photo : L. LARRIEU, INRA Toulouse



Zone de bois sans écorce (bois dur apparent au stade de saproxylation 1).

Photo : L. LARRIEU, INRA Toulouse



Dendrotelmes (cavités potentiellement remplies d'eau) de pied sur chêne.

Photo : L. LARRIEU, INRA Toulouse

Figure 5 (fin). Types de micro-habitats représentés dans les sites étudiés

2.3.3.2. Le peuplement arborescent vivant

Les évaluations ont porté sur la surface terrière (G), le diamètre à 1,30m et le volume des arbres sur chacune des placettes d'observation des sites étudiés.

a - composition dendrologique

Etablie à partir des mesures de surface terrière, la composition dendrologique des peuplements permet de distinguer 4 types de forêts (Figure 6 et Tableau 6) :

- **les hêtraies**, quasi pures (**Réouère**) ou avec plusieurs essences secondaires représentant près du tiers de la surface terrière (**Génie Longue**) : ce sont des forêts de basse altitude (étage montagnard inférieur), dans lesquelles la quasi disparition du sapin a été favorisée par la gestion passée (pâturage à Réouère et exploitation forestière à Génie Longue) et son extension défavorisée par les conditions stationnelles (étage montagnard inférieur) ;
- **les sapinières (-hêtraies)**, dans lesquelles le hêtre reste très minoritaire (près de 5% des tiges à **Auribareille** et **Barrada**, près de 15% à **Oudérou** et **Burat**), avec peu d'autres essences secondaires et d'essences d'accompagnement (près de 5% à Auribareille et Burat, mais moins de 1% à Barrada et Oudérou) : ce sont des forêts de l'étage montagnard moyen à supérieur, dans lesquelles les deux essences sont en conditions stationnelles optimales (productivité importante) ;
- **les sapinières de Bugatet et Bois Neuf**, quasi pures, dans lesquelles le hêtre est absent et où les essences secondaires et d'accompagnement représentent moins de 2% de la surface terrière : il s'agit de forêts de l'étage subalpin inférieur très peu perturbées par leur gestion passée ;
- **les pineraies de Bastanet et Oule**, pures (même si le sapin tend à s'installer dans une partie du site de Oule) sont des forêts de l'étage subalpin inférieur dans lesquelles l'expansion des pins a été fortement favorisée par la gestion passée (exploitation forestière et pâturage).

Tableau 6. Pourcentages de tiges par hectare des "autres essences" (essences secondaires et d'accompagnement) dans les peuplements d'arbres vivants des sites étudiés

Essences	Auribareille	Barrada	Bastanet Oule	Bois Neuf	Bugatet	Burat	Génie Longue	Oudérou	Réouère
Bouleau	2			3		5			
Chêne sessile									3
Erable plane	3								
Frêne							11		
Orme							13		
Pins			100		4				
Tilleuls							18		
Sorbier		1		7	5	2			

Sur la Figure 6 et celles sur lesquelles apparaissent la répartition par essences, la composition de la classe "**autres essences**" diffère selon les sites (Tableau 6). Pour Oule et Bastanet, il s'agit de l'essence dominante, représentée par des pins (sylvestre, à crochets et de Bouget, en mélange). Ce sont parfois des essences secondaires, présentes dans l'étage dominant :

- le frêne commun, l'orme de montagne et, surtout, les tilleuls (à grandes feuilles et à petites feuilles), à Génie Longue où plus de 40% des tiges de l'étage dominant est représentée par des espèces non dryades ;
- des pins (à crochets ou de Bouget), à Bugatet ;
- l'érable plane, à Auribareille ;
- le chêne sessile, à Réouère.

Le plus souvent, il s'agit d'essences d'accompagnement présentes dans le sous-bois comme le bouleau verruqueux et le sorbier des oiseleurs, surtout représentées à l'étage montagnard supérieur et au subalpin. A Génie Longue, le buis constitue plus de 30% des tiges de circonférence supérieure à 15 cm.

b - la surface terrière

Elle est comprise entre 15 m²/ha à Bastanet et plus de 40 m²/ha à Barrada (Figure 6). Elle reste inférieure à 30 m²/ha dans les sites qui ont été les plus fortement soumis à l'exploitation forestière au cours des deux derniers siècles : Bastanet, Oule et Génie Longue. Pour les deux premiers, il s'agit aussi de peuplements d'altitude très ouverts (recouvrement des arbres sur l'ensemble du site voisin de 40%) qui ont été intensément pâturés jusqu'au milieu du XX^{ème} siècle. Les autres sites présentent des surfaces terrières voisines de 30 m²/ha quand la densité reste faible (à Burat et Auribareille) et de 35 m²/ha quand la densité s'accroît (à Bois Neuf, Oudérou, Bugatet et Réouère). Elle dépasse 40 m²/ha quand la densité devient importante, comme à Barrada.

c – la répartition des classes de circonférence

La répartition des classes de circonférence des arbres vivants permet de distinguer 5 types de forêts (Figure 7) :

- le type à **Très Gros Bois majoritaires** : sites de **Auribareille** et de **Réouère**. Avec les Gros Bois et les Bois Moyens, ils totalisent environ 95% des tiges. Le type est particulièrement bien caractérisé par le site de Auribareille où les TGB constituent 55% des tiges et les PB et Perches 2% seulement. Cela témoigne d'une régularisation du peuplement par un vieillissement important des arbres et un très faible taux de renouvellement. A Réouère, cette situation est vraisemblablement liée à la gestion passée (traitement complet en têtards, suivi d'un abandon brutal, avec peu d'arbres ayant atteint leur longévité maximum) et, à Auribareille, par une maturation naturelle (avec de nombreux arbres ayant atteint leur longévité maximum) ;
- le type à **Très Gros Bois et Gros Bois co-dominants** : sites de **Bastanet** et **Oudérou**. Ces 2 classes constituent plus de 70% des tiges et les PB et Perches n'en représentent que 5% environ. Cette structure met en évidence une évolution vers la régularisation par vieillissement (mais moins accentuée que dans les 2 sites précédents), accompagnée d'un taux de renouvellement faible à moyen ;
- le type à **Gros Bois dominants** : sites de **Barrada**, **Bois Neuf** et **Burat**. Cette classe représente 40 à 45% des tiges et les TGB et BM s'équilibrent autour de 20 à 30% des tiges pour 10% environ de PB et Perches. Cette distribution montre un vieillissement peu accentué des arbres (peu approchent de leur longévité maximum), avec un taux de renouvellement moyen ;
- le type à **Gros Bois et Bois Moyens co-dominants** : sites de **Bugatet** et **Génie Longue**. Ces 2 classes totalisent environ 60 à 70% des tiges pour 15 à 20% de TGB. Les 2 sites diffèrent cependant par l'existence d'un déficit de PB (5% environ des tiges) avec une bonne représentation des Perches (20% des tiges) à Bugatet. Cette répartition des classes de circonférence s'explique sans doute par les avalanches que subit occasionnellement ce site sur une partie de sa surface : elles éliminent une proportion importante des GB et TGB et permettent le renouvellement du peuplement (fort taux de Perches, atteignant près de 70% sur une des placettes d'inventaire). Pour Génie Longue, comme pour les sites du type précédent, on note un faible taux de PB et Perches (environ 10%). Le déficit en GB et TGB de ce site peut s'expliquer par de forts prélèvements, jusqu'à la fin du XIX^{ème} siècle, qui se traduisent par un vieillissement limité des arbres ;

- le type à **Gros Bois, Bois Moyens et Petits Bois co-dominants** : site de **Oule**. Les TGB et les Perches restent très minoritaires avec 10% des tiges environ. Cette distribution tient sans doute aux très forts prélèvements effectués sur ce site dans les années 50 et qui ont occasionné un fort rajeunissement du peuplement.

Afin d'avoir une idée plus précise de l'âge des arbres, la circonférence maximum des arbres vivants a également été analysée (Figure 8). La circonférence maximum des arbres morts, sur pied ou au sol, a aussi été ajoutée sur la figure. Pour l'ensemble des arbres, vivants ou morts, la circonférence maximum varie fortement d'un site à l'autre et selon les essences :

- **pour le sapin pectiné**, elle est la plus faible à **Bois Neuf** (360 cm, soit 1,15 m de diamètre), reste comprise entre 410 et 440 cm (1,30 à 1,40 m de diamètre) pour les sites de **Auribareille**, **Oudérou** et **Bugatet**, dépasse 470 cm (soit 1,50 m de diamètre) à **Burat** et **Barrada**, avec un maximum absolu de 540 cm (soit 1,72 m de diamètre) à Barrada. Les valeurs supérieures à 450 cm correspondent sensiblement aux maximales observées en France en situation forestière de montagne (Jura, Vosges, Alpes). Larrieu (com. pers.) a mesuré des circonférences de 600 cm dans le Pays de Sault et de 650 cm dans les Carpathes roumaines. Tregubov (1941) parle de sapin de 600 cm de circonférence dans les Alpes Dinariques (Massif de Klekkovatcha-Guermetch). Les évaluations de l'âge de ces arbres sont toujours supérieures à 300 ans. Si le cycle sylvigénétique dans les Pyrénées est de l'ordre de 350 ans (Gonin, 1988), certains individus peuvent atteindre certainement 500 ans. Bobiec *et al.* (2005) citent un âge maximum de 435 ans pour le sapin dans le Babia Gora National Park (sud de la Pologne). Ces valeurs confirment l'absence de prélèvements importants dans les sites de Barrada et Burat depuis plusieurs centaines d'années. Cela est sans doute aussi le cas pour Auribareille, Oudérou, Bugatet et Bois Neuf dans lesquelles les conditions stationnelles (richesse chimique réduite ou altitude plus importante) limitent la vitesse de croissance des arbres (faible productivité) ;
- **pour le hêtre**, la circonférence maximum relevée est assez faible à **Génie Longue** (360 cm) et importante à **Réouère** (510 cm soit 1,60 m de diamètre). Cela confirme l'importance des coupes réalisées à Génie Longue jusqu'au début du XX^{ème} siècle et l'absence de prélèvement de gros têtards à Réouère depuis l'abandon de leur taille ;
- **pour les pins** (sylvestre, à crochets ou de Bouget), la circonférence maximum est très faible à **Oule** pour les arbres vivants (250 cm soit 0,8 m de diamètre) et faible à **Bastanet** (330 cm, soit 1,05 m de diamètre). Même en tenant compte des conditions stationnelles (altitude importante et faible richesse chimique : faible productivité) ces valeurs ne peuvent être expliquées que par l'importance des prélèvements réalisés au cours de la seconde partie du XX^{ème} siècle pour la construction du barrage de l'Oule.

Pour tous les sites étudiés sauf 2 (Bugatet et Oule), la circonférence maximum des arbres vivants et des arbres morts est identique ou quasi identique. Cela témoigne d'une alimentation en bois mort relativement régulière, les arbres les plus âgés et les plus gros n'étant pas éliminés par des prélèvements. Pour Bugatet, l'écart observé pourrait venir des perturbations liées aux avalanches qui éliminent une partie des très gros arbres vivants et favorisent des phénomènes de dépérissement précoces sur les arbres les plus âgés. Pour Oule, l'écart pourrait traduire le maintien d'arbres mal conformés laissés en place lors du dernier prélèvement et récemment morts.

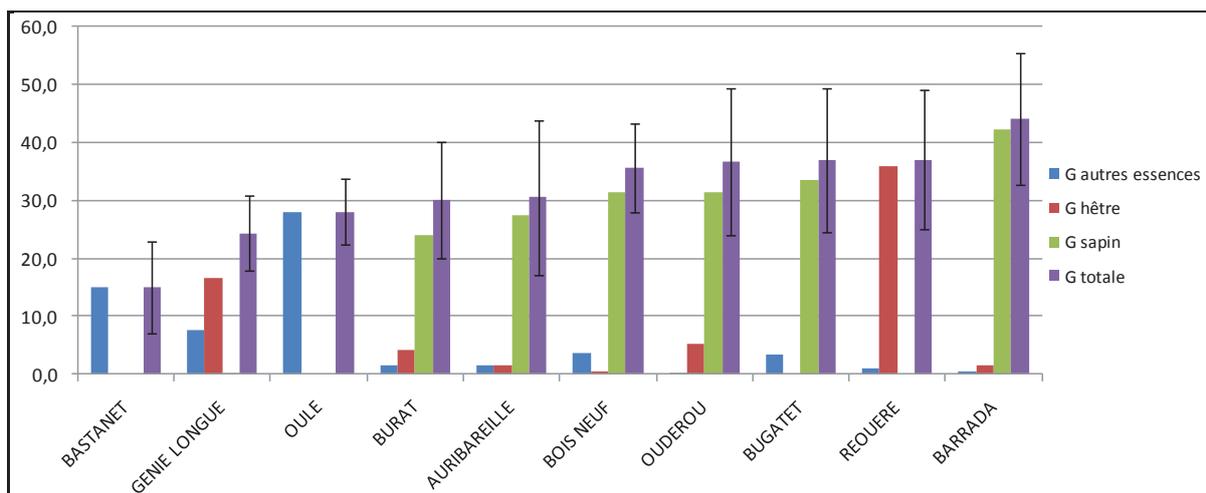


Figure 6. Surface terrière (G), en m²/ha, du peuplement arborescent des 10 sites étudiés

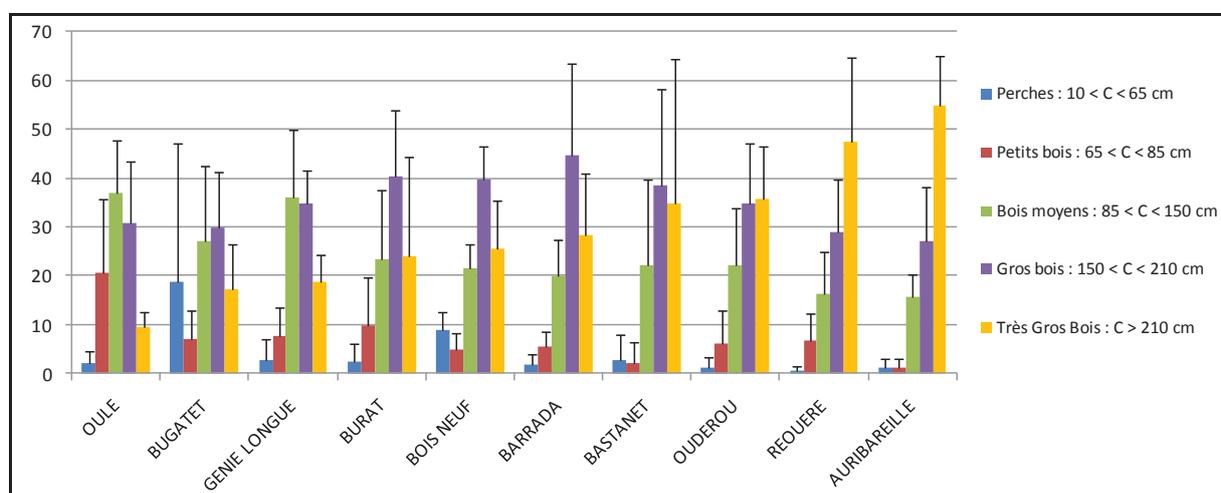


Figure 7. Répartition en pourcentage des classes de circonférence (C, en cm à 1,30 m de hauteur) des arbres vivants des 10 sites étudiés

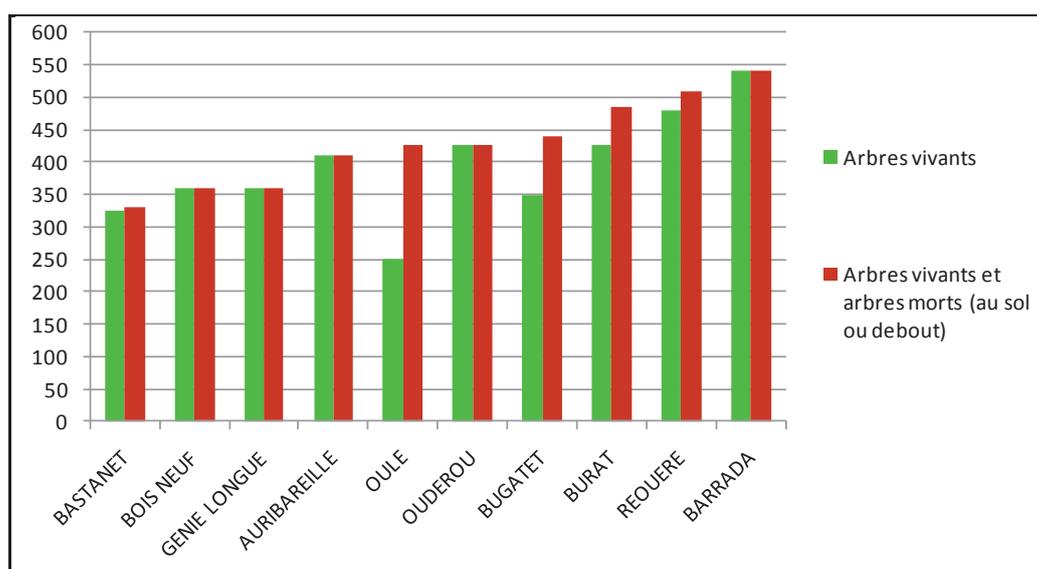


Figure 8. Circonférence maximum (en cm à 1,30 m de hauteur) des arbres vivants et de tous les arbres (arbres vivants et arbres morts, debout ou au sol), des 10 sites étudiés

d – le volume de bois vivant

Le volume des arbres vivants, estimé en utilisant les tarifs Schaeffer, varie très fortement d'un site à l'autre (Figure 9) :

- il est **faible** (moins de 120 m³/ha) dans les **pineraies subalpines** de **Oule** et **Bastanet**, en raison du déficit en gros bois (à Oule) et de la faible densité du couvert (à Bastanet) : les coupes importantes des années 50 et la rigueur des conditions stationnelles (faible productivité) affectent fortement le volume de bois ;
- il est **moyen** (150 à 200 m³/ha) dans les **sapinières subalpines** et les **sapinières (-hêtraies)** claires de **Bois Neuf**, **Bugatet** et **Oudérou** : les conditions stationnelles (altitude importante et fertilité chimique limitée : productivité limitée) expliquent sans doute ces valeurs ;
- il est **assez important** (200 à 300 m³/ha) dans les **sapinières (-hêtraies)** montagnardes de **Auribareille** et **Burat**, et dans la hêtraie de têtards de **Réouère**, en raison de conditions stationnelles plus favorables (altitude plus faible notamment) assurant une productivité moyenne ;
- il est **important** (plus de 300 m³/ha) dans la **sapinière (-hêtraie)** montagnarde de **Barrada** et la **hêtraie** de **Genie Longue**, avec un maximum à près de 400 m³/ha à Barrada, dont une placette proche de 500 m³/ha. Ces forêts, assez denses, bénéficient de conditions stationnelles favorisant la croissance des arbres (altitude faible ou modérée, fertilité chimique bonne à moyenne, bonne alimentation en eau : bonne productivité).

Aucune des forêts étudiées ne présente cependant un volume de bois vivant de 500 m³/ha, correspondant au premier quintile des valeurs relevées dans les réserves de hêtraies (-sapinières) et hêtraies (-pessières) montagnardes européennes par Christensen *et al.* (2005). Les valeurs restent cependant difficilement comparables, le volume de bois vivant en hêtraie étant en général plus important qu'en sapinière ou en pineraie.

Il existe une relation positive assez nette entre le volume de bois vivant et le niveau de fertilité stationnel (§ 2.3.1.d et Tableau 5), d'une part (Figure 10), et le stade de maturation du peuplement (§ 2.3.4.1.e, Tableau 16 et Tableau 17), d'autre part (Figure 11).

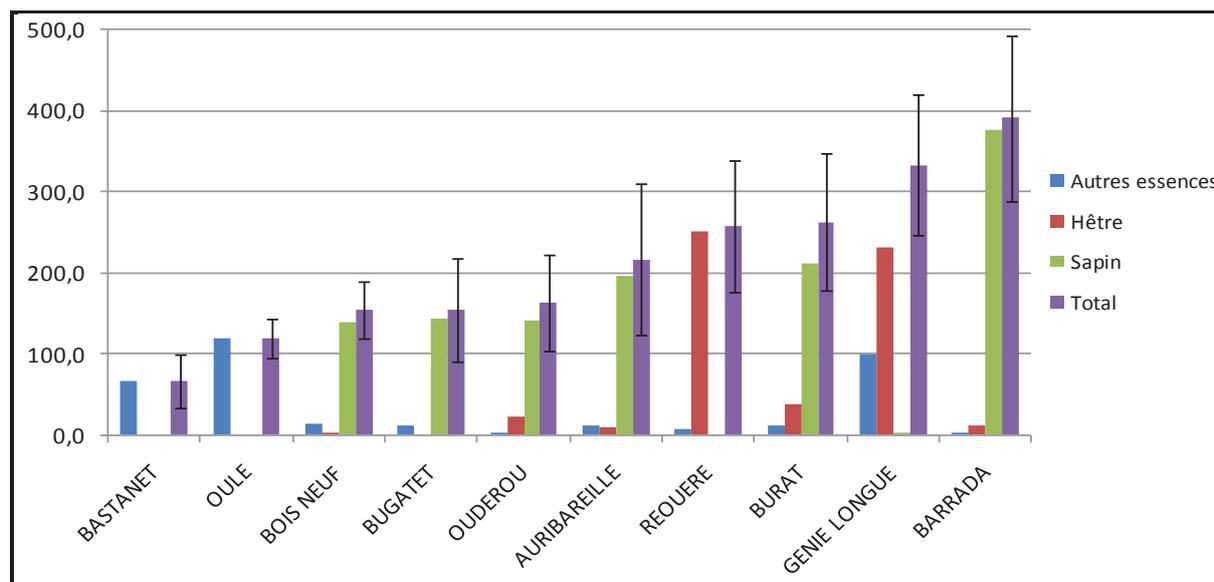


Figure 9. Volume moyen des arbres vivants (en m³/ha, tarifs Schaeffer) des 10 sites étudiés

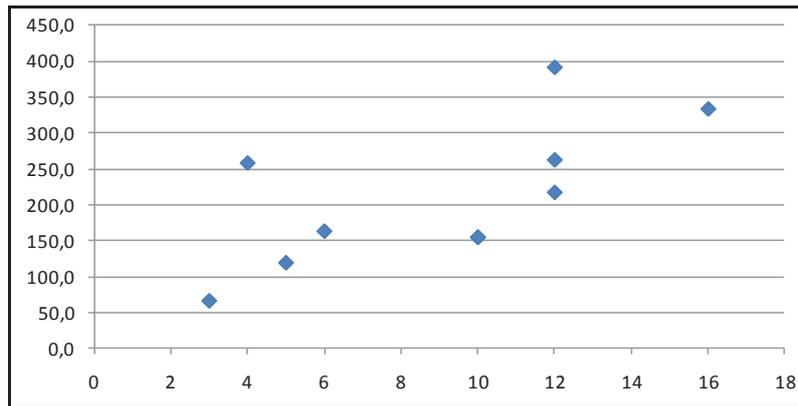


Figure 10. Volume moyen des arbres vivants (en m³/ha) en fonction du niveau de fertilité stationnel

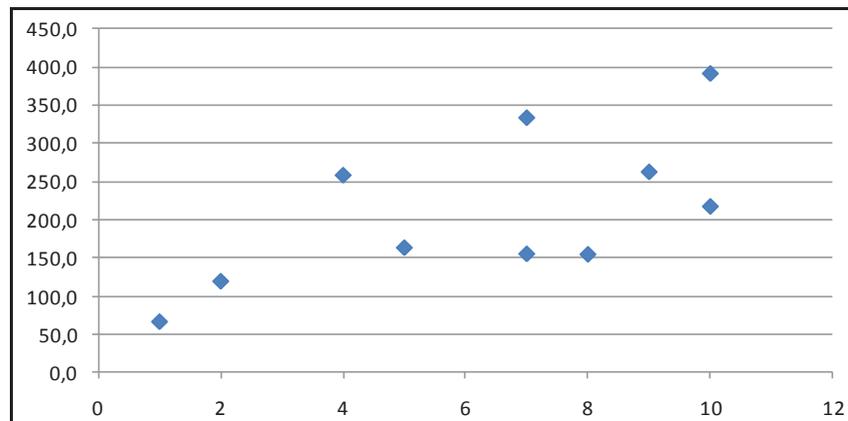


Figure 11. Volume moyen des arbres vivants (en m³/ha) en fonction du stade de maturation du peuplement

2.3.3.3. Le bois mort

Les évaluations ont porté sur le volume de bois mort debout, au sol et total, toutes essences confondues, et sur leur répartition par essence. L'état de décomposition du bois mort a également été observé, avec une évaluation du nombre et du volume de chacune des catégories.

a – le volume de bois mort

Le volume total de bois mort varie de façon importante entre les 10 sites, de 20 à 230 m³/ha (Figure 12). Les forêts peuvent être classées en quatre groupes :

- la **hêtraie de têtards de Réouère** où le volume de bois mort total reste faible pour une forêt sans exploitation (moins de 20 m³/ha), ce qui s'explique par un âge important et certainement assez homogène des plus gros hêtres, mais sans doute pas encore proche de la longévité maximum dans l'étage montagnard inférieur (bon état sanitaire général du peuplement). Les volumes de bois mort au sol et de bois mort sur pied sont assez bien équilibrés ;
- les sites de **Bugatet** et **Génie Longue**, avec un volume de bois mort de 70 à 90 m³/ha. Ces volumes très moyens s'expliquent par les coupes réalisées dans ces forêts, jusque vers 1880 à Bugatet et jusqu'au début du XX^e siècle à Génie Longue. Les plus faibles volumes enregistrés à Bugatet tiennent à la plus faible productivité du site (étage subalpin et faible richesse chimique). Si les volumes de chandelles et de bois mort au sol restent assez bien équilibrés à Bugatet, on constate par contre qu'une grande part du bois mort est sous forme de chablis à Génie Longue, notamment en raison d'un apport de bois depuis les parties supérieures des versants du site (zones instables sur fortes pentes, lapiaz et éboulis) ;

- les **sapinières (-hêtraies)** et **sapinières** de **Bois Neuf, Burat, Oudérou, Barrada** et **Auribareille**. Elles ont un volume total de bois mort de 100 à 150 m³/ha. Cela tient à l'absence ou à la quasi absence de prélèvement dans ces forêts depuis au moins 150 ans. Le site de Auribareille se distingue par un volume total de bois mort très important, lié en partie à l'âge avancé de certains arbres, mais également, certainement, aux conditions stationnelles favorisant l'écroulement simultané de collectifs de TGB (terrain localement instable). Une grande partie du bois mort au sol y est sous forme de chablis de grosses dimensions. Dans ces 5 sites, la part du volume de bois mort sur pied est dans la plupart des cas du même ordre de grandeur que le volume de bois mort au sol (sauf à Auribareille et, dans une moindre mesure, à Burat), ce qui est en phase avec la faible maturité relative des peuplements (souvent en phase « terminale » selon la dénomination de Gonin-Reina, 1988), malgré l'absence d'exploitation forestière depuis de longues périodes.

A ce sujet, parmi les hêtraies, sapinières (-hêtraies) et sapinières étudiées, peu de peuplements montrent une répartition spatiale de phases de sénescence, caractéristique d'une dynamique naturelle sur des durées supérieures à 350/400 ans (cycle sylvigénétique de la hêtraie-sapinière pyrénéenne selon Gonin-Reina, 1988).

- les **pineraies** de **Oule** et **Bastanet** ont des volumes de bois mort faibles (40 à 90 m³/ha), même s'il faut bien entendu tenir compte de la plus faible productivité de ces stations subalpines. Il faut aussi souligner que ces forêts sont en phase de reconquête sub-récente par des essences pionnières (pin sylvestre, pin à crochets, pin de Bouget) suite aux siècles de pâturage et aux forts prélèvements effectués dans les années 50.

Même si la comparaison reste assez difficile compte tenu des différences de composition dendrologique et de conditions stationnelles, les valeurs obtenues pour les 10 sites étudiés dans les Pyrénées peuvent tout de même être mises en perspective avec celles obtenues par Christensen *et al.* (2005) dans les réserves de hêtraies (-sapinières) et hêtraies (-pessières) montagnardes européennes :

- seuls 4 sites (Auribareille, Oudérou, Bois Neuf et Barrada) atteignent le niveau du premier quintile pour le volume de bois mort sur pied (50 m³/ha) et un seul (Barrada) dépasse la médiane (72 m³/ha) ;
- tous les sites sauf 2 (Réouère et Oule) atteignent le niveau du premier quintile pour le volume de bois mort au sol (40 m³/ha), mais seul Auribareille dépasse la médiane (152 m³/ha) ;
- tous les sites sauf 3 (Réouère, Oule et Bugatet) atteignent le niveau du premier quintile pour le volume de bois mort total (80 m³/ha), mais seul Auribareille dépasse la médiane (166 m³/ha).

La Figure 13, la Figure 14 et la Figure 15 montrent la répartition des volumes de bois mort sur pied, de bois mort au sol et de bois mort total par essence. Ces distributions sont dans l'ensemble conformes à celles attendues en fonction de la composition dendrologique (Figure 9). On constate une répartition non homogène des substrats mis à disposition des organismes saproxyliques (mousses, champignons et coléoptères en particuliers) :

- une absence ou quasi absence de substrat résineux à Réouère et Génie Longue. Si pour Réouère le bois mort de hêtre est le seul substrat disponible, pour Génie Longue il est accompagné par une proportion importante (plus de 60%) d'autres bois morts feuillus (tilleuls, orme de montagne, frêne commun). Cela aura des conséquences sur le cortège de mousses saproxyliques (à Réouère) et sur le cortège de champignons saproxyliques (à Génie Longue) ;
- une absence totale de substrat feuillu à Bastanet et Oule où le bois mort est issu de pins ;
- une très grande dominance de substrats résineux, issus de sapin, à Auribareille, Barrada, Bois Neuf, Bugatet et Burat, accompagnés de 2 à 7% de bois mort divers, de pin à Bugatet, de divers feuillus (sorbier des oiseleurs, bouleau, érable) dans tous les sites.

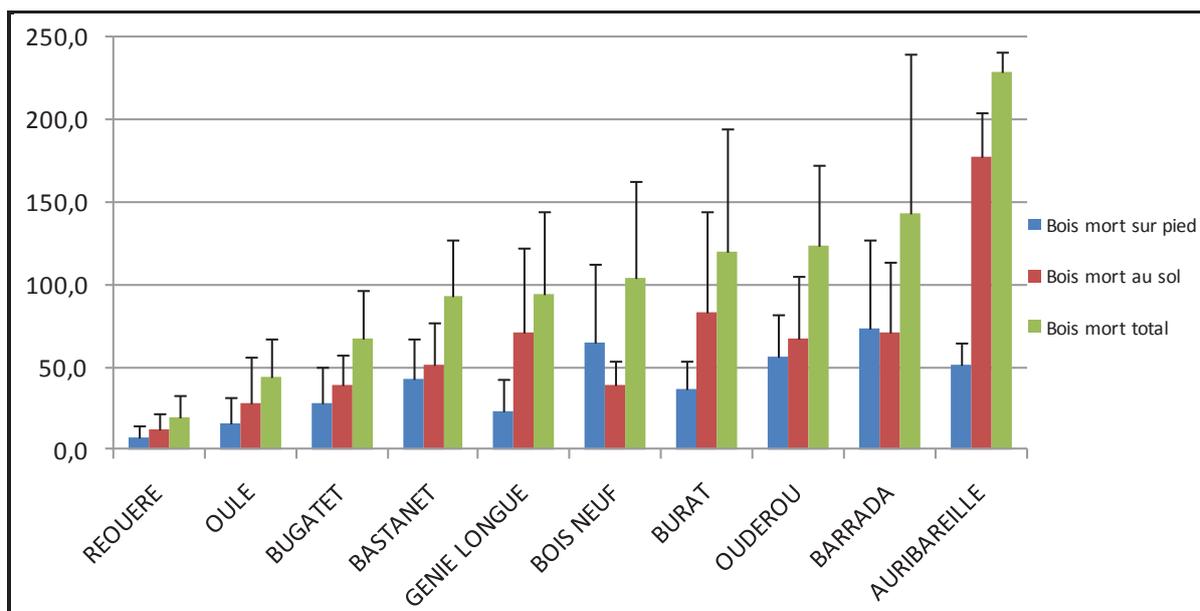


Figure 12. Volume moyen de bois mort (en m³/ha) dans les 10 sites étudiés

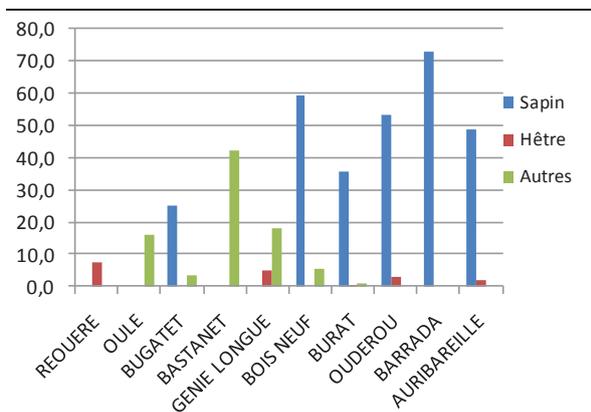


Figure 13. Volume moyen de bois mort *sur pied* (m³/ha)
Répartition par essence

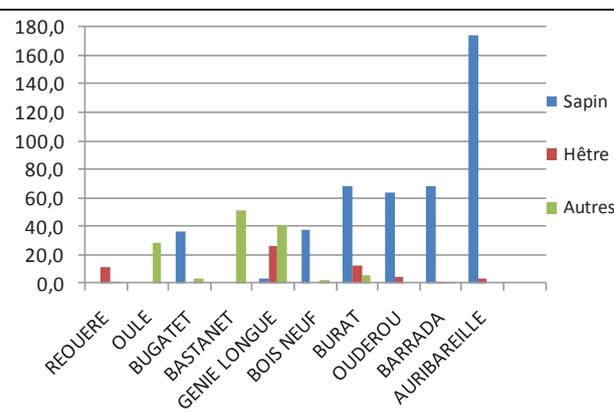


Figure 14. Volume moyen de bois mort *au sol* (en m³/ha)
Répartition par essence

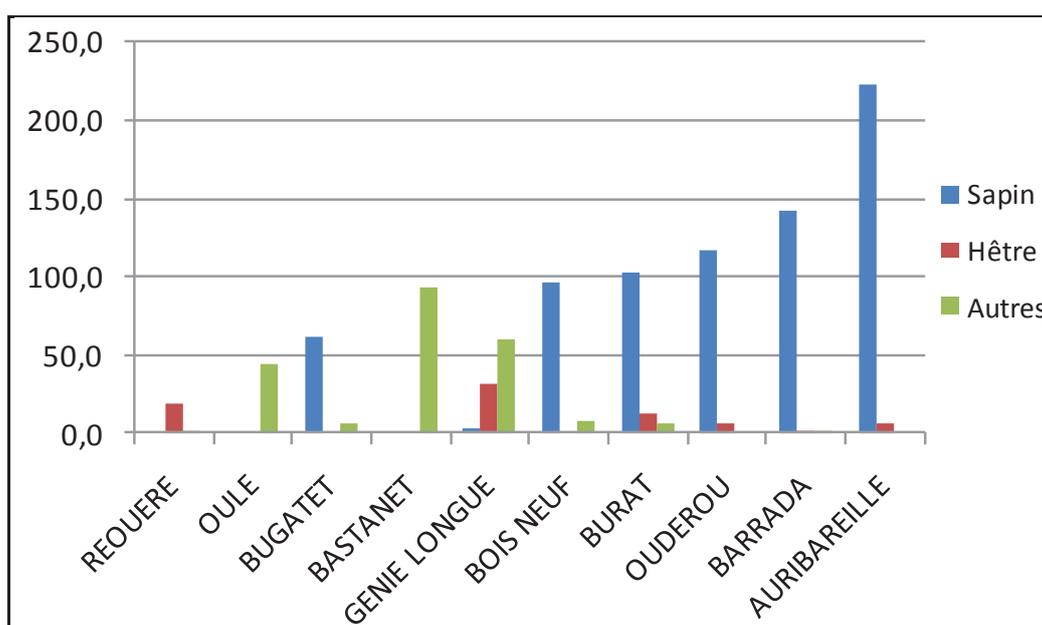


Figure 15. Volume moyen de bois mort total par essence (en m³/ha)

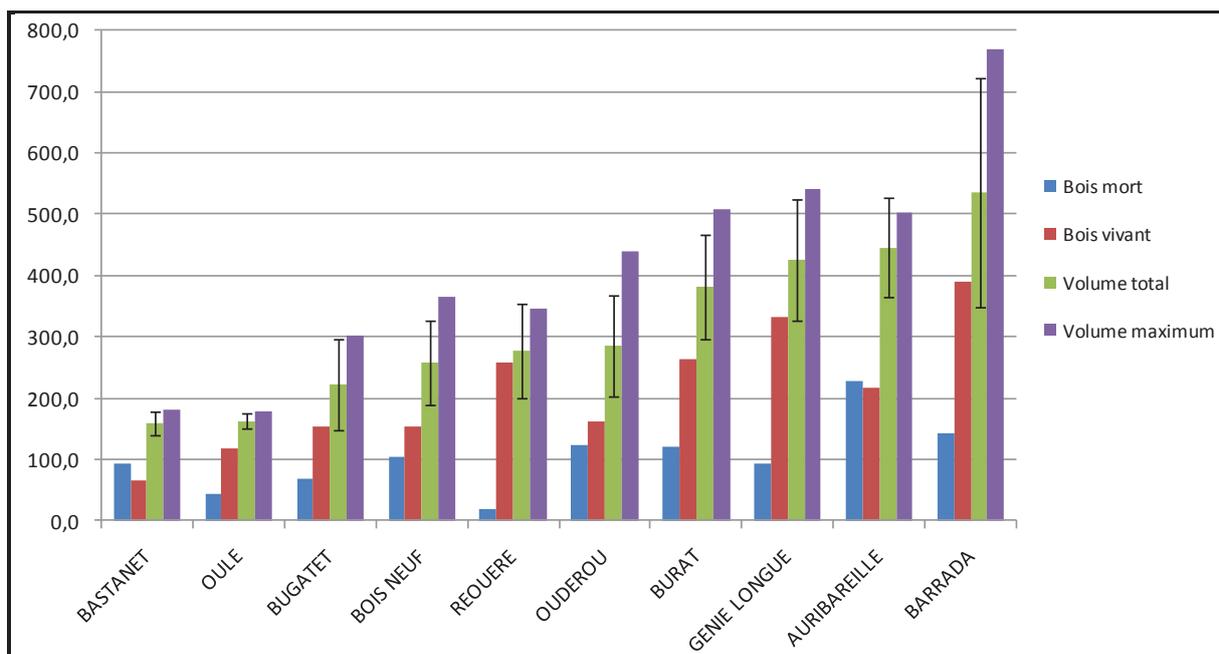


Figure 16. Volume moyen (en m³/ha) de bois mort, de bois vivant et de bois total par site ; volume maximum de bois total observé sur les placettes des 10 sites étudiés

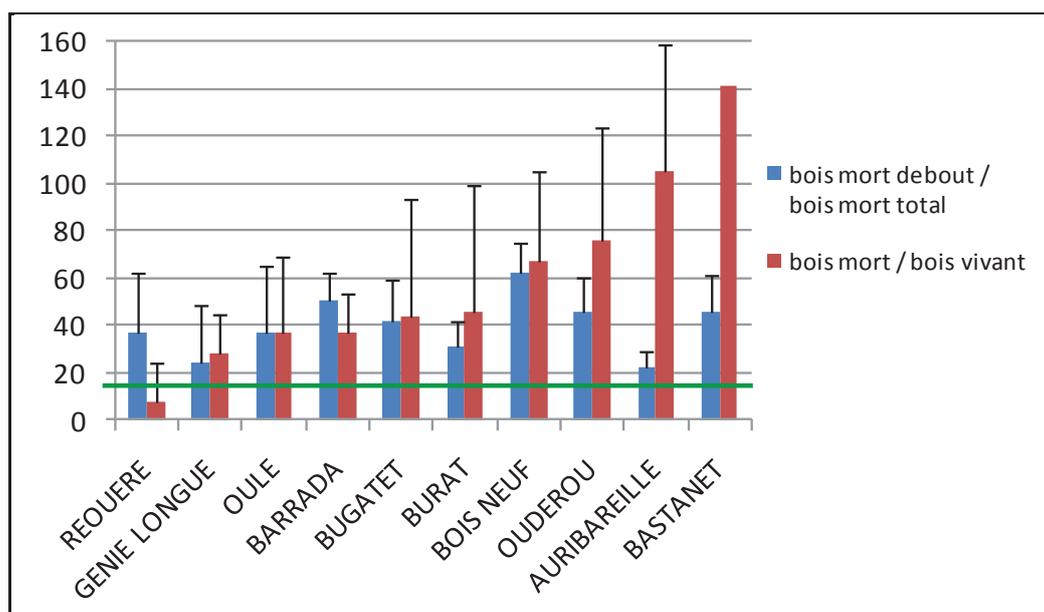


Figure 17. Pourcentage, *en volume*, entre bois mort debout, bois mort total et bois vivant

b - volume total de bois, mort et vivant, par site

Les volumes totaux de bois permettent de classer les sites en 5 groupes (Figure 16 et Figure 17) :

- les **pineraies** de **Oule** et **Bastanet**, avec des volumes faibles (environ 160 m³/ha), traduisant la gestion passée (coupes importantes au XX^{ème} siècle et pâturage) et la faible productivité. La proportion de bois vivant est importante à Oule (plus de 70%), traduisant un rajeunissement du peuplement. Elle est par contre faible à Bastanet (40%), avec un volume de bois vivant plus faible que le volume de bois mort : l'âge avancé des arbres est sans doute l'élément déterminant de cette situation ;

- les **sapinières subalpines** de **Bois Neuf** et **Bugatet**, avec des volumes de bois total assez faibles (220 à 260 m³/ha), liés à une productivité assez limitée à cette altitude. Le bois vivant représente 60 à 70% du bois total, ce qui témoigne d'un vieillissement limité des peuplements, avec entrée dans la phase « terminale » de la sylvigénèse ;
- la **hêtraie de têtards** de **Réouère**, avec 280 m³/ha environ, qui allie faible volume de bois mort et fort volume de bois vivant (plus de 90% du volume total), traduisant un peuplement n'ayant pas encore atteint la phase sylvigénétique « terminale » ;
- la **hêtraie** de **Génie Longue**, avec un volume assez important (près de 430 m³/ha), surtout représenté par du bois vivant (près de 80% du volume total), ce qui traduit une phase de croissance dans la sylvigénèse, avec, en plus, une bonne productivité ;
- les **sapinières (-hêtraies) montagnardes** de **Oudérou**, **Burat**, **Auribareille** et **Barrada**, avec un assez fort volume de bois total (290 à 530 m³/ha). Il faut cependant distinguer :
 - . les sites de **Barrada** et **Burat**, pour lesquels le bois vivant représente une part importante (70% environ du total), témoignant d'une position dans la sylvigénèse entre phase « de croissance » et phase « terminale » ;
 - . à l'opposé, les sites de **Oudérou** et, plus encore, **Auribareille** montrent une part importante de bois mort par rapport au volume total (40 à 50%). Pour le site de Auribareille, comme souligné plus haut, cela tient en partie à l'âge avancé de certains arbres, mais également aux conditions stationnelles favorisant l'écroulement simultané de collectifs de TGB. Pour les 2 sites, cela traduit une entrée dans la phase « terminale » de la sylvigénèse.

En prenant comme base de comparaison les réserves de hêtraies (-sapinières) et hêtraies (-pessières) montagnardes européennes inventoriées par Christensen *et al.* (2005), l'étude montre qu'aucun site n'atteint le volume de bois total correspondant au premier quintile (638 m³/ha), et que seul Barrada, avec 535 m³/ha, présente une valeur supérieure au minimum observé dans les réserves européennes (485 m³/ha). La valeur maximum observée sur une des placettes du site de Barrada (770 m³/ha) est assez proche de la médiane des réserves de hêtraies (803 m³/ha). Les faibles valeurs obtenues dans les sites pyrénéens s'expliquent par le fait qu'il s'agit surtout de forêts résineuses d'altitude, dans lesquelles la vitesse de croissance des arbres est limitée, alors que les réserves étudiées par Christensen *et al.* (2005) sont des hêtraies de basse et moyenne altitude avec des vitesses de croissance plus importantes.

Si on s'intéresse au rapport du volume de bois mort total par rapport au volume de bois vivant (Figure 17), tous les sites, sauf un (Réouère) atteignent le niveau de la médiane des réserves de hêtraies européennes (24%). Pour Réouère, la faible valeur du pourcentage (8%) s'explique par le très faible volume de bois mort total sur le site (moins de 20 m³/ha). Pour 2 sites, les valeurs du pourcentage sont plus fortes que le maximum observé dans les réserves européennes (83%) : Auribareille (106%) et Bastanet (141%).

Excepté pour la pineraie de Bastanet, le pourcentage du volume de bois mort par rapport au volume de bois vivant est plus important dans les 6 sites les moins perturbés dans le passé (Bugatet, Barrada, Burat, Bois Neuf, Auribareille et Oudérou : de 40 à 140% environ, avec une moyenne de 66%) que dans les 3 sites les plus fortement perturbés (Oule, Génie Longue et Réouère : de 10 à 35% environ, avec une moyenne de 29%) (Figure 17). Pour tous les sites, sauf Réouère, le pourcentage du volume de bois mort par rapport au volume de bois vivant est supérieur à 15% (Figure 17). Ce seuil est proposé par Tierney *et al.* (2009) comme référence minimum pour garantir l'intégrité écologique des forêts du nord-est des Etats-Unis.

De même que pour le volume de bois vivant (§ 2.3.3.2.c et Figure 10), il existe une relation positive nette entre le volume total de bois (vivant et mort) et le niveau de fertilité stationnel (§ 2.3.1.d et Tableau 5), d'une part (Figure 18), et le stade de maturation du peuplement (§ 2.3.4.1.e, Tableau 16 et Tableau 17), d'autre part (Figure 19).

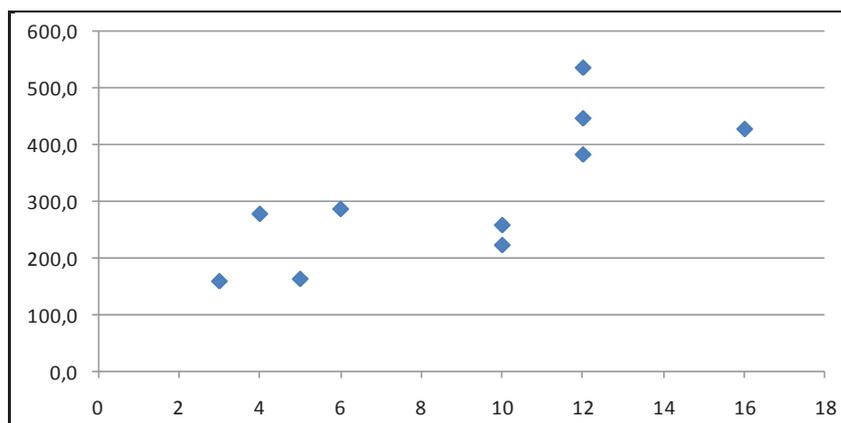


Figure 18. Volume moyen (en m³/ha) de bois total (mort et vivant) en fonction du niveau de fertilité stationnel

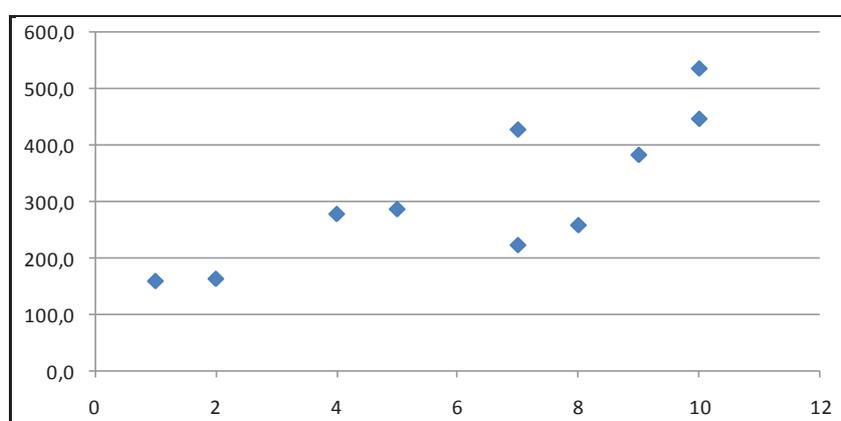


Figure 19. Volume moyen (en m³/ha) de bois total (mort et vivant) en fonction du stade de maturation du peuplement

La Figure 20 montre la répartition du **bois total par essence**. Les mêmes remarques peuvent être faites que pour le bois mort (voir ci-dessus).

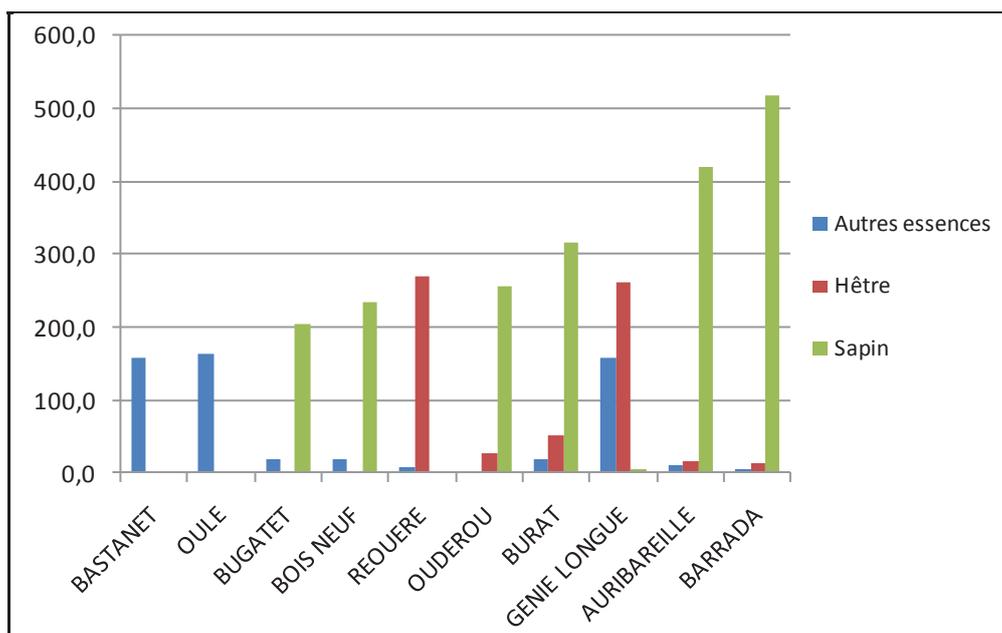


Figure 20. Volumes moyen de bois (vivant + mort) par essence, en m³/ha

c - rapports entre catégories de bois mort et avec le bois vivant

Les arbres morts debout (chandelles) constituent un support important car, en plus du bois mort, ils abritent un habitat d'espèces original avec les cavités réalisées par les pics. Sauf pour la pineraie de Bastanet, le pourcentage du nombre de chandelles par rapport au nombre d'arbres vivants (Figure 21) est plus important, et **toujours supérieur à 10%**, dans les 6 sites les moins perturbés dans le passé (Bugatet, Barrada, Burat, Bois Neuf, Auribareille et Oudérou : de 11 à 35%, avec une moyenne de 20%) que dans les 3 sites les plus fortement perturbés (Oule, Génie Longue et Réouère : de 7 à 9%, avec une moyenne de 8%). La même remarque peut être formulée en considérant les chandelles et les arbres vivants de circonférence supérieure à 85 cm à 1,30m (BM, GB et TGB ; Figure 21) : le pourcentage reste **toujours supérieur à 10%** dans les 6 sites les moins perturbés dans le passé (de 18 à 35%, avec une moyenne de 20%) que dans les 3 sites les plus fortement perturbés (de 8 à 9%). Ces seuils de 10% ont été proposés par Tierney *et al.* (2009) comme références minimum d'intégrité écologique des forêts du nord-est des Etats-Unis.

Par rapport aux réserves de hêtraies (-sapinières) et hêtraies (-pessières) montagnardes européennes inventoriées par Christensen *et al.* (2005), l'étude montre que tous les sites sauf 3 (Auribareille, Génie Longue et Burat) atteignent le niveau de la médiane du pourcentage du volume de chandelles par rapport au volume de bois mort total (36%). Pour Auribareille, la faible valeur observée (22%) s'explique plus par le très fort volume de bois mort total sur le site (229 m³/ha) que par la valeur du volume de chandelles (51 m³/ha). Le pourcentage le plus fort est observé à Bois Neuf avec 62%, valeur assez proche du maximum observé dans les réserves européennes (88%).

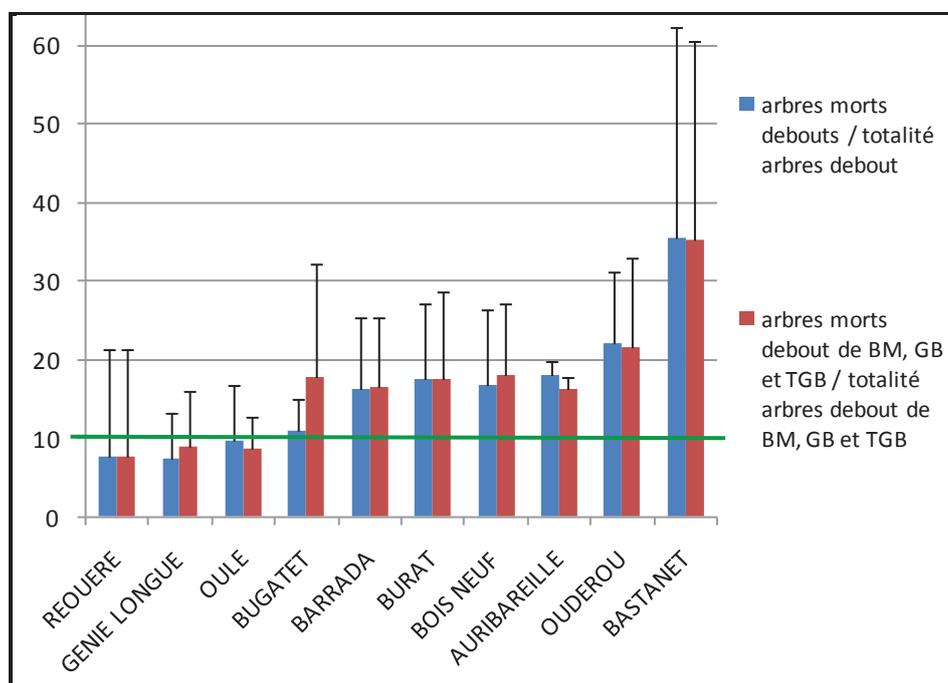


Figure 21. Pourcentage, en nombre d'individus, entre bois mort debout et bois vivant (BM = bois moyen ; GB = gros bois ; TGB = très gros bois ; voir § 2.2.2.1.)

d - le niveau de dégradation du bois mort

La Figure 22 montre la répartition du volume de bois mort selon les différents stades de saproxylation et la Figure 23 la répartition du nombre de pièces de bois mort. La diversité du niveau de dégradation peut être considérée comme :

- **équilibrée**, dans 7 sites : **Auribareille, Barrada, Bugatet, Burat, Génie Longue** et, malgré un déficit de bois mort au stade 2 de décomposition, **Bastanet** et **Bois Neuf**,
- **déficitaire en bois peu décomposé** (stades 1 et 2), dans 2 sites : **Oudérou** et **Réouère**,
- **déficitaire en bois à un stade de décomposition avancé** (stades 3 à 5), dans 1 site : **Oule**.

La répartition du bois mort en fonction des stades de saproxylation montre 3 types de profil pour les forêts étudiées :

- les sites de **Barrada, Bois Neuf, Bugatet** et **Burat** montrent un pic au niveau des stades 3 et 4 de saproxylation, en accord avec la durée croissante des stades 1 à 4 et la réduction drastique du volume de bois très décomposé au stade 5 ;
- les sites de **Bastanet, Génie Longue, Auribareille** et **Oudérou** montrent un pic bien marqué au stade 3. Ceci semble lié plutôt à des phénomènes de chablis qu'à un processus normal de mortalité de collectifs en fin de vie ;
- le site de **Oule** présente une quasi absence des stades 3 à 5 de saproxylation, traduisant un fort déficit de recrutement de bois mort il y a plusieurs dizaines d'année, ce qui est en accord avec le fait que de sévères coupes ont été réalisées dans les années 50 sur ce site.

Pour **Réouère**, le faible volume global de bois mort ne permet pas de fournir une interprétation satisfaisante de son état de décomposition.

Ces répartitions différenciées de l'état de décomposition du bois selon les sites auront vraisemblablement des conséquences sur les assemblages d'organismes saproxyliques, en particulier champignons et coléoptères.

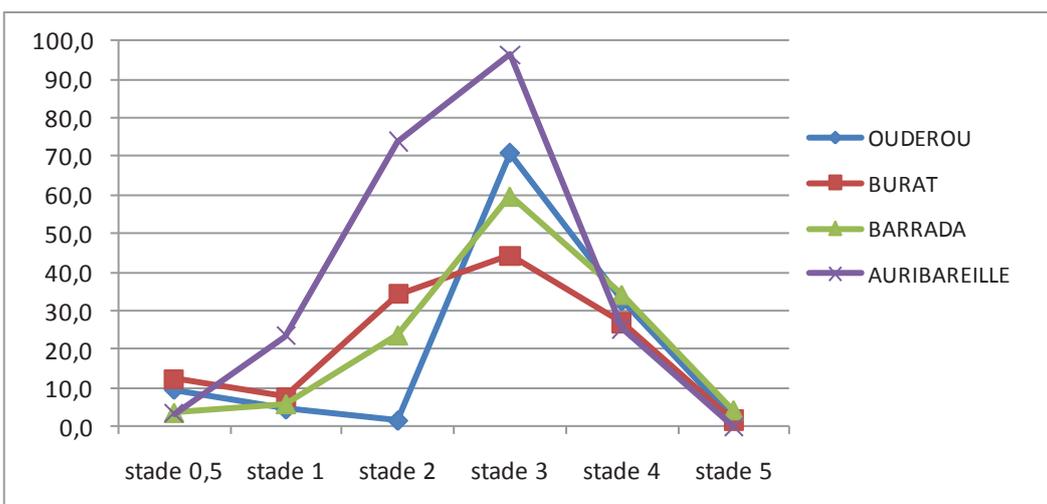
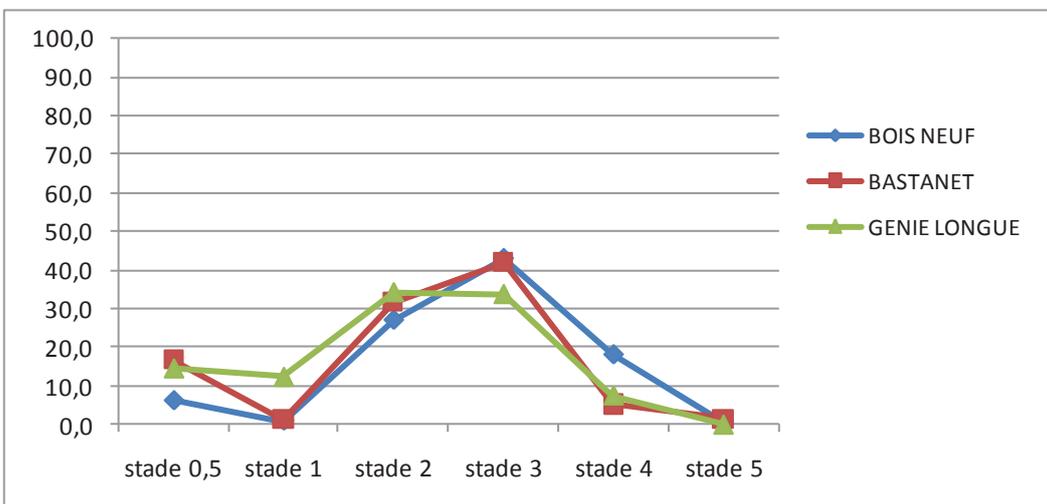
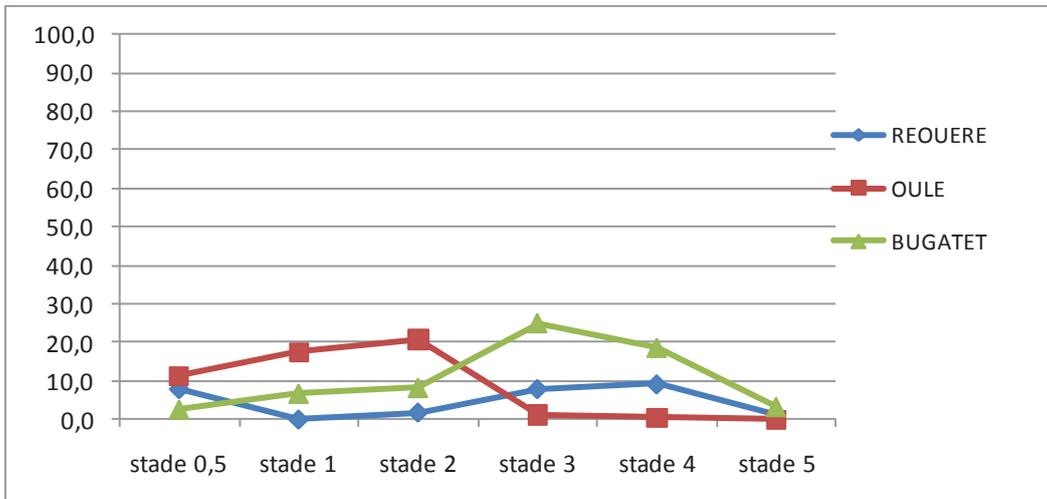


Figure 22. Volume de bois mort (en m³/ha) aux différents stades de saproxylation

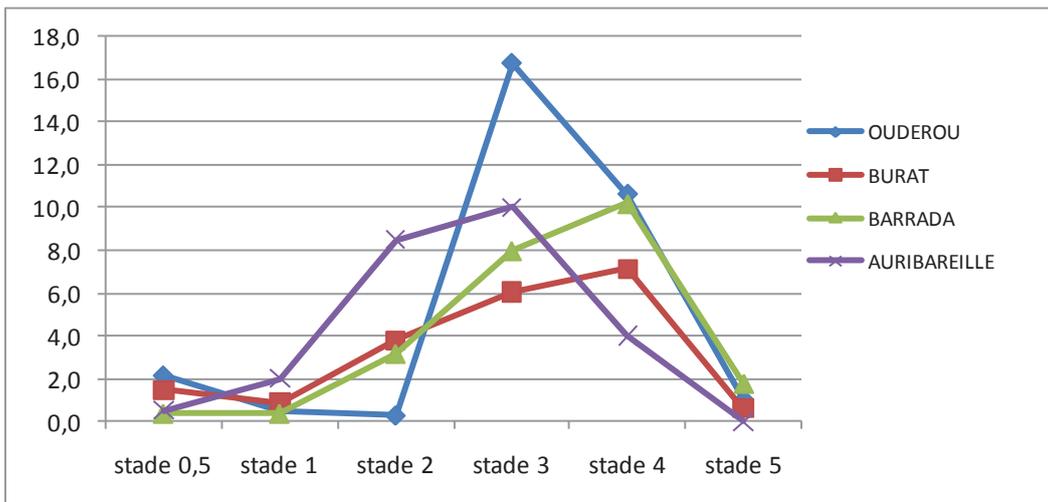
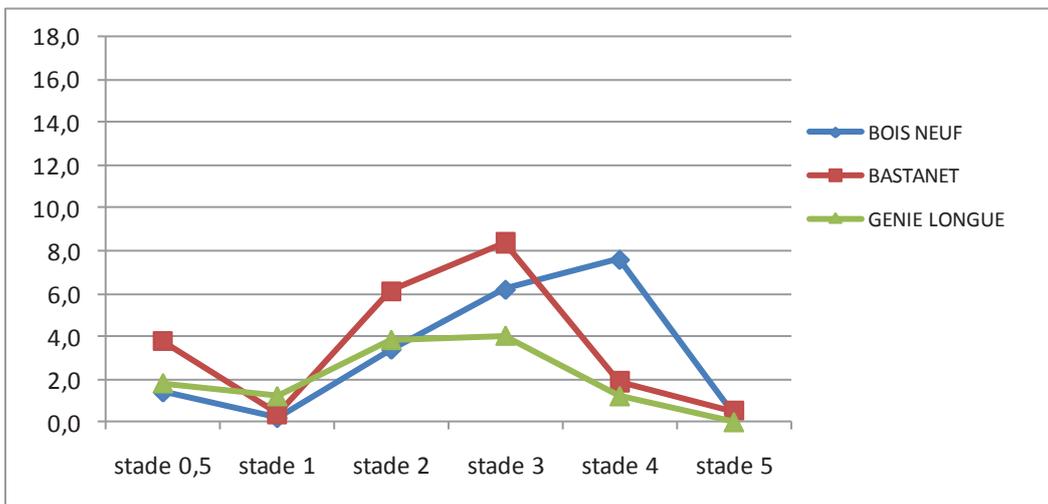
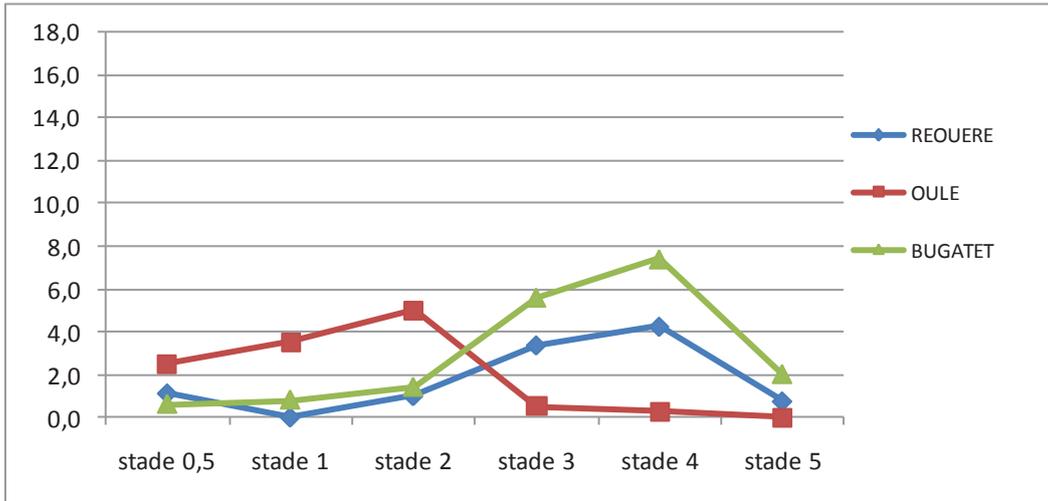


Figure 23. Nombre de pièces de bois mort aux différents stades de saproxylation

2.3.3.4. Les micro-habitats

Les évaluations ont porté sur le nombre de cavités, de fentes, de zones de bois dur apparent, de dendrotelmes et de champignons saproxyliques coriaces ou charnus, pour les arbres vivants et le bois mort, au sol ou sur pied, et par essence. Elles ont aussi concerné le nombre d'arbres porteurs d'épiphytes et le nombre d'arbres présentant du bois mort dans le houppier.

a - le nombre de cavités

D'une façon générale, les cavités se présentent presque exclusivement sur le bois vivant (Figure 24) et en général plus sur tronc que sur pied (Figure 25). Elles sont plus fréquentes en peuplement feuillu que résineux (Figure 26). Un site, **Réouère**, se distingue nettement des autres avec près de 200 cavités par hectare, en lien avec la tétardisation ancienne des arbres, ce qui pourrait avoir des conséquences sur la composition des assemblages d'insectes.

Pour les autres sites, on note une fréquence assez importante à **Bois Neuf**, **Oudérou** et **Génie Longue** (50 à 60 cavités par hectare) et moyenne à **Bugatet** et **Burat** (environ 25 cavités par hectare), notamment sur hêtre ou autres essences feuillues. La composition dendrologique du site de Génie Longue pourrait être très favorable au développement de cavités, mais la relative jeunesse des arbres n'a pas encore permis l'expression de ce potentiel. Dans les autres sites, la présence, en plus du sapin, d'une proportion notable (environ 10 à 20%) de hêtre et autres feuillus permet la création d'un nombre encore assez important de cavités.

Pour **Oule**, **Bastanet**, **Barrada** et **Auribareille**, le nombre de cavités reste très faible en raison du manque de substrat feuillu : 100% de pin dans les deux premiers sites, moins de 10% de feuillus dans les deux autres.

b - le nombre de fentes et de décollements d'écorce

Contrairement à ce qui est observé pour les cavités, les fentes propices à l'accueil des chauves-souris sont surtout présentes sur bois mort (Figure 27) et plus sur résineux (Figure 28) que sur feuillus (sites de Réouère et Génie Longue). La répartition de leur nombre dans les différents sites suit assez fidèlement celle du volume de bois mort sur pied (Figure 12 et Figure 29).

c - le nombre de coulées de sève

Les coulées de sève ne sont, évidemment, présentes que sur bois vivant. Elles n'ont été observées que dans 4 sites (**Auribareille**, **Barrada**, **Bois Neuf** et **Oudérou**), et uniquement sur sapin. Leur densité reste cependant assez faible : 2 à 9 coulées de sève par hectare en moyenne.

d - le nombre de zones de bois dur apparent

Comme les cavités, les zones de bois dur sont presque exclusivement présentes sur bois vivant (Figure 30) et plus fréquemment sur tronc que sur pied (Figure 31). Elles apparaissent aussi bien sur résineux que sur feuillus (Figure 32). Leur densité n'apparaît liée ni à une caractéristique dendrologique des peuplements, ni à leur gestion passée.

e - le nombre de dendrotelmes

Les dendrotelmes ne sont présents en nombre important que dans les peuplements feuillus de **Réouère** et **Génie Longue** (Figure 33). Ils sont surtout localisés sur pied à Réouère et sur tronc à Génie Longue (Figure 34). On en observe encore quelques-uns dans les sites où le hêtre et les feuillus d'accompagnement représentent 15 à 20% des arbres (**Burat** et **Oudérou**).

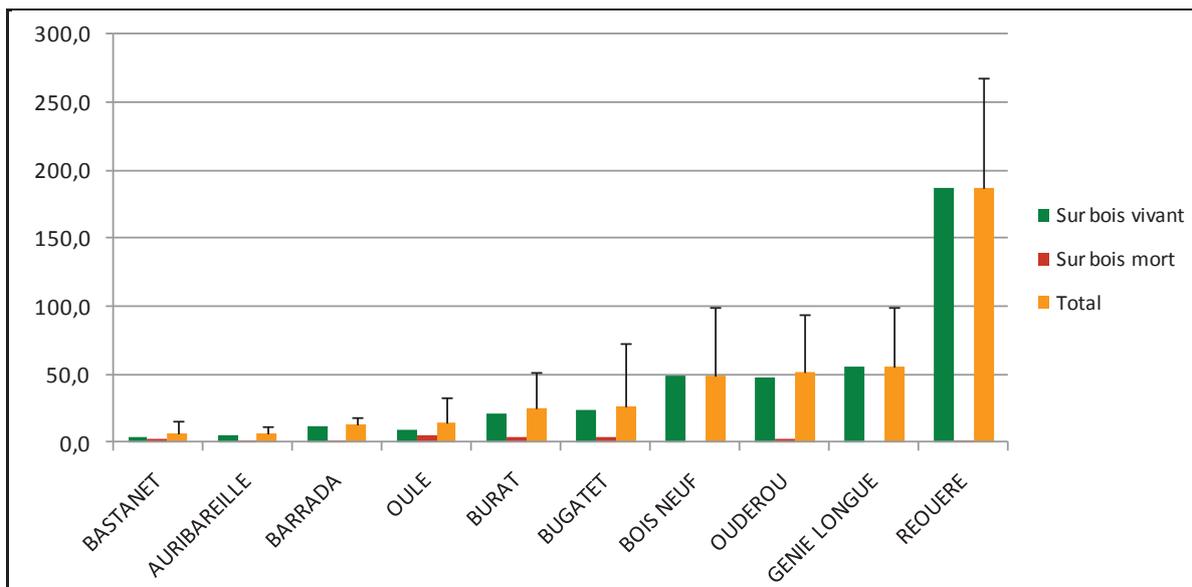


Figure 24. Nombre de cavités par hectare sur bois mort, bois vivant et total dans les sites étudiés

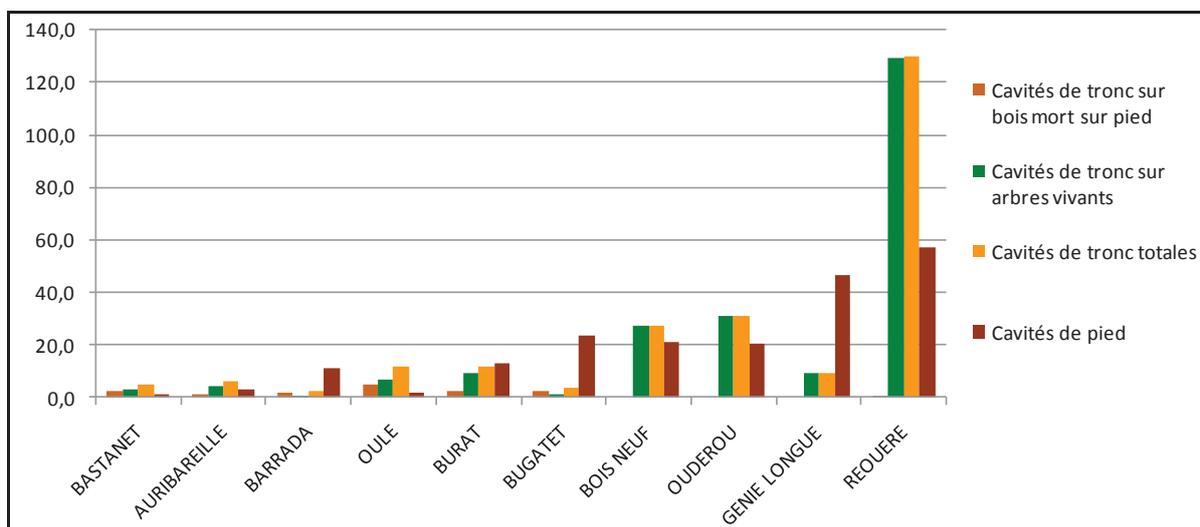


Figure 25. Nombre de cavités de tronc et de pied par hectare sur bois mort, bois vivant et total

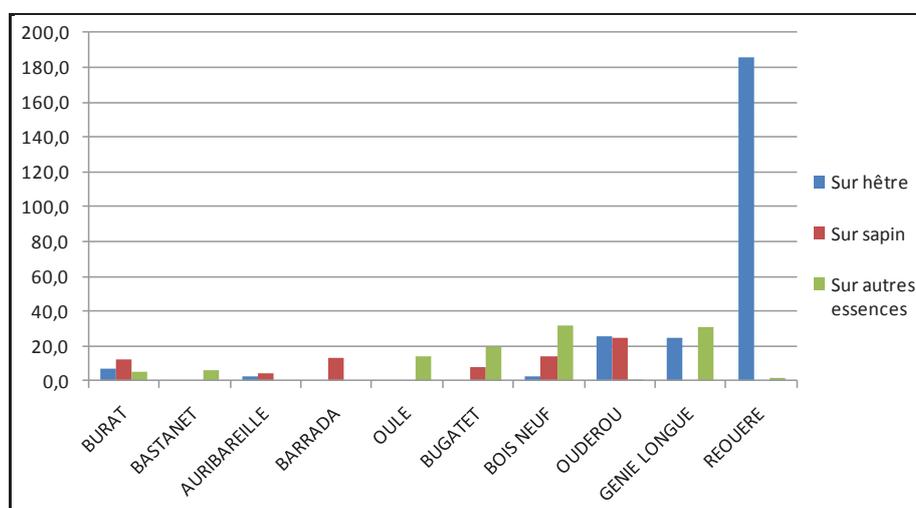


Figure 26. Nombre de cavités par hectare par essence dans les sites étudiés

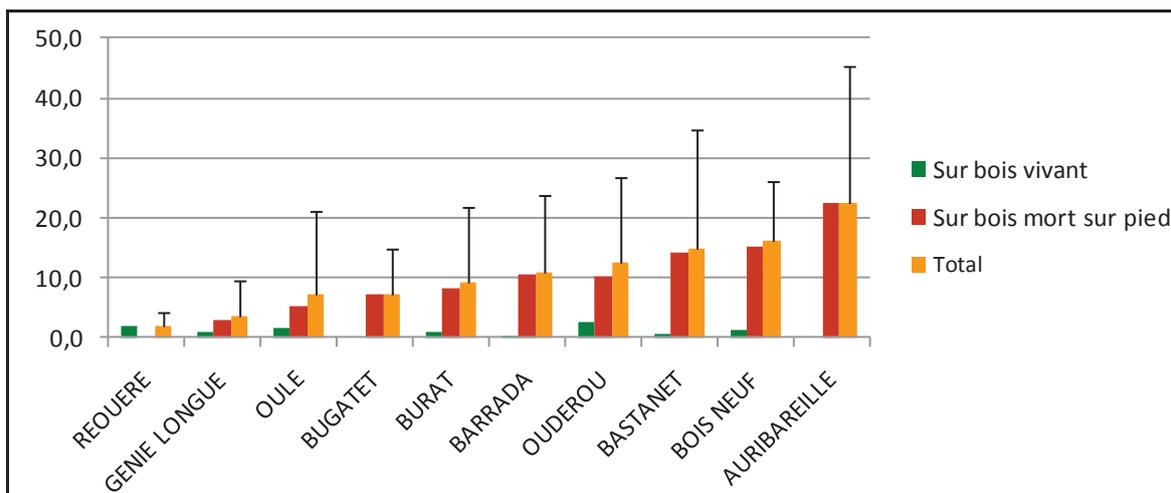


Figure 27. Nombre de fentes par hectare sur bois mort et bois vivant dans les sites étudiés

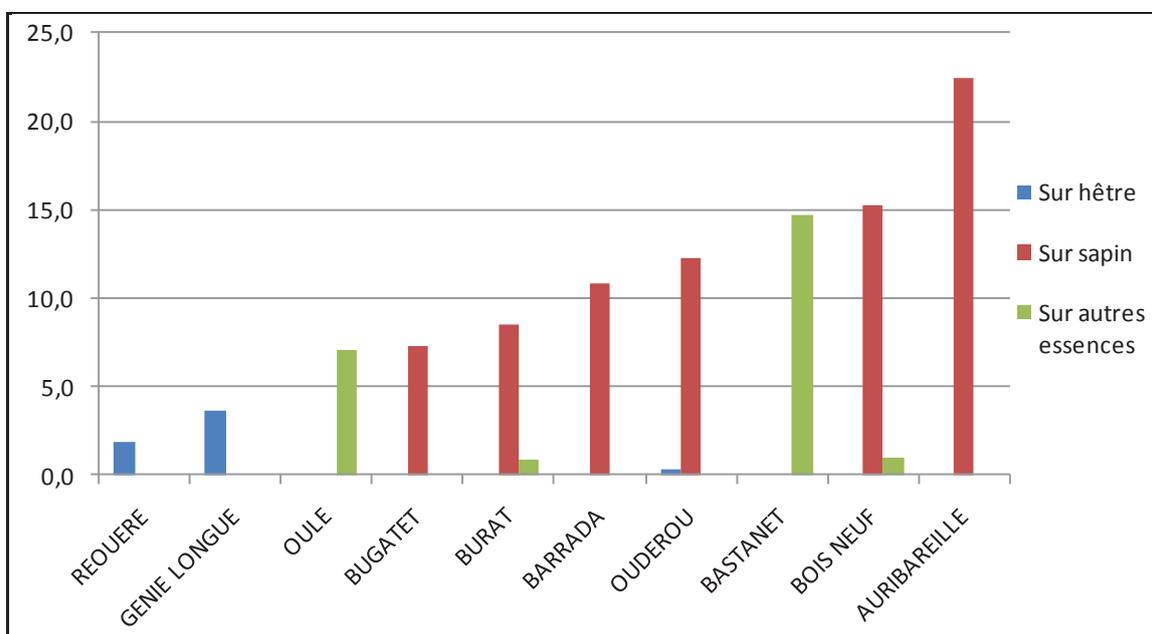


Figure 28. Nombre de fentes par hectare par essence dans les sites étudiés

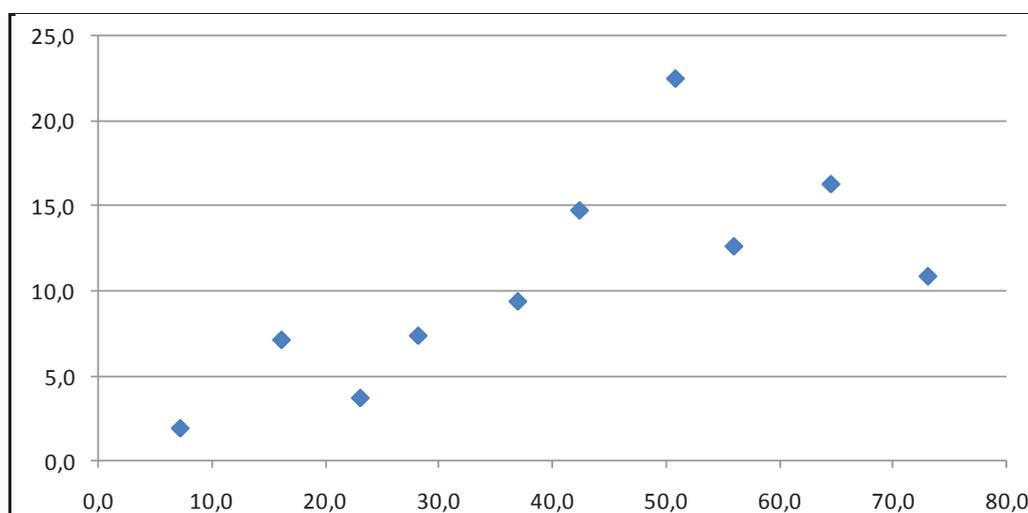


Figure 29. Nombre de fentes par hectare en fonction du volume total de bois mort sur pied

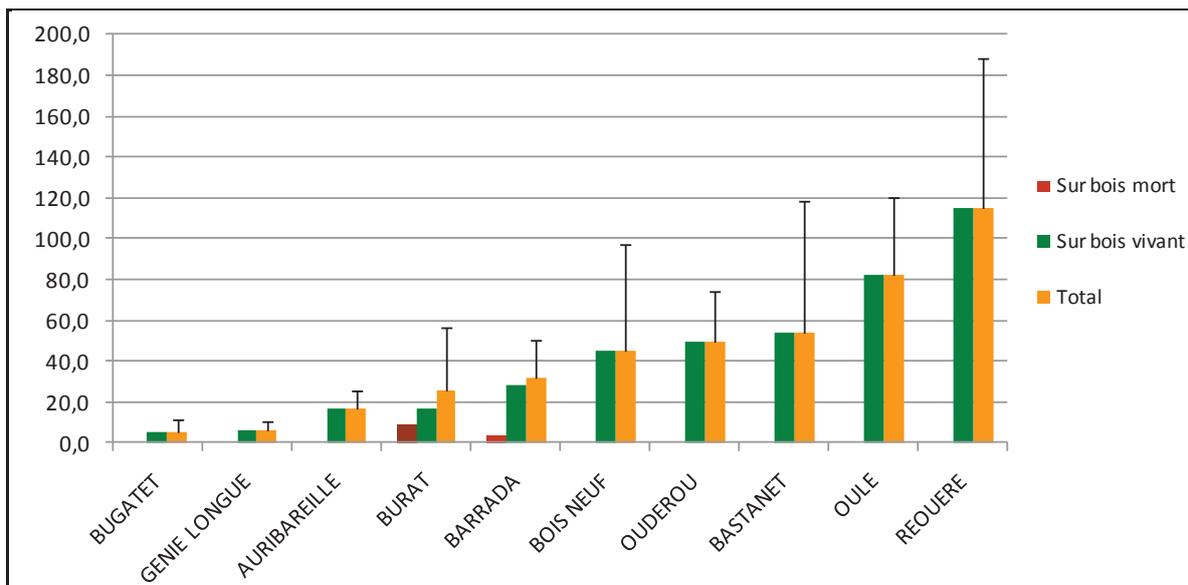


Figure 30. Nombre de zones de bois dur apparent par hectare sur bois mort et bois vivant

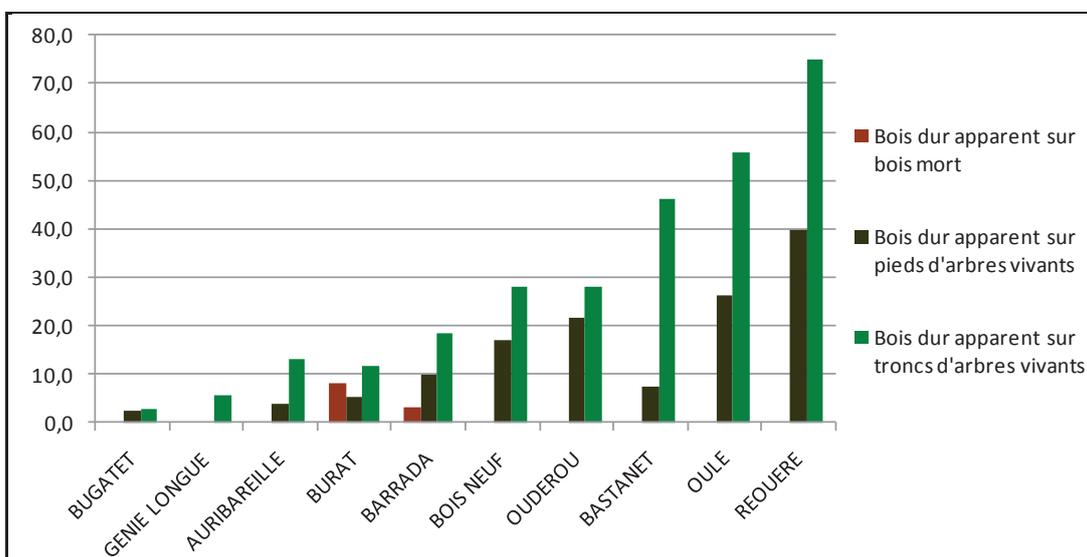


Figure 31. Nombre de zones de bois dur apparent par hectare sur bois mort, sur tronc et sur pied d'arbres vivants dans les sites étudiés

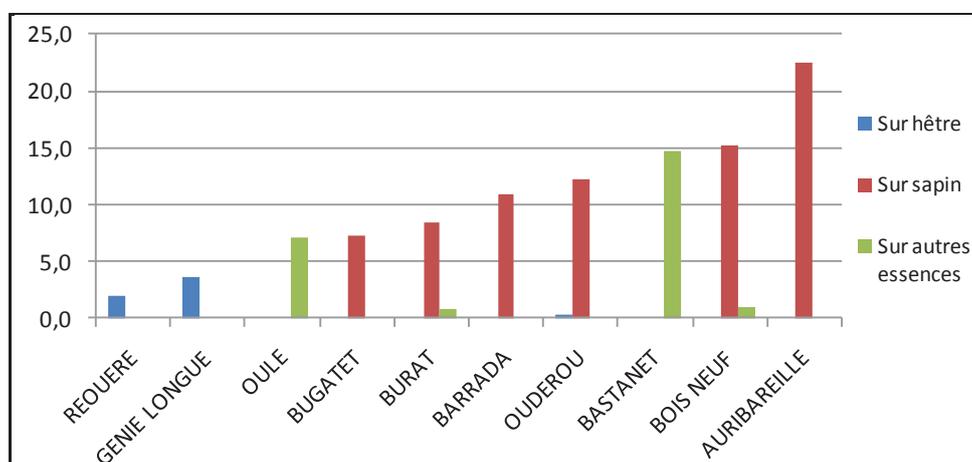


Figure 32. Nombre de zones de bois dur apparent par hectare par essence dans les sites étudiés

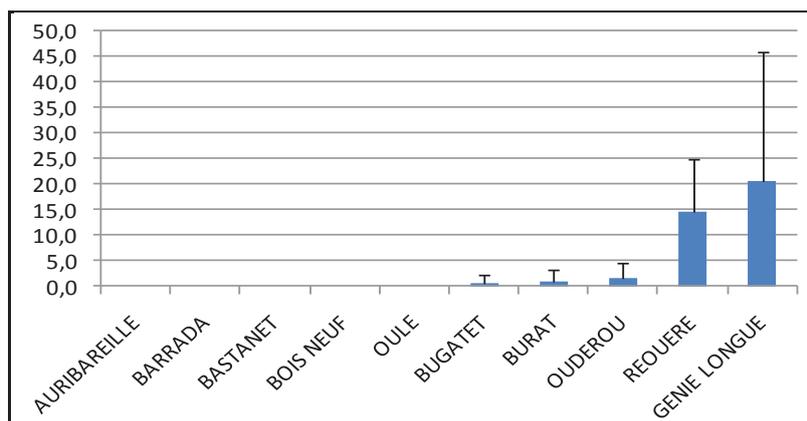


Figure 33. Nombre total de dendrotelmes par hectare

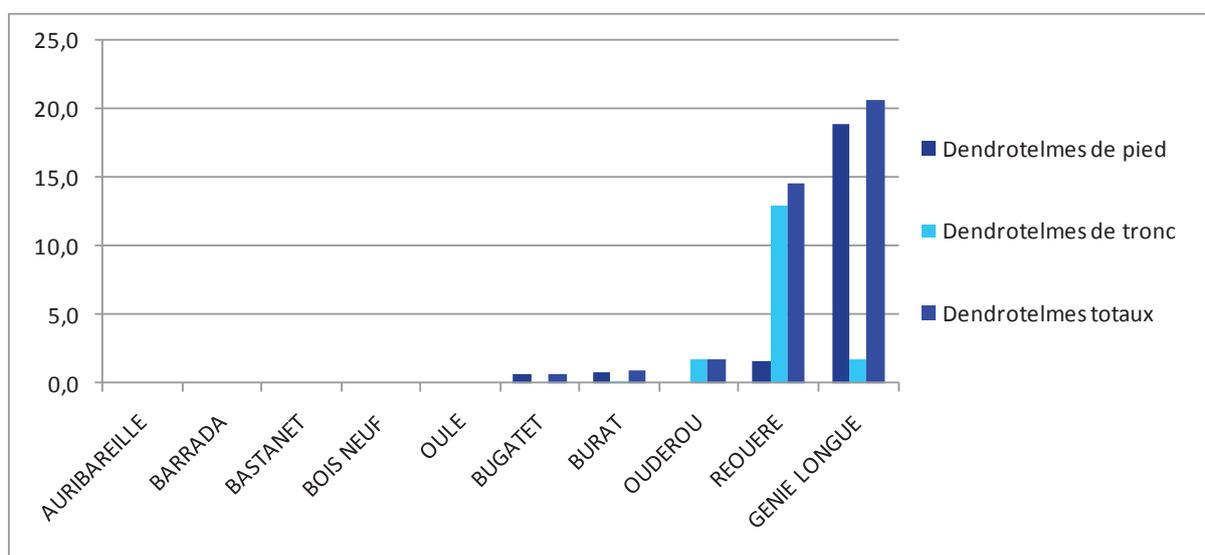


Figure 34. Nombre de dendrotelmes par hectare selon leur position sur l'arbre

f - le nombre de carpophores de champignons saproxyliques coriaces ou charnus

Comme attendu, les carpophores de champignons saproxyliques sont surtout présents sur bois mort (Figure 35) aussi bien sur feuillus que sur résineux selon la disponibilité des substrats (Figure 36). Dans la plupart des cas (5 à 7 sites), le nombre d'arbres porteurs de carpophores suit assez bien le volume de bois mort (Figure 12). Pour les sites de **Réouère** et de **Génie Longue**, les écarts tiennent certainement à la disponibilité de bois mort feuillu, plus favorable que les résineux au développement des champignons saproxyliques. Cette remarque vaut aussi pour **Burat** qui présente une proportion faible mais non négligeable de bois mort de hêtre (Figure 15).

g - le nombre d'arbres porteurs d'épiphytes

Le nombre d'arbres porteurs d'épiphytes (lierre, chèvrefeuille, polypode, à l'exception des mousses) est surtout important dans 4 sites (Figure 37). Les épiphytes sont généralement portés sur des arbres morts sur pied, sauf à Génie Longue. Ils colonisent tous les substrats disponibles : pin à Oule, sapin, hêtre à Réouère et Génie Longue, et très fréquemment les autres essences (frêne, orme, tilleuls) à Génie Longue.

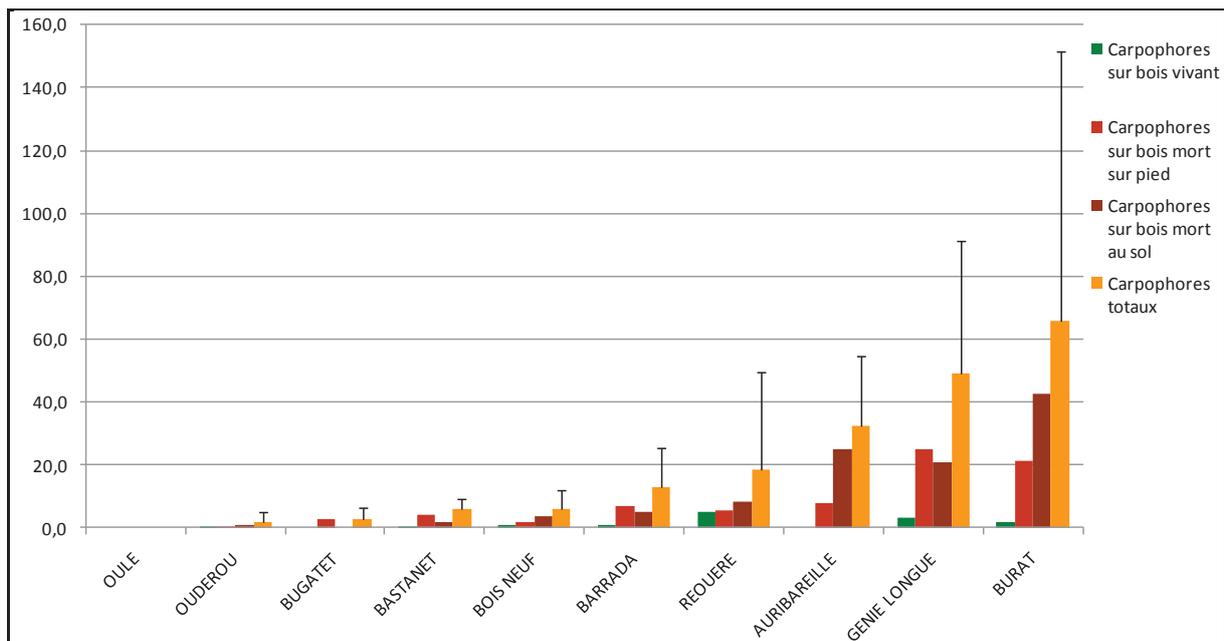


Figure 35. Nombre de carpophores de champignons saproxyliques par hectare

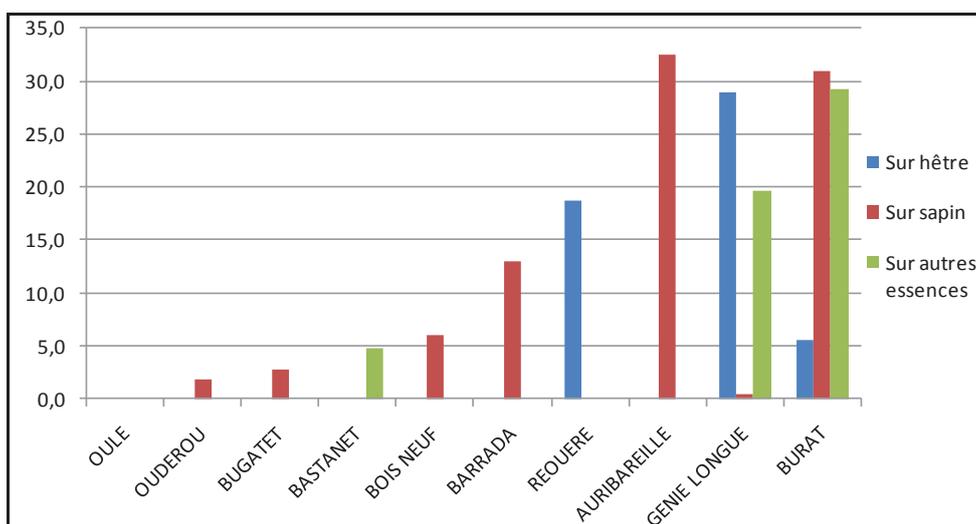


Figure 36. Nombre de carpophores de champignons saproxyliques par hectare par essence

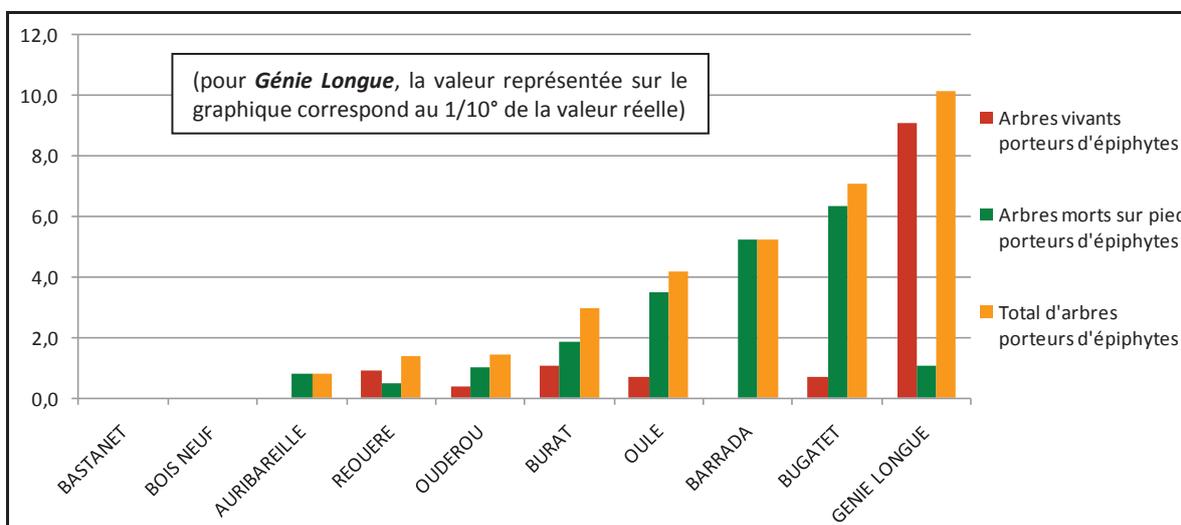


Figure 37. Nombre d'arbres porteurs d'épiphytes par hectare

h - le nombre d'arbres porteurs de bois mort dans le houppier

Le nombre d'arbres porteurs de bois mort dans le houppier, considérés comme arbres dépérissants, est très faible à **Génie Longue**. Cela tient sans doute à l'âge réduit des arbres, des coupes importantes ayant été effectuées jusqu'au début du 20^e siècle, et des bonnes conditions stationnelles qui limitent les phénomènes de dépérissement précoce (Figure 38). Il est compris entre 15 et 35 arbres par hectare pour la plupart des sites et atteint un maximum de 55 arbres par hectare à **Bois Neuf**. Cette forte valeur vient peut-être de l'âge avancé des arbres et des conditions stationnelles difficiles (altitude importante et pauvreté chimique du milieu).

Aucune essence ne semble plus concernée qu'une autre, le nombre d'arbres portant du bois mort dans le houppier reflétant assez bien la composition dendrologique des peuplements vivants, sauf dans les sapinières subalpine de Bugatet et Bois Neuf où les essences d'accompagnement (bouleau et sorbier des oiseleurs) sont plus touchés que l'essence dominante.

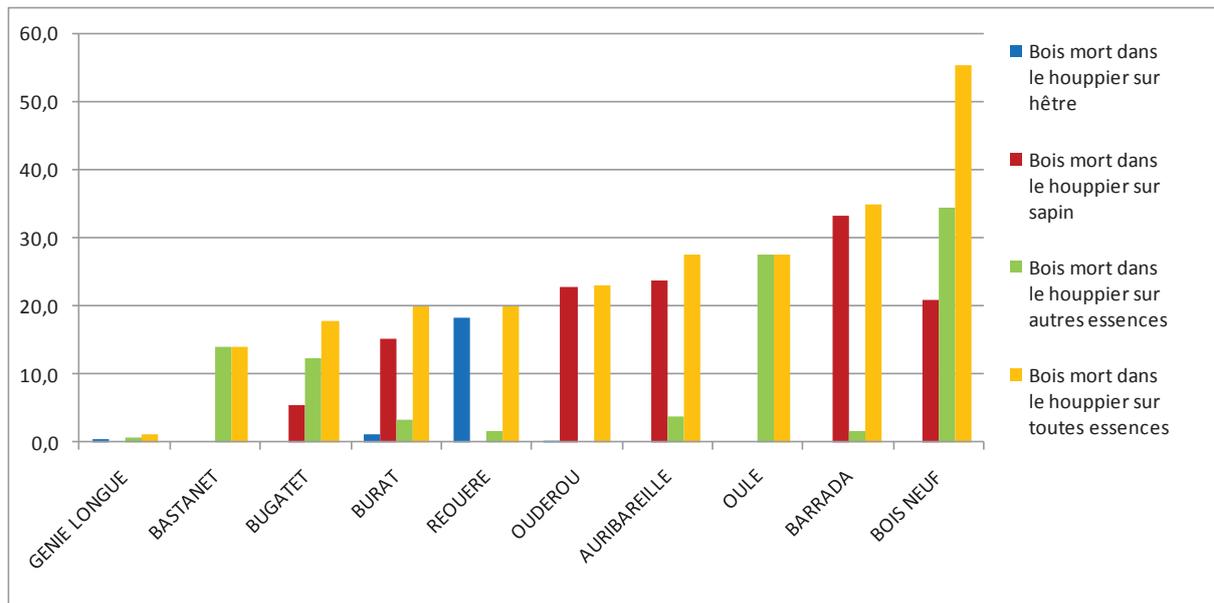


Figure 38. Nombre d'arbres porteurs de bois mort dans le houppier par hectare

i – conclusion sur les micro-habitats

Au total, plus de 1200 occurrences de micro-habitats ont été dénombrées dans les sites étudiés. D'une façon générale, les cavités sont les micro-habitats les plus fréquents (près de 36% du total) et les coulées de sève les plus rares (moins de 2% ; Figure 39). Entre les deux types viennent, par ordre décroissant, les zones de bois dur apparent (35%), les carpophores de champignons saproxyliques (16%), les fentes à chauve-souris (9%) et les dendrotelmes (2%).

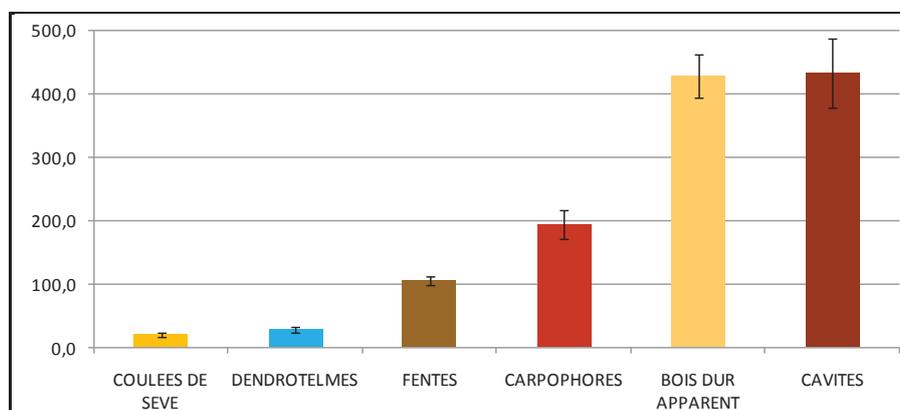


Figure 39. Nombre de micro-habitats de chaque type représentés dans les sites étudiés

Sur l'ensemble des sites, en incluant les arbres porteurs de bois mort dans le houppier et ceux porteurs d'épiphytes, 1160 arbres porteurs de micro-habitats ont été dénombrés. Le classement entre les types de micro-habitats reste sensiblement identique au précédent, les arbres porteurs de zones de bois dur apparent (31% du total) étant toutefois plus nombreux que ceux porteurs de cavités (Figure 40). Les arbres porteurs de bois mort dans le houppier (21%) et ceux porteurs d'épiphytes (11%) se situent respectivement en 4° et en 6° position.

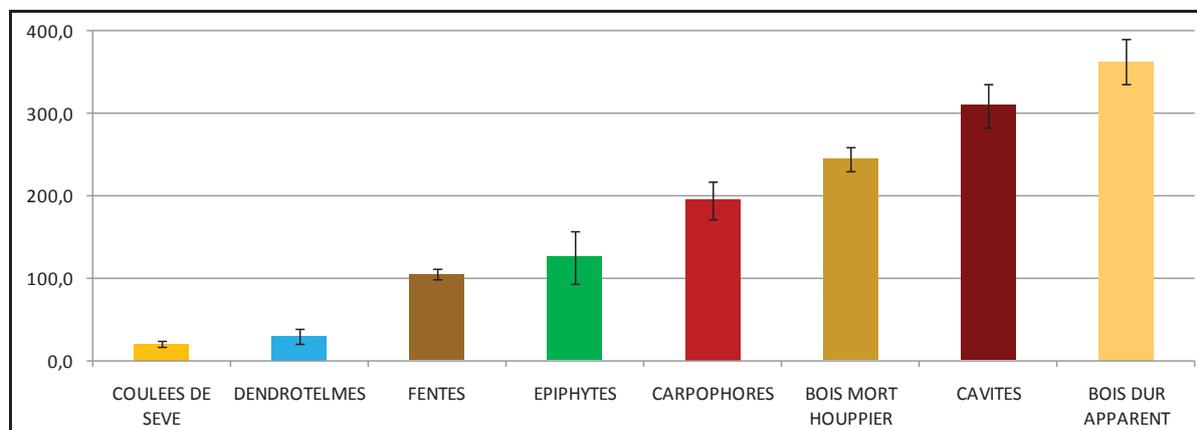


Figure 40. Nombre total d'arbres porteurs de micro-habitats de chaque type dans les sites étudiés

Comme attendu, le bois mort au sol est le substrat qui porte le moins de micro-habitats (10% du total) et le bois vivant celui qui en supporte le plus (près de 75%), alors que le bois mort sur pied n'en porte que 16% (Figure 41). Ce schéma reste globalement respecté dans tous les sites, sauf à Auribareille et Burat où la répartition est plus équilibrée (Figure 41). L'avantage est même très important pour les micro-habitats portés sur bois vivant à Bois Neuf, Oudérou, Oule et Réouère (entre 83 et 96%). Les mêmes remarques s'appliquent au nombre d'arbres porteurs de micro-habitats (Figure 42) avec 11% de troncs morts au sol, 72% d'arbres vivants et 17% d'arbres morts sur pieds portant au moins un type de micro-habitat.

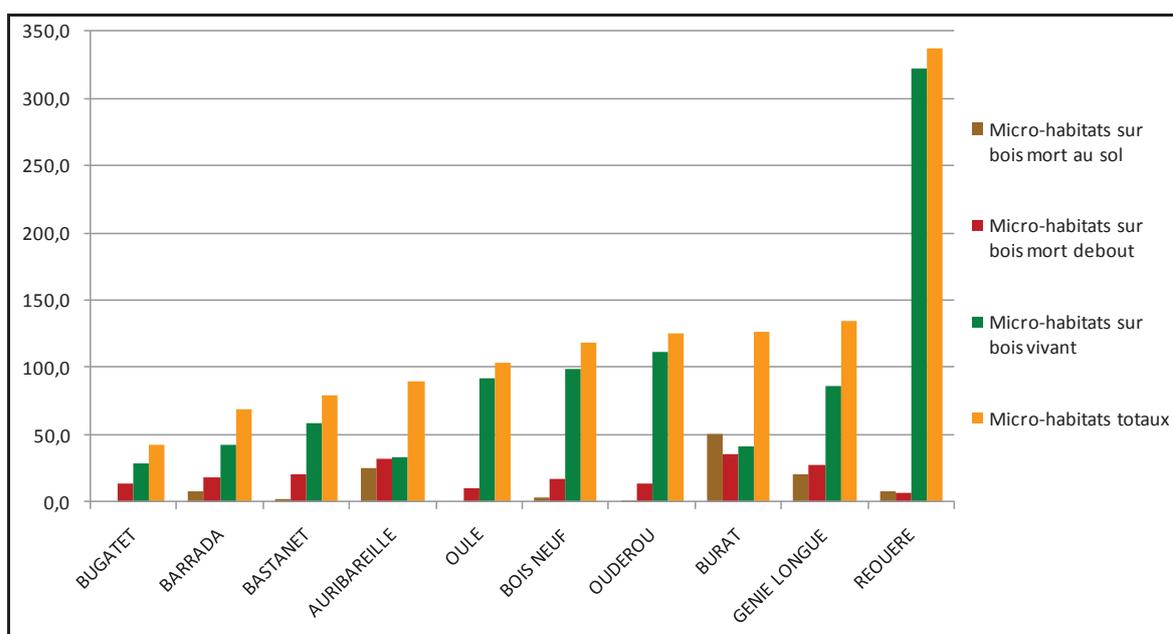


Figure 41. Nombre total de micro-habitats (tous types confondus) par hectare dans les sites étudiés

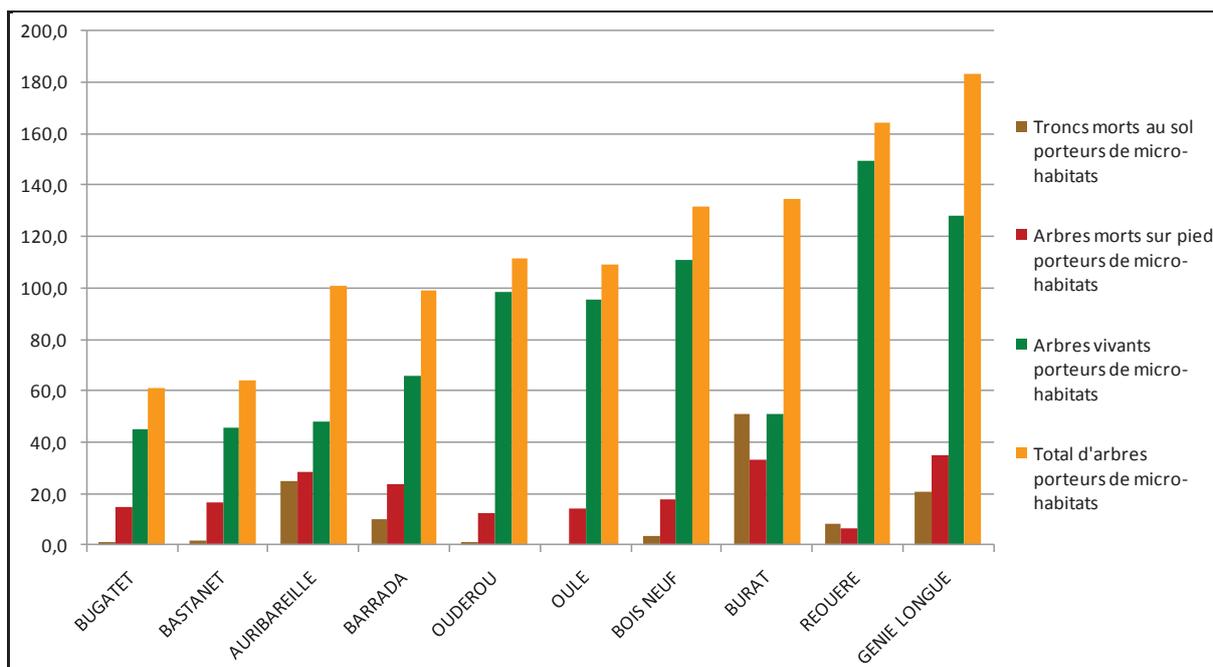


Figure 42. Nombre total d'arbres porteurs de micro-habitats (tous types confondus) par hectare

Pour ce qui concerne l'influence des essences, on peut mettre en avant les points suivants (Figure 43)

- le **hêtre** est beaucoup plus porteur de micro-habitats que le sapin pectiné ou les pins. Par son architecture, il est notamment plus propice que les résineux à la création de certains micro-habitats : les cavités à terreau ainsi que les dendrotelmes sont plutôt liées au hêtre. C'est également le cas des cavités vides qui résultent de nourrissage de picidés. Il est aussi plus favorable que les résineux au développement des champignons saproxyliques ;
- les fentes sont liées aux chandelles de **sapin**, souvent sous forme d'écorce décollée. Les coulées de sève n'ont été trouvées que sur sapin ;
- les **essences secondaires** portent souvent des micro-habitats mais leur contribution relative à l'offre globale est en général faible car leur densité est toujours basse, sauf à Génie Longue où le frêne, l'orme et les tilleuls contribuent à favoriser la diversité de substrat, en particulier pour les organismes saproxyliques, champignons et insectes.

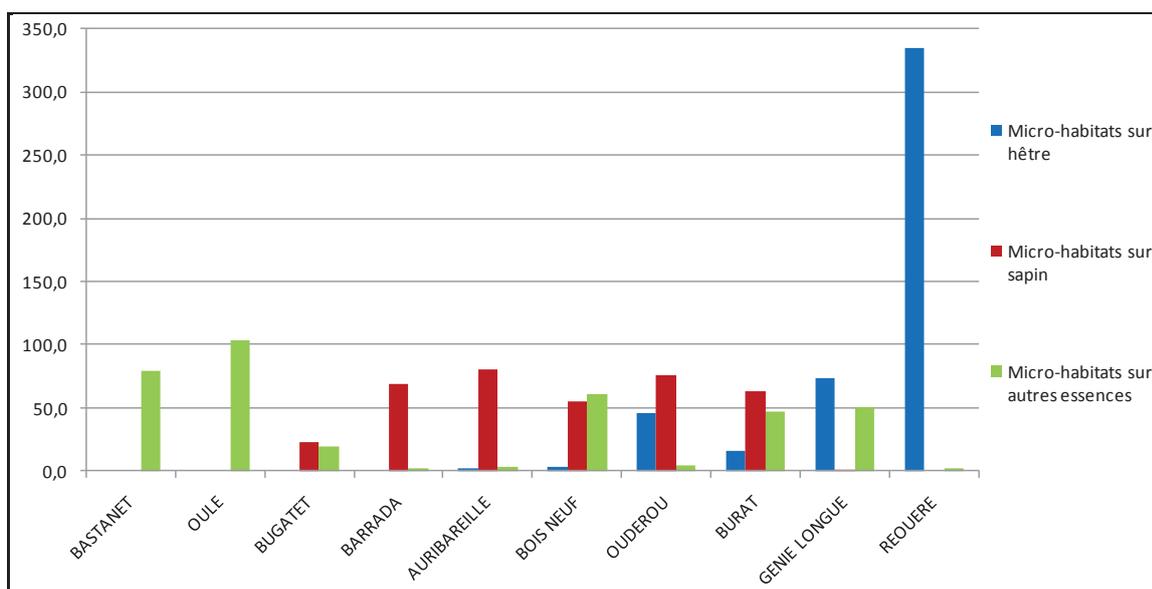


Figure 43. Nombre de micro-habitats (tous types confondus) par essence et par hectare

Pour permettre une comparaison globale des 10 sites en fonction des micro-habitats représentés, deux paramètres ont été calculés :

- la **densité des micro-habitats**, évaluée de deux manières différentes :
 - . le *nombre de micro-habitats* par hectare : total de toutes les occurrences de tous les types de micro-habitats dénombrés sur un site (cavités, fentes, zones de bois dur apparent, dendrotelmes, coulées de sève, carpophores de champignons saproxyliques) ;
 - . le *nombre d'arbres porteurs de micro-habitats* par hectare : total des arbres porteurs d'au moins un des types de micro-habitats cités ci-dessus, auxquels s'ajoutent les arbres porteurs d'épiphytes et les arbres présentant du bois mort dans le houppier ;
- la **diversité des micro-habitats** : dans ce cas, c'est la seule présence de chacun des types de micro-habitats qui est évaluée, chacune valant 1 point. Les 56 types pris en compte sont répertoriés dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Types de micro-habitats pris en compte pour évaluer leur diversité

Types de micro-habitats	localisation	sur arbres vivants	sur bois mort	
			sur pied	au sol
cavités sur ...	<i>pied</i>	X	X	
	<i>tronc</i>	X	X	
	<i>hêtre</i>	X	X	
	<i>sapin</i>	X	X	
	<i>autres essences</i>	X	X	
fentes sur ...	<i>hêtre</i>	X	X	
	<i>sapin</i>	X	X	
	<i>autres essences</i>	X	X	
zones de bois dur apparent sur ...	<i>pied</i>	X	X	
	<i>tronc</i>	X	X	
	<i>hêtre</i>	X	X	X
	<i>sapin</i>	X	X	X
	<i>autres essences</i>	X	X	X
coulées de sève sur ...	<i>hêtre</i>	X		
	<i>sapin</i>	X		
	<i>autres essences</i>	X		
dendrotelmes sur ...	<i>pied</i>	X	X	
	<i>tronc</i>	X	X	
	<i>hêtre</i>	X	X	
	<i>sapin</i>	X	X	
	<i>autres essences</i>	X	X	
carpophores sur ...	<i>hêtre</i>	X	X	X
	<i>sapin</i>	X	X	X
	<i>autres essences</i>	X	X	X
épiphytes sur ...		X	X	
bois mort dans le houppier sur ...	<i>hêtre</i>	X		
	<i>sapin</i>	X		
	<i>autres essences</i>	X		

La comparaison des 10 sites met en évidence les éléments suivants (Figure 44) :

- deux sites présentent une **faible diversité** en micro-habitats (13 à 14 types représentés sur un maximum possible de 56) et une **densité moyenne** (80 à 100 par hectare), avec une forte dominance d'un type de micro-habitat, les zones de bois dur apparent (de 68 à 80% du total) : **Oule** et **Bastanet**. Ce sont des pineraies pures, sans essences d'accompagnement, avec peu de bois mort, donc peu favorables à l'apparition de micro-habitats. En plus, pour Oule, les TGB, favorables à la formation de plusieurs micro-habitats, sont peu représentés ;
- quatre sites ont une **diversité** en micro-habitats **satisfaisantes** (17 à 19 types par hectare), mais avec une **densité faible** à **Bugatet** et **Barrada** (40 à 70 par hectare) et **bonne** à **Auribareille** et **Bois Neuf** (90 à 120 par hectare). Le site de Bugatet est une sapinière avec un volume de bois mort assez réduit et peu de TGB (moins de 20%). Les autres sites sont des sapinières (-hêtraies) et une sapinière qui présentent à la fois un fort volume de bois mort (100 à 230 m³/ha) et une proportion importante de TGB (de 25 à 50%) qui sont des substrats propices au développement des micro-habitats ;
- deux sites présentent à la fois une **bonne diversité** de micro-habitats (23 types représentés) et une **densité importante** (130 à 340 micro-habitats par hectare) : **Génie Longue** et **Réouère**. A Génie Longue, la composition dendrologique (hêtre et feuillus divers) et le volume assez important de bois mort (100 m³/ha) favorisent la création de micro-habitats malgré la faible proportion de TGB (15% seulement). Le site de Réouère, malgré le faible volume de bois mort, montre une densité particulièrement importante de micro-habitats, mais avec une très forte dominance de deux types (les cavités et les zones de bois dur apparent, qui totalisent près de 300 occurrences, soit près de 90% du total), les autres types étant très peu représentés, en lien avec la tétardisation ancienne de ces arbres et la large prédominance du hêtre ;
- deux sites montrent une **forte diversité** de micro-habitats (27 à 38 types représentés) et une **densité importante** (environ 130 micro-habitats par hectare) : **Oudérou** et **Burat**. Ce sont des sapinières (-hêtraies) qui présentent des caractéristiques relativement favorables à l'apparition de micro-habitats : un fort volume de bois mort (120 m³/ha), un fort volume de bois total (300 à 400 m³/ha) et une bonne proportion de TGB (25 à 35%).

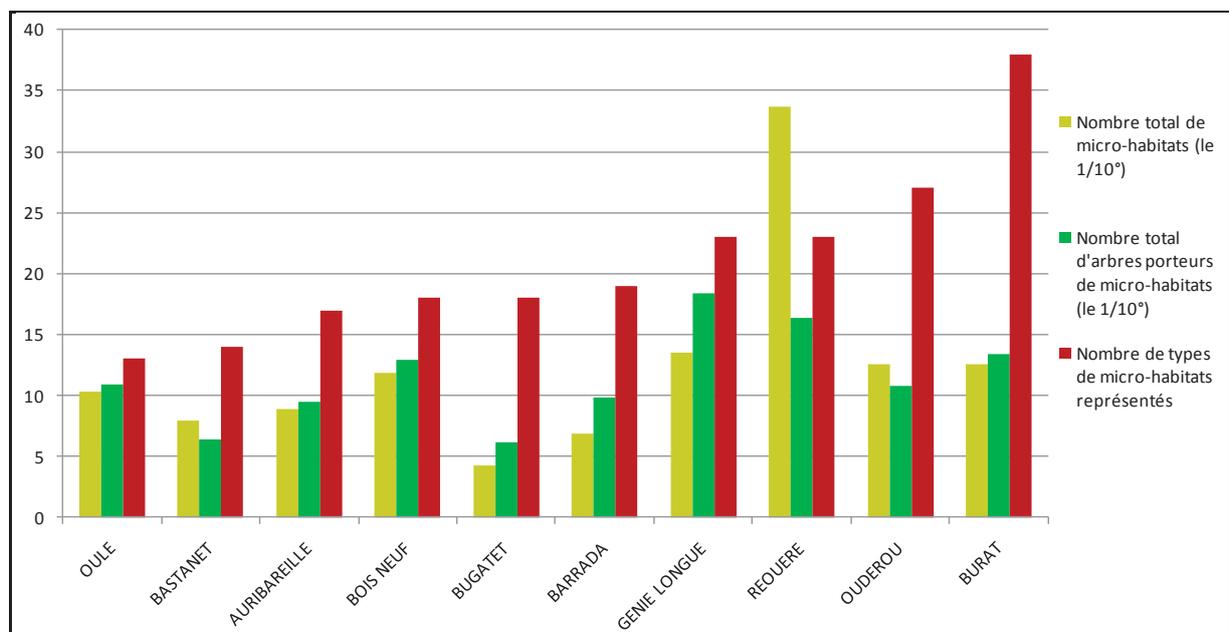


Figure 44. Diversité (exprimée par le nombre de micro-habitats différents représentés – sur un maximum de 56 possibles) et densité des micro-habitats (le 1/10° du nombre total de micro-habitats observés par hectare) dans les 10 sites étudiés

Une évaluation complémentaire de la diversité des habitats favorables à l'accueil des organismes saproxyliques consiste à prendre en compte la présence (ou l'absence) de bois mort de chacune des essences (hêtre, sapin ou autres) et à chacun des stades de saproxylation, soit un maximum de 68 habitats possibles. Le classement des sites reste identique au précédent (Figure 51).

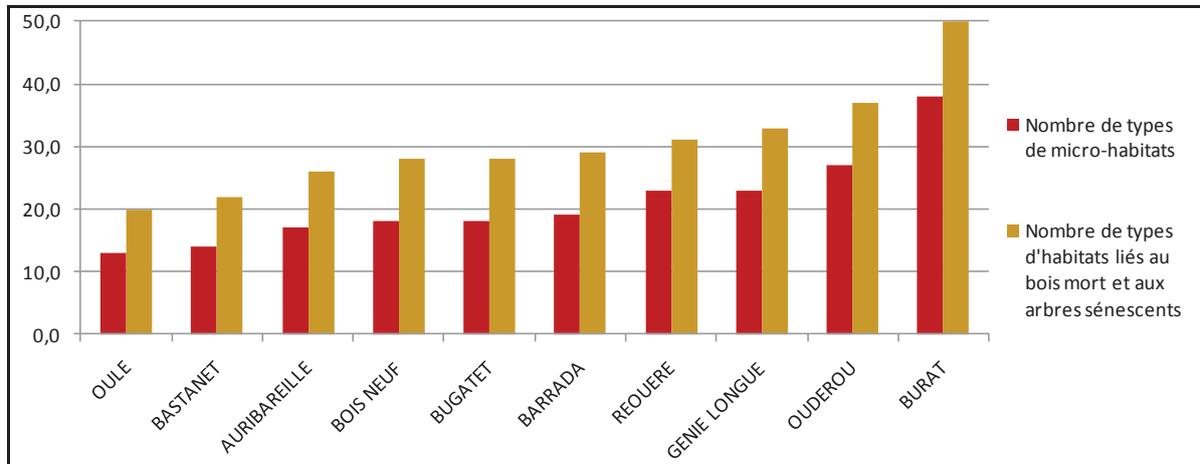


Figure 45. Diversité des habitats favorables aux organismes saproxyliques dans les sites étudiés (exprimée par le nombre de micro-habitats différents représentés – sur un maximum de 56 possibles - et par le nombre total d'habitats liés au bois mort ou aux arbres sénescents – sur un total de 68 possibles)

Une relation positive, assez nette, a pu être mise en évidence entre le nombre total d'habitats liés au bois mort ou aux arbres sénescents et le niveau de maturité des sites, même si, pour quelques sites, en particulier Auribareille et Barrada, la diversité observée reste inférieure à celle attendue au regard du niveau de maturité des sites (Figure 46). Pour Auribareille, cela pourrait venir de la surface assez réduite de la partie du site effectivement étudiée, où seulement 2 placettes d'observation ont été mises en place, ne permettant peut-être pas de prendre en compte la totalité de la diversité présente. Pour Barrada, aucune explication n'a pu être mise en avant.

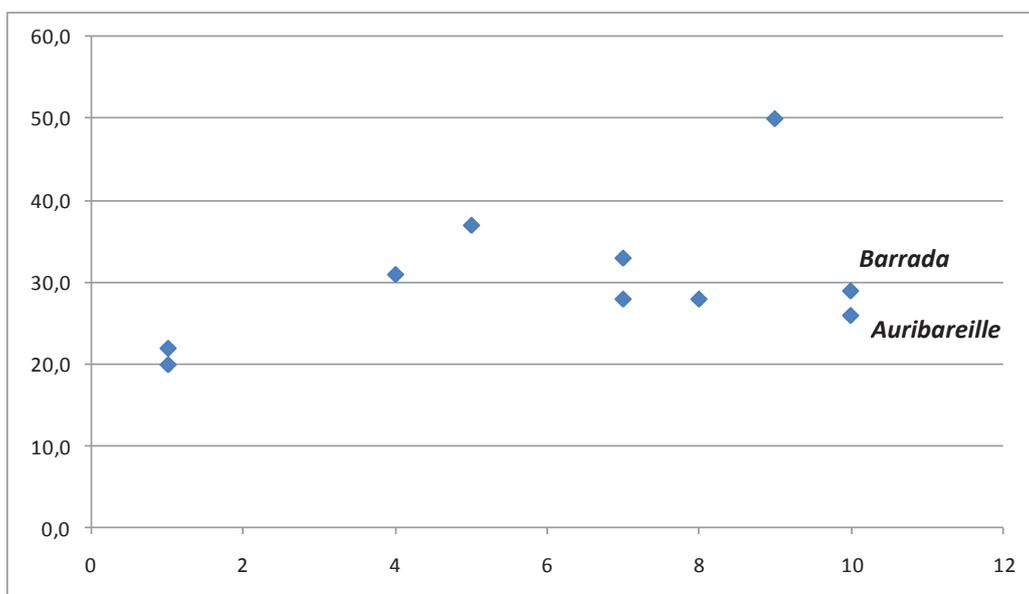


Figure 46. Relation entre le nombre total d'habitats liés au bois mort ou aux arbres sénescents et le niveau de maturité des sites

2.3.3.5. Synthèse : l'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP)

a – objectifs de l'IBP

L'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP) est un outil simple et pratique qui permet d'estimer la **biodiversité taxonomique potentielle du peuplement**, c'est-à-dire sa **capacité d'accueil** en espèces et en communautés, sans préjuger de la biodiversité réellement présente qui ne pourrait être évaluée qu'avec des inventaires complexes, non opérationnels en routine (Larrieu et Gonin, 2009).

b – calcul de l'IBP

Il consiste à apprécier **un ensemble de dix facteurs** parmi ceux qui sont habituellement reconnus comme **les plus favorables à la diversité interne des peuplements forestiers** : composition spécifique et structuration du peuplement, maturité et offre en micro-habitats liés aux arbres, présence d'habitats associés à la forêt, continuité de l'état boisé. Plusieurs facteurs notent les micro-habitats (nombre de très gros bois, nombre de TGB mort sur pied, ...) pour tenir compte du rôle fonctionnel primordial et de la diversité des organismes saproxyliques. Sept facteurs sont ainsi directement liés au peuplement ou à la gestion actuelle, les trois autres facteurs sont plutôt liés au contexte (continuité de l'état boisé, présence de milieux aquatiques, ...). **Une note de 0, 2 ou 5 points est donnée pour chacun des facteurs** selon une échelle de valeurs seuils (Tableau 8).

L'IBP est étalonné pour les **forêts des domaines atlantique et continental**, de **l'étage des plaines à l'étage subalpin**. Il peut être noté dans tous les types de forêts, quel que soit le degré d'intensification de la gestion et le stade de développement. Rappelons ici que, par construction, l'IBP n'a pas pour finalité de discriminer des sites à forte biodiversité taxonomique.

c – résultats

Les valeurs de l'IBP sont synthétisées sur la Figure 47.

Les sapinières (-hêtraies) les moins perturbées par les activités humaines (sites de **Auribareille**, **Bois Neuf**, **Barrada** et **Burat**) présentent des scores importants : 38 à 41 points sur un maximum possible de 50 (soit environ 80% de la note maximale). Encore ces scores sont-ils limités dans la plupart des sites par l'absence ou l'homogénéité des habitats liés au contexte, en particulier les habitats aquatiques, notamment à Bois Neuf et Barrada. De plus, l'IBP ne prend pas en compte la totalité de la diversité en habitats liés au bois mort et aux arbres sénescents puisque ce facteur ne pèse que pour 5 points dans le total, dès que le nombre de 6 arbres porteurs de micro-habitats est atteint. Si ce seuil paraît raisonnable dans le cas de forêts gérées, il devient très faible pour des forêts non ou peu perturbées depuis de longues périodes.

La pineraie de **Bastanet** possède encore un fort IBP (38, soit 75% du maximum), mais plus lié à la présence des habitats liés au contexte (milieux aquatiques, milieux rocheux) qu'en raison de sa diversité en habitats liés au bois mort et aux arbres sénescents.

La sapinière de **Bugatet**, la sapinière (-hêtraie) de **Oudérou** et la hêtraie de **Génie Longue** apparaissent moins favorables à l'expression d'une forte diversité, avec des notes comprises entre 33 et 36 (soit environ 70% du maximum possible). Cela tient sans doute aux perturbations subies par ces sites, soit anciennes, à Génie Longue et Bugatet (dernières coupes à la fin du 19^e ou au début du 20^e siècle), soit récentes, naturelles (avalanches à Bugatet) ou liées à l'homme (prélèvements de gros sapins en bordure de site à Oudérou).

Les IBP restent faibles dans la pineraie de **Oule** et la hêtraie de **Réouère** (25 à 28, soit environ 50% du maximum), surtout en raison de la faible diversité en habitats observée sur le site. Cela tient sans doute à l'intensité des perturbations subies par ces sites : traitement en têtards avec pâturage à Réouère, coupes importantes et pâturage à Oule.

Tableau 8 : Facteurs pris en compte pour l'évaluation de l'IBP

Facteurs	Items	Points associés
Facteurs liés au peuplement et à la gestion forestière (note totale sur 35)		
<i>Végétation</i>		
Richesse en essences forestières autochtones		
<i>étages collinéen et montagnard</i>		
	1 ou 2 genres	0
	3 ou 4 genres	2
	5 genres et plus	5
<i>étage subalpin</i>		
	1 genre	0
	2 genres	2
	3 genres et plus	5
Structure verticale de la végétation		
	1 ou 2 strates	0
	3 strates	2
	4 strates	5
<i>Micro-habitats liés aux arbres</i>		
Bois mort sur pied de grosse circonférence		
	< 1 pied/ha (quasi-absents)	0
	1 ou 2 pieds/ha	2
	3 pieds/ha et plus	5
Bois mort au sol de grosse circonférence		
	< 1 pied/ha (quasi-absents)	0
	1 ou 2 pieds/ha	2
	3 pieds/ha et plus	5
Très gros bois vivant		
	< 1 pied/ha (quasi-absents)	0
	1 à 4 pieds/ha	2
	5 pieds/ha et plus	5
Arbres vivants porteurs de micro-habitats		
	< 1 pied/ha (quasi-absents)	0
	1 à 5 pieds/ha	2
	6 pieds/ha et plus	5
<i>Habitats associés</i>		
Milieux ouverts		
<i>étages collinéen et montagnard</i>		
	0%	0
	< 1% ou > 5%	2
	1 à 5%	5
<i>étage subalpin</i>		
	< 1%	0
	1 à 5%	2
	> 5%	5

Facteurs liés au contexte (note totale sur 15)			
Continuité temporelle de l'état boisé			
Continuité temporelle de l'état boisé			
		peuplement ne faisant pas partie d'une forêt ancienne	0
		peuplement jouxtant une forêt ancienne ou ayant été partiellement défriché	2
		peuplement faisant nettement partie d'une forêt ancienne	5
Habitats associés			
Habitats aquatiques			
		absents	0
		1 seul type (homogènes)	2
		2 types et plus (diversifiées)	5
Milieux rocheux			
		absents	0
		1 seul type (homogènes)	2
		2 types et plus (diversifiées)	5

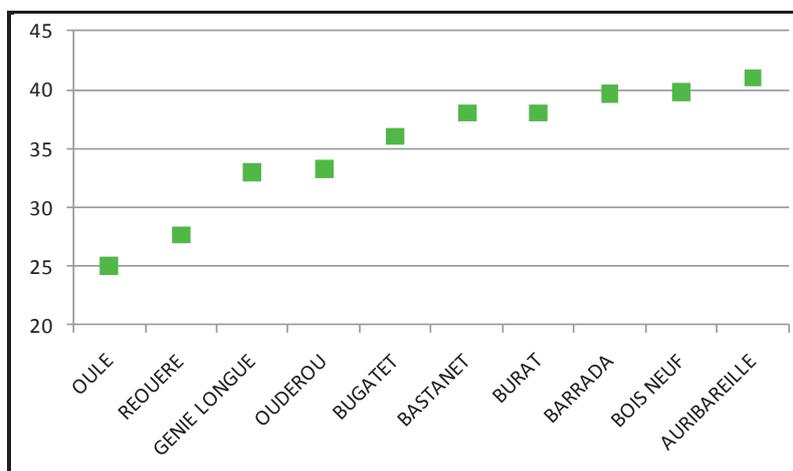


Figure 47. Indice de Biodiversité Potentielle des 10 sites étudiés

On peut également noter que la hiérarchie entre sites est globalement respectée si on ne prend pas en compte les habitats non obligatoires d'une vieille forêt (habitats associés liés au contexte : habitats aquatiques et milieux rocheux).

2.3.4. Indicateurs « espèces »

2.3.4.1. Flore vasculaire et mousses terricoles – Habitats forestiers (JM SAVOIE, EI PURPAN)

L'objectif de l'étude de la flore vasculaire et des mousses terricoles était de décrire la végétation des sites étudiés, de compléter la connaissance des milieux par l'analyse du caractère indicateur des espèces recensées, de déterminer les types d'habitats représentés et leur niveau d'intérêt patrimonial, de même que celui des espèces. Une analyse du caractère des espèces comme indicatrices de l'ancienneté de l'état boisé a ensuite été menée, permettant de compléter l'étude menée à partir des archives sur la gestion passée des sites.

a - méthodologie

Sur chacun des 10 sites sélectionnés dans le cadre du projet, 3 à 5 périmètres homogènes du point de vue des conditions de milieu et de la végétation ont été sélectionnés à proximité des pièges à insectes. La surface prospectée pour chaque relevé est d'environ 600 m². Les observations ont été réalisées en un seul passage sur chaque site, entre début mai et mi-août selon l'altitude, soit au cours de l'année 2008, soit en 2009. Pour chacun des relevés, elles ont concerné les plantes vasculaires et les mousses terricoles. Les observations ont été effectuées strate par strate (arborescente, arbustive, herbacée et muscinale), à l'aide des coefficients d'abondance-dominance de Braun-Blanquet. L'ensemble des données des 37 relevés a été saisi et cartographié dans les bases de données Flora Pyrenica / Geoflora du CBNPMP. Les relevés et les espèces ont été triés manuellement afin de faire apparaître les groupements végétaux et leurs ensembles d'espèces caractéristiques.

b - la flore et les habitats

Sur l'ensemble des 10 sites, 215 espèces ont été observées (annexe 6). Le nombre total d'espèces par site (63 en moyenne) varie de 48 à 93 (Figure 48). Le nombre total d'espèces par relevé varie de 21 à 53, avec une moyenne de 37 ± 9 espèces. Cette valeur est un peu supérieure à celle obtenue pour les 598 relevés effectués dans les forêts (de production pour la plus grande partie) de l'étage montagnard des Pyrénées centrales (SAVOIE, 1995) : $29 \pm 13,2$ espèces en moyenne par relevé, avec des extrêmes allant de 2 à 79 espèces par relevé. Cependant, les 10 sites étudiés comportent plus de sapinières ou sapinières (-hêtraies) (6), floristiquement plus riches, et moins de hêtraies (2), que les forêts observées par SAVOIE (1995). En comparant les relevés effectués dans des peuplements des mêmes essences (Figure 50), il apparaît que, sauf pour les pineraies, le nombre d'espèces par relevé est toujours plus important dans les sites de vieilles forêts étudiés dans le cadre de cette étude que dans les forêts des Pyrénées centrales inventoriées dans le cadre de l'étude de typologie des stations (SAVOIE, 1995).

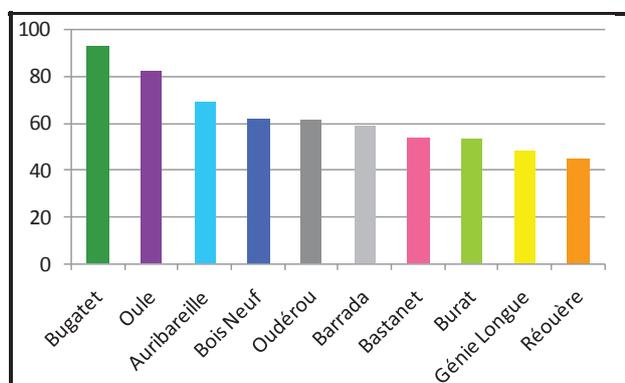


Figure 48. Nombre total d'espèces par site

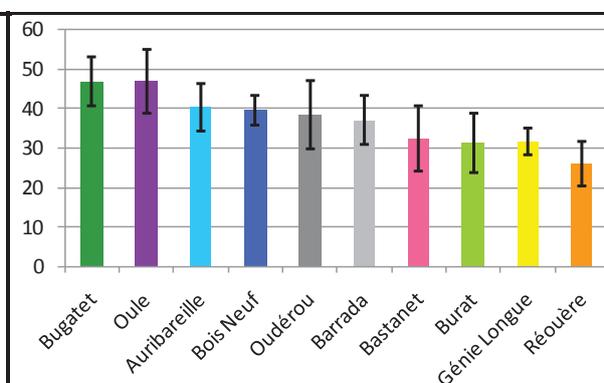


Figure 49. Nombre moyen d'espèces par relevé et par site

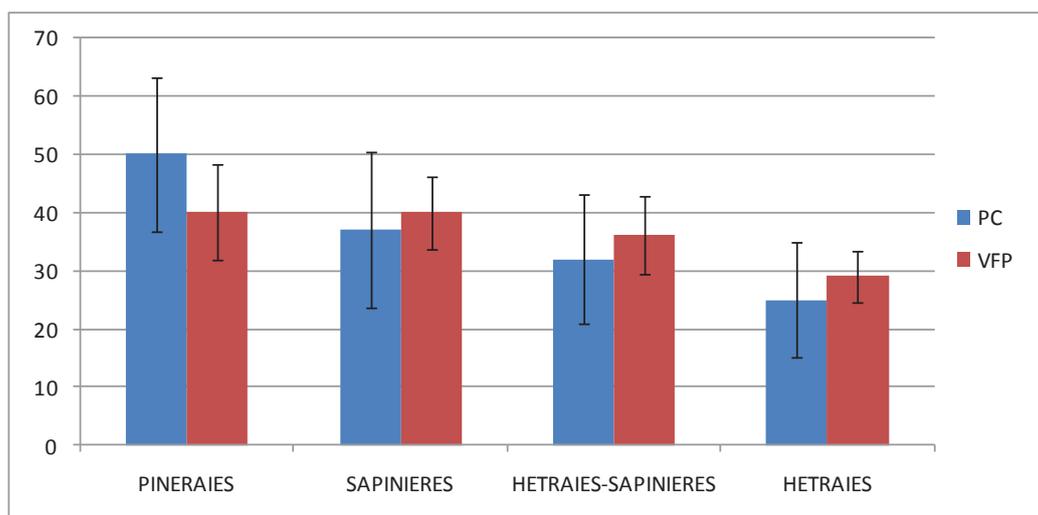


Figure 50. Nombre moyen d'espèces par relevé et par essence dans les forêts des Pyrénées centrales (PC ; SAVOIE, 1995) et dans les sites étudiés (VFP)

Site par site, le nombre moyen d'espèces par relevé varie de 26 à 47 (Figure 49). Globalement, le nombre moyen d'espèces par relevé et le nombre d'espèces par site sont classés de façon identique. Généralement, les relevés comportant le plus d'espèces correspondent à des pineraies ou des sapinières subalpines ouvertes et les relevés comportant le moins d'espèces à des hêtraies ou sapinières (-hêtraies) montagnardes fermées.

L'analyse de la flore permet de rattacher de façon précise 10 des 11 groupements végétaux observés à 5 associations végétales (voir, Tableau 9, les habitats de rattachement et les sites concernés, et, Tableau 11, leur position syntaxonomique ; voir aussi le tableau des relevés diagonalisés faisant apparaître les groupements et leurs ensembles d'espèces caractéristiques, annexe 7).

Le site de Oule n'a pas pu être rattaché de façon précise à un syntaxon. Il s'agit d'une pineraie (à pin sylvestre, pin à crochets et pin de Bouget) subalpine mésotrophe sèche, avec quelques très vieux sapins disséminés, en cours de recolonisation par le sapin. Cette forêt présente une forte originalité de la composition floristique (annexe 7), avec des espèces mésophiles acidiphiles du *Luzulo-Fagion* (*Prenanthes purpurea*, *Lonicera nigra*, *Calamagrostis arundinacea*, *Vaccinium myrtillus*, *Rhododendron ferrugineum*) mais diffère des sapinières du *Rhododendro - Abietenion* par sa richesse en espèces thermophiles ou xérophiles des *Quercetalia pubescenti-petraeae* (*Laserpitium latifolium*, *Geranium sanguineum*, *Sorbus aria*, *Amelanchier ovalis*, *Helianthemum nummularium*, *Helleborus foetidus*, *Campanula trachelium*, *Campanula rotundifolia*, *Viburnum lantana*, *Euphorbia cyparissias*). On remarquera que cette pineraie (-sapinière) présente des affinités avec les pineraies de Pin sylvestre calcicoles du *Polygalo calcareae-Pinetum sylvestris* et avec les pineraies de Pin à crochets calcicoles du *Polygalo calcareae-Pinetum uncinatae* dont les rattachements phytosociologiques sont les suivants :

- Erico carnea* - *Pinetea sylvestris*** : pineraies calcicoles à acidiclives, montagnardes à subalpines
- Buxo sempervirentis* - *Pinetalia sylvestris*** : pineraies calcicoles périméditerranéennes et pyrénéennes
- Cephalanthero rubrae* - *Pinion sylvestris*** : forêts thermophiles
- Polygalo calcareae-Pinetum sylvestris*** : forêts mésophiles calcicoles pyrénéennes de Pins sylvestres
- Code Pal. Class.** : 42.561
- Polygalo calcareae - Pinetum uncinatae*** : pineraies de Pin à crochets calcicoles des Pyrénées
- Code Pal. Class.** : 42.425

Tableau 9. Syntaxonomie, habitats, rattachements Pal. Class. et Directive Habitats des groupements végétaux des 10 sites étudiés

Habitat élémentaire	Code Pal. Class.	Association	Habitat d'intérêt communautaire	Code EUR-27	Sites
Forêts de l'étage montagnard inférieur, atlantiques, acidiphiles, à Houx	41.127	<i>Ilici aquifolii - Fagetum sylvaticae</i>	Hêtraies atlantiques, acidophiles à sous-bois à <i>Ilex</i> et parfois <i>Taxus</i> (<i>Quercion roboris</i> ou <i>Ilici - Fagenion</i>)	9120	Réouère
Forêts de l'étage montagnard moyen et supérieur, méditerranéo- atlantiques, acidiphiles, à Houx		<i>Galio rotundifolii- Abietetum albae</i>			Oudérou Auribareille (en partie)
Forêts pyrénéo-cantabriques, montagnardes, neutroclines, de milieu frais, à Lysimaque des bois	41.14	<i>Lysimachio nemorum - Fagetum sylvaticae</i>			Burat Barrada Auribareille (en partie)
Forêts pyrénéo-cantabriques montagnardes, neutrophiles, de milieu frais, à Scille lis-jacinthe	41.141	<i>Scillo lilio-hyacinthi - Fagetum sylvaticae</i>			Génie Longue
Sapinières subalpines pyrénéennes à Rhododendron ferrugineux	42.1331	<i>Rhododendro ferruginei - Abietetum albae</i>	*	*	Bois-Neuf Bugatet Bastanet

* contrairement à leur classification dans les Cahiers d'habitats forestiers NATURA 2000 (Rameau et al., 2001), les Sapinières subalpines pyrénéennes à Rhododendron ferrugineux n'ont pas été retenues par le MNHN comme habitat d'intérêt communautaire rattaché aux Forêts acidophiles à *Picea* des étages montagnard à alpin (*Vaccinio - Piceetea*) EUR 27 9410

c - intérêt patrimonial des habitats et de la flore

Aucune des espèces relevées dans les 10 sites étudiés n'est protégée à l'échelle régionale ou nationale. Seules 8 espèces sont classées comme déterminantes dans le choix des ZNIEFF sur la partie pyrénéenne de Midi-Pyrénées (Tableau 10).

Tableau 10. Liste des espèces déterminantes ZNIEFF observées sur les 10 sites étudiés

Taxons déterminants ZNIEFF Midi-Pyrénées	Sites d'observation	
<i>Carex macrostylon</i> Lapeyr.	Bugatet	
<i>Cochlearia pyrenaica</i> DC.	Bastanet	Oule
<i>Festuca gautieri</i> (Hackel) K. Richter <i>subsp. scoparia</i> (Hackel & A. Kerner) Kerguélen	Bugatet	Oule
	Bastanet	
<i>Lathraea squamaria</i> L.	Génie Longue	
<i>Lonicera alpigena</i> L. <i>subsp. alpigena</i>	Bastanet	
<i>Molopospermum peloponnesiacum</i> (L.) Koch	Bugatet	Oule
	Bastanet	
<i>Orthilia secunda</i> (L.) House	Barrada	
<i>Ramonda myconi</i> (L.) Reichenb.	Barrada (sur bloc calcaire)	

Tableau 11. Position syntaxonomique des associations observées dans les 10 sites étudiés

Quercus robur - **Fagetea sylvaticae** : forêts tempérées caducifoliées ou mixtes, collinéennes et montagnardes

Fagetalia sylvaticae : forêts collinéennes, acidiclives à calcicoles, et montagnardes, acidiphiles à calcicoles, non thermophiles

Fagenalia sylvaticae : forêts montagnardes

Luzulo luzuloidis - **Fagion sylvaticae** : forêts montagnardes acidiphiles

Ilici aquifolii - **Fagenion sylvaticae** : forêts atlantiques ou du montagnard occidental sous influences méditerranéennes (Massif Central, Pyrénées)

Ilici aquifolii - **Fagetum sylvaticae** : forêts de l'étage montagnard inférieur, atlantiques, acidiphiles, à Houx

Code Pal. Class. : 41.127

Galio rotundifolii - **Abietetum albae** : forêts de l'étage montagnard moyen et supérieur, méditerranéo-atlantiques, acidiphiles, à Houx

Code Pal. Class. : 41.127

Fagion sylvaticae : forêts montagnardes neutrophiles

Scillo lilio-hyacinthi - **Fagenion sylvaticae** : forêts pyrénéo-cantabriques neutrophiles

Lysimachio nemorum - **Fagetum sylvaticae** : forêts pyrénéo-cantabriques, montagnardes, neutroclives, de milieu frais, à lysimaque des bois

Code Pal. Class. : 41.14 (pas de déclinaison pour cette association à l'intérieur de ce niveau)

Scillo lilio-hyacinthi - **Fagetum sylvaticae** : forêts pyrénéo-cantabriques montagnardes, neutrophiles, de milieu frais, à scille lis-jacinthe

Code Pal. Class. : 41.141

Vaccinio myrtilli - **Piceetea abietis** : forêts résineuses acidiphiles circumboréales, sur sol oligotrophe

Piceetalia excelsae : pessières, sapinières, pessières-sapinières des sols très acides, de l'étage subalpin inférieur et en îlots montagnards

Piceion excelsae : forêts résineuses très acidiphiles de sapin et/ou d'épicéa des Alpes, des Pyrénées et du Jura, plus sporadiques dans les Vosges

Rhododendro ferruginei - **Abietenion albae** : forêts subalpines des Pyrénées et des Alpes du sud

Rhododendro ferruginei - **Abietetum albae** : sapinière subalpine à Rhododendron ferrugineux

Code Pal. Class. : 42.1331

Deux associations seulement parmi celles citées ci-dessus sont considérées comme des habitats d'intérêt communautaire (Tableau 9) : l'*Illici aquifolii-Fagetum sylvaticae* et le *Galio rotundifolii-Abietetum albae*. Elles sont rattachées à l'habitat EUR-27 9120 Hêtraies atlantiques, acidophiles à sous-bois à Ilex et parfois Taxus (*Quercion roboris* ou *Illici - Fagenion*). Cela concerne 3 sites : Réouère, Oudérou et partiellement Auribareille.

Contrairement à leur classification dans les Cahiers d'habitats forestiers NATURA 2000 (Rameau *et al.*, 2001), les Sapinières subalpines pyrénéennes à Rhododendron ferrugineux (*Rhododendro ferruginei-Abietetum albae*) n'ont pas été retenues par le MNHN comme habitat d'intérêt communautaire rattaché aux Forêts acidophiles à Picea des étages montagnard à alpin (*Vaccinio - Piceetea*) EUR 27 9410 (CORRIOL, CBN PMP, communication personnelle).

La pineraie (-sapinière) du site de Oule, non rattachable phytosociologiquement, apparaît cependant comme un habitat original, au moins à l'échelle nationale et, sans doute aussi, à l'échelle communautaire compte tenu de la rareté des sapinières subalpines mésoxérophiles dans les Pyrénées.

d – flore indicatrice de l'ancienneté de l'état boisé

Il est évident que la dégradation d'un habitat forestier (par des coupes, le pâturage, ...) augmente la facilité de pénétration d'espèces extra-forestières et d'ourlets, favorisant l'hétérogénéité floristique et l'accroissement du nombre d'espèces, mais pas la qualité de l'habitat. La richesse brute constitue donc un médiocre indicateur de la qualité de l'écosystème. Pour pallier cela, l'étude a cherché à hiérarchiser les sites en fonction de la **présence** d'espèces de flore vasculaire indicatrices de l'ancienneté de l'état boisé. Une liste de ces espèces a été proposée par DUPOUEY *et al.* (2002) à partir de plusieurs études effectuées dans les plaines d'Europe occidentale. Cette liste a été confrontée aux connaissances du comportement de ces espèces dans les Pyrénées centrales. A partir des données du catalogue des types de stations (SAVOIE, 1995) et de l'expertise de CORRIOL (CBN PMP, *in littera*), 39 espèces (annexe 8), présentes dans les groupements forestiers pyrénéens, mais aussi caractéristiques d'habitats de prairie, de mégaphorbiaie, de lande, de coupe forestière, d'ourlet, ... ont été écartées de la liste DUPOUEY. La liste initiale a également été complétée par des espèces montagnardes et subalpines. Les espèces retenues présentent une forte fidélité aux milieux boisés fermés, et possèdent souvent un mode de dispersion lent : espèces sciaphiles ou hygrosiaphiles, dryades, géophytes, hémicryptophytes à rhizome, stolonifères ou à tubercules, espèces myrméchochores, La liste définitive comporte 78 espèces (annexe 8). A l'exception de *Circea alpina*, *Epilobium duriaei*, *Orthilia secunda*, *Pyrola minor* et, dans une moindre mesure, de *Melica nutans* et *Phegopteris connectilis*, il s'agit d'espèces assez communes à très communes dans les Pyrénées centrales.

La Figure 51 montre le nombre moyen d'espèces de forêt ancienne par relevé sur chaque site. Sur la Figure 52, les valeurs moyennes correspondent au nombre d'espèces de forêt ancienne par relevé, rapporté au nombre total d'espèces de chaque relevé.

Les deux classements restent assez semblables :

- 5 sites présentent de **14 à 17 espèces indicatrices de forêt ancienne** par relevé, soit de 40 à 55% d'espèces indicatrices : **Auribareille**, **Burat**, **Barrada**, **Bois Neuf** et **Génie Longue**. Les 3 premiers sont des sapinières (-hêtraies) du montagnard moyen à supérieur, ni très fermées ni très claires, dans lesquelles le hêtre reste dominé mais bien représenté. Le site de Bois Neuf porte une sapinière subalpine assez fermée, ne comportant quasiment que le sorbier des oiseleurs et le bouleau en essences d'accompagnement. Le site de Génie Longue porte une hêtraie du montagnard inférieur abyssal avec, en mélange, l'orme de montagne, les tilleuls (à grandes et à petites feuilles), le frêne commun, quelques sapins, et présente assez peu d'espèces (32 par relevé en moyenne). Ces sites n'ont subi par le passé qu'une exploitation forestière réduite, sauf à Génie Longue. Leur sous-bois n'a été que peu touché par ce type de gestion et ils ne sont plus perturbés depuis au moins un siècle ;

- 2 sites présentent de **9 à 13 d'espèces indicatrices de forêt ancienne** par relevé, soit de 25 à 30% d'espèces indicatrices : **Oudérou** et **Bugatet**. Le premier site est une sapinière (-hêtraie) dans laquelle le hêtre reste très dominé. Le second est une sapinière subalpine avec un peu de pin à crochets et de Bouget en mélange. Ils ont fait l'objet d'une exploitation forestière par le passé et continuent à subir aujourd'hui des perturbations au niveau du peuplement arborescent et du sous-bois : exploitation forestière et pâturage (animaux sauvages et domestiques) en bordure du site de Oudérou, avalanches entraînant des ouvertures localisées du couvert à Bugatet ;
- 3 sites présentent seulement **4 à 5 espèces indicatrices de forêt ancienne** par relevé, soit de 10 à 15% d'espèces indicatrices : **Réouère**, **Bastanet** et **Oule**. Ce sont des forêts qui ont été fortement perturbées au cours de leur gestion passée, aussi bien pour le couvert arborescent que pour les strates arbustives et herbacées :
 - . hêtraie avec chêne sessile, à **Réouère**, anciennement soumise au pâturage et sans doute au soutrage et aux feux pastoraux,
 - . pineraie (-sapinière) avec jeunes sapins en sous-étage, à **Oule**, et pineraie de pin de Bouget et pins à crochets avec quelques jeunes sapins en sous-étage, à Bastanet. Ces sites ont été pâturés et ont fait l'objet de prélèvements modérés de bois pendant des siècles ; ils ont aussi subi une coupe très intense il y a environ 60 ans.

La présence d'espèces de flore vasculaire indicatrices de l'ancienneté de l'état boisé dans les relevés de l'étude a ensuite été comparée à celle des relevés effectués dans les forêts des Pyrénées centrales (vallées du Salat, de la Garonne et de la Neste d'Aure ; SAVOIE, 1995). Les relevés des Pyrénées centrales ont été réalisés dans des peuplements à des stades très variés de la dynamique forestière, depuis les phases post-pionnières de recolonisation d'anciennes prairies ou de cultures jusqu'à des forêts mûres. La plupart ont été effectués dans des forêts de production. Les relevés ont été comparés habitat par habitat.

Pour le *Luzulo-Fagion* (Tableau 12), les relevés effectués sur les 10 sites correspondent à ceux réalisés à Réouère (hêtraie de vieux arbres têtards) et dans les sapinières (-hêtraies) de Oudérou et Auribareille. A **Réouère**, pour des relevés à nombre d'espèces comparable, le pourcentage moyen d'espèces de forêt ancienne par relevé reste très inférieur à celui observé dans les relevés des Pyrénées centrales, confirmant le niveau important de dégradation du couvert qu'a subi ce peuplement au cours de son histoire. Pour **Oudérou**, le pourcentage moyen d'espèces de forêt ancienne par relevé reste comparable à celui des relevés des Pyrénées centrales ; cela montre que le site se positionne sensiblement au niveau moyen de dégradation du sous-bois des forêts étudiées dans les Pyrénées centrales. Pour **Auribareille** par contre, le pourcentage moyen d'espèces de forêt ancienne par relevé est 12 points supérieur à celui des relevés des Pyrénées centrales, attestant d'un niveau de dégradation du couvert forestier plus réduit par rapport aux forêts exploitées.

Pour le *Lysimachio-Fagetum* (Tableau 13), les relevés sont ceux effectués dans les sapinières (-hêtraies) de **Burat**, **Barrada** et **Auribareille**. Globalement, le pourcentage moyen d'espèces de forêt ancienne par relevé est environ 15 points supérieur à celui des relevés des Pyrénées centrales et il y a peu de différences entre les 3 sites. Il s'agit donc de forêts dont les sous-bois ont été globalement moins perturbés que ceux des forêts des Pyrénées centrales.

Pour le *Scillo lilio-hyacinthi-Fagetum* (Tableau 14), les relevés de la hêtraie de **Génie Longue** montrent un pourcentage moyen d'espèces de forêt ancienne par relevé légèrement supérieur à celui des relevés des Pyrénées centrales. Il s'agit donc d'un site dont le niveau de perturbation du couvert reste peu éloigné de celui des forêts des Pyrénées centrales.

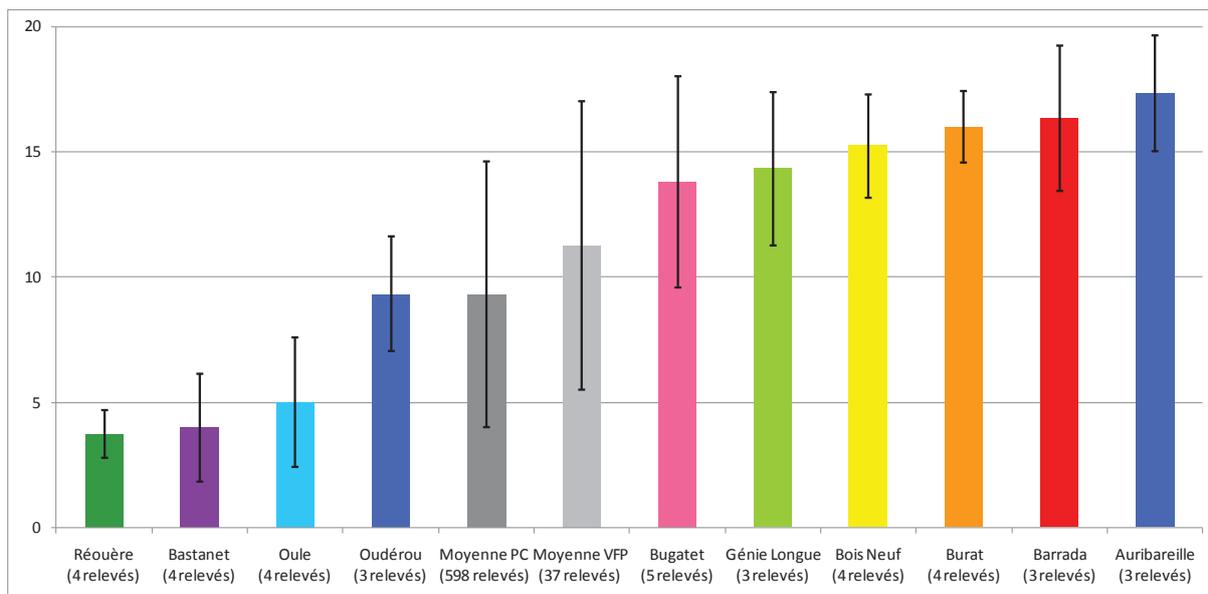


Figure 51. Nombre moyen d'espèces de forêt ancienne par relevé pour chaque site
 (PC = relevés des Pyrénées centrales, SAVOIE, 1995 ; VFP = les 10 sites étudiés)

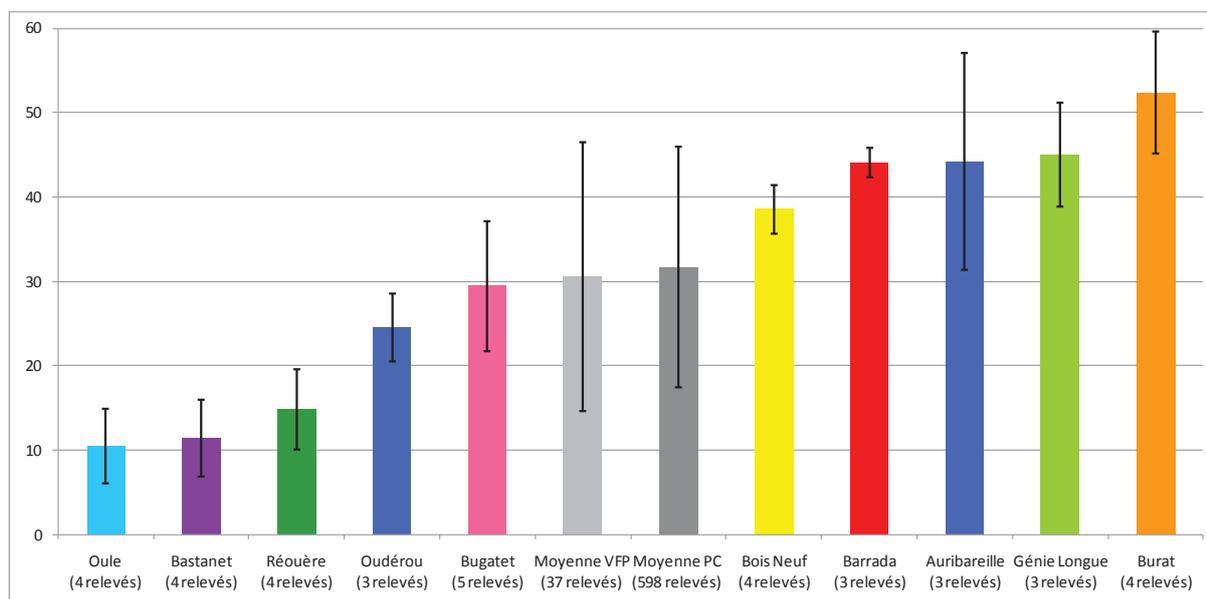


Figure 52. Pourcentage moyen d'espèces de forêt ancienne par relevé pour chaque site
 (PC = relevés des Pyrénées centrales, SAVOIE, 1995 ; VFP = les 10 sites étudiés)

Tableau 12. Présence d'espèces de forêt ancienne dans le *Luzulo-Fagion*
(sites étudiés et Pyrénées centrales)

<i>Luzulo-Fagion</i>	Réouère 4 relevés	Oudérou 3 relevés	Auribareille (p ^{ie}) - 1 relevé	Pyrénées centrales 90 relevés
Nombre moyen d'espèces par relevés	26 ± 5,7	38 ± 8,6	46	20 ± 10,4
Nombre moyen d'espèces de vieille forêt par relevé	3,8 ± 8,6	9,3 ± 2,3	16	5,0 ± 3,9
% moyen d'espèces de vieille forêt par relevé	15 ± 4,8	25 ± 4,0	35	23 ± 11,7

Tableau 13. Présence d'espèces de forêt ancienne dans le *Lysimachio-Fagetum*
(sites étudiés et Pyrénées centrales)

<i>Lysimachio-Fagetum</i>	Burat 4 relevés	Barrada 3 relevés	Auribareille (p ^{ie}) - 2 relevés	Global 9 relevés	Pyrénées centrales 120 relevés
Nombre moyen d'espèces par relevés	31 ± 7,4	37 ± 6,2	38 ± 4,9	35 ± 6,6	29 ± 14,9
Nombre moyen d'espèces de vieille forêt par relevé	16,0 ± 1,4	16,3 ± 2,9	18,0 ± 2,8	16,4 ± 2,1	9,5 ± 5,7
% moyen d'espèces de vieille forêt par relevé	52 ± 7,2	44 ± 1,8	49 ± 14,0	49 ± 7,7	35 ± 16,8

Tableau 14. Présence d'espèces de forêt ancienne dans le *Scillo lilio-hyacinthi-Fagetum*
(sites étudiés et Pyrénées centrales)

<i>Scillo lilio-hyacinthi-Fagetum</i>	Génie Longue 3 relevés	Pyrénées centrales 154 relevés
Nombre moyen d'espèces par relevés	32 ± 3,2	31 ± 13,6
Nombre moyen d'espèces de vieille forêt par relevé	14,3 ± 3,1	12,0 ± 5,6
% moyen d'espèces de vieille forêt par relevé	45 ± 6,2	39 ± 13,1

Tableau 15. Présence d'espèces de forêt ancienne dans le *Rhododendro-Abietetum*
(sites étudiés seulement et étage montagnard supérieur des Pyrénées centrales)

<i>Rhododendro-Abietetum</i>	Bois Neuf 4 relevés	Bugatet 5 relevés	Bois Neuf + Bugatet 9 relevés	Pyrénées centrales 12 relevés	Bastanet 4 relevés
Nombre moyen d'espèces par relevés	40 ± 3,7	47 ± 6,1	44 ± 6,2	26 ± 9,9	33 ± 8,3
Nombre moyen d'espèces de vieille forêt par relevé	15,3 ± 2,1	13,8 ± 4,2	14 ± 3,3	7,0 ± 3,3	4,0 ± 2,2
% moyen d'espèces de vieille forêt par relevé	39 ± 2,9	29 ± 2,7	33 ± 7,5	28 ± 7,2	11 ± 4,6

Pour le *Rhododendro-Abietetum*, la comparaison directe entre sites étudiés et forêts des Pyrénées centrales n'est pas possible car l'étude des stations ne portait que sur les étages collinéen et montagnard. Dans le Tableau 15, seuls les relevés de l'étage montagnard supérieur du *Luzulo-Fagion*, majoritairement effectués en sapinière, floristiquement proches du *Rhododendro-Abietetum*, ont été utilisés. A **Bugatet**, le pourcentage moyen d'espèces de forêt ancienne par relevé est équivalent à celui des relevés des Pyrénées centrales, indiquant un degré de perturbation moyen sans doute lié à l'existence sur ce site d'une ouverture localement importante du couvert forestier lié à des avalanches. A **Bois Neuf**, l'indice est 10 points supérieur à celui des relevés des Pyrénées centrales, témoignant d'un niveau de perturbation plus limité. A l'inverse, la pineraie de **Bastanet** présente un indice plus de 15 points inférieur à celui des relevés des Pyrénées centrales, indiquant un niveau de dégradation du couvert beaucoup plus important (pâturage ancien continu et coupes importantes dans les années 40 et 50).

Pour le site de **Oule**, sapinière très ouverte avec pin sylvestre en cours de reconquête par le sapin, non rattachée phytosociologiquement à une association décrite dans les Pyrénées centrales, le pourcentage moyen d'espèces de forêt ancienne par relevé (10%) reste voisin de celui de Bastanet, attestant d'un niveau de dégradation important du couvert forestier lié au pâturage ancien et aux coupes des années 40 et 50.

e – dynamique de la végétation naturelle

Le positionnement de chaque site dans un gradient de maturité de la sylvigénèse a été réalisé en tenant compte de plusieurs critères (Tableau 16 et annexe 9) :

- les données d'archives, concernant l'historique de la gestion passée des sites (type d'utilisation du sol, date et intensité de la dernière coupe, ... ; § 2.3.2.) ;
- les données recueillies sur le terrain, concernant les caractéristiques stationnelles (étage bioclimatique, situation topographique, caractéristiques du sol, composition dendrologique et flore) et les traces d'utilisation passée. La composition dendrologique actuelle a été confrontée à la composition attendue compte-tenu des données stationnelles, afin d'établir l'écart entre végétation actuelle et végétation potentielle : évaluation du nombre de dryades naturelles présentes par rapport au nombre potentiel, nombre d'essences pionnières ou post-pionnières représentées. L'intensité des perturbations naturelles (avalanches, chablis, chutes de blocs, ...) a également été estimée afin de faire la part, dans l'état actuel de la végétation, entre les effets de la gestion passée, de la dynamique naturelle et des perturbations liées au contexte physique.

Tableau 16 : Critères d'évaluation du niveau de maturité des sites étudiés

Nom du site	Gestion principale passée	Date dernière coupe (années)	Intensité de la dernière coupe	Nombre d'essences pionnières ou post-pionnières	Nombre de dryades naturelles	Perturbations naturelles
Auribareille	aucune	> 100	faible	0	2 / 2	avalanches
Barrada	aucune	> 100	très faible	0	2 / 2	0
Bastanet	sylvo-pastorale	50 - 100	forte/très forte	1	0 / 1	0
Bois Neuf	forestière	50 - 100	faible/moyenne	0	1 / 1	0
Bugatet	forestière	> 100	faible/moyenne	1	1 / 1	avalanches
Burat	forestière	> 100	faible/moyenne	0	2 / 2	0
Génie Longue	forestière	> 100	forte/très forte	1	1 / 2	chablis
Oudérou	sylvo-pastorale	< 20	faible/moyenne	0	2 / 2	0
Oule	sylvo-pastorale	50 - 100	forte/très forte	2	1 / 1	0
Réouère	agro-pastorale	> 100	?	1	1 / 2	0

La confrontation de ces informations a conduit à classer les sites sur une échelle de 1 à 10, du plus perturbé au plus mature (Tableau 17) :

Tableau 17 : Niveau de maturité (M) des peuplements forestiers des sites étudiés

	Bastanet	Oule	Réouère	Oudérou	Génie Longue	Bugatet	Bois Neuf	Burat	Barrada	Auribareille
M	1	2	4	5	7	7	8	9	10	10

f – corrélation entre flore et caractéristiques des sites

L'indicateur utilisé pour évaluer le degré de naturalité des sites étudiés est le pourcentage d'espèces de forêt ancienne (voir § d). Il a été mis en perspective avec les différentes caractéristiques recueillies sur les sites. Les variables suivantes ont plus particulièrement été testées :

- l'ambiance microclimatique du site (§ 2.3.1.c.),
- le niveau de maturité des peuplements (§ 2.3.4.1.e).

Il existe une relation nette entre le pourcentage d'espèces de forêt ancienne et **l'ambiance micro climatique des sites** (§ 2.3.1.c et Tableau 4 ; Figure 53) : plus le site est situé en ambiance fraîche, confinée et fermée (à Auribareille, Barrada, Burat et Génie Longue), plus le pourcentage d'espèces de forêt ancienne est élevé. Pour les sites les plus ouverts, situés en ambiance climatique chaude (à Bastanet, Oudérou, Oule et Réouère), le pourcentage d'espèces de forêt ancienne est beaucoup plus réduit. Les facteurs topo-climatiques compensent ou accentuent les perturbations dans la canopée dommageables aux espèces sciaphiles qui constituent une part importante des espèces indicatrices de forêt ancienne.

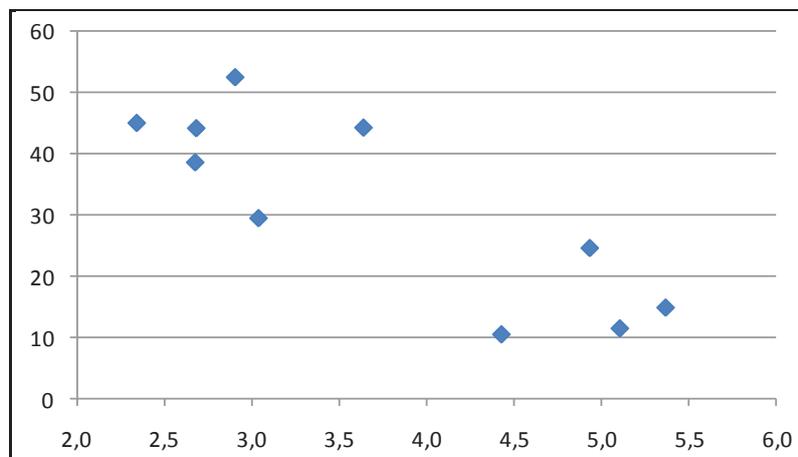


Figure 53 : Pourcentage d'espèces de forêt ancienne par relevé en fonction de la note d'ambiance micro-climatique des sites

Il existe également une relation positive nette entre le pourcentage d'espèces de forêt ancienne et le **niveau de maturité des sites** (§ 2.3.4.1.e, Tableau 16 ; Figure 54). Par rapport à une utilisation restée exclusivement forestière ou à l'absence d'utilisation, des usages sylvo-pastoraux (à Oule, Bastanet et, dans une moindre mesure, à Oudérou), et, plus encore, agro-pastoraux (à Réouère), même anciens, se traduisent par un plus faible taux d'espèces de forêt ancienne. Il en est de même avec les coupes : plus elles sont récentes et intenses (à Bastanet, Oule, Oudérou), plus le pourcentage d'espèces de forêt ancienne est faible. Au contraire, plus les coupes sont anciennes (ou absentes) et de faible intensité (à Auribareille, Barrada, Burat), plus le pourcentage d'espèces de forêt ancienne est important. Il faut cependant relativiser l'effet du niveau de maturité, car il existe une relation entre niveau de maturité et ambiance micro climatique qui joue un rôle important dans la proportion d'espèces indicatrices de forêt ancienne.

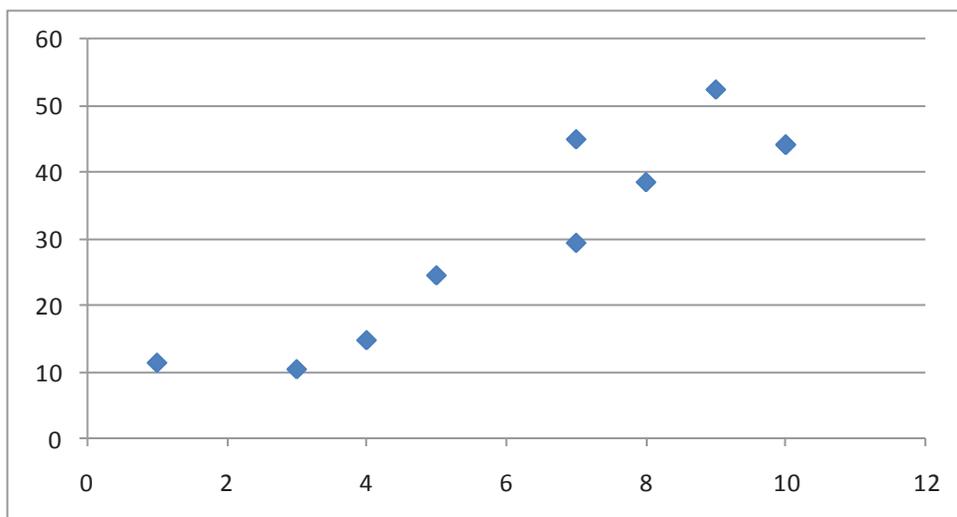


Figure 54 : Pourcentage d'espèces de forêt ancienne par relevé en fonction du niveau de maturité des sites

En conclusion, même si la flore des sites étudiés ne présente pas de caractère particulier par la présence d'espèces d'intérêt patrimonial, elle constitue cependant un bon indicateur du niveau de maturité des peuplements forestiers. Selon ce critère, le classement des sites serait le suivant, du plus mature au moins mature :

- Burat,
- Bois Neuf, Barrada, Auribareille et Génie Longue,
- Oudérou et Bugatet,
- Oule, Bastanet et Réouère.

2.3.4.2. Bryophytes saproxyliques (mousses et hépatiques) (contributeur : J. CELLE, NMP)

Sur chacun des sites étudiés, une surface homogène du point de vue de la maturité des peuplements forestiers a été prospectée. Cette surface, la plus grande possible en fonction de cette contrainte et des possibilités d'accès, incluait toujours les zones de piégeage d'insectes. La surface inventoriée dans chaque site est de l'ordre de quelques milliers de mètres carrés. Les relevés ont été réalisés en un seul passage sur chaque site, soit au cours de l'année 2008, soit en 2009. Ils ont concerné les seules mousses et hépatiques saproxyliques présentes sur le bois mort et jamais les communautés terricoles, humicoles ou épiphytes.

Les espèces triviales ont été identifiées sur le terrain ; les autres espèces ont fait l'objet de prélèvements pour étude au laboratoire. L'ensemble des données a été saisi et cartographié dans les bases de données Flora Pyrenaica / Geoflora du CBNPMP. Les comparaisons inter-placettes sont réalisées uniquement sur la base des espèces qui ont été observées avec un comportement saproxylique et sur la base des relevés cumulés par site (en présence).

Les commentaires concernant la rareté et la répartition des espèces font référence aux travaux menés en France et en Europe sur l'écologie et la répartition des mousses et hépatiques (Dulin, 2008 ; Maksimov *et al.*, 2003 ; Bardat et Hauguel, 2002 ; Heras et Infante, 2002 ; Depériers-Robbe, 2000 ; Dierssen, 2000 ; Paton, 1999 ; Kucera, 1996 ; Andersson et Hytteborn, 1991 ; Gustafsson et Hallingbäck, 1988 ; Rasmussen, 1976). Un indice d'intérêt des communautés de Bryophytes saproxyliques est calculé pour chaque site : à chaque taxon figurant sur la liste des espèces observées est associée une note, attribuée suivant une échelle allant de 0,5 à 8 points, selon sa rareté et son intérêt en tant que bioindicateur (Tableau 18).

Tableau 18. Liste des espèces de Bryophytes saproxyliques relevées dans les 10 sites étudiés

	Taxons strictement saproxyliques	Statut	NOTE
<i>Aulacomnium androgynum</i> (Hedw.) Schwägr.			0,5
<i>Blepharostoma trichophyllum</i> (L.) Dumort.			0,5
<i>Buxbaumia viridis</i> (Moug. ex Lam. & DC.) Brid. ex Moug. & Nestl.	X	DH/ LRBE/ZNIEFF	4
<i>Calypogeia suecica</i> (Arnell & J. Perss.) Müll. Frib.	X	ZNIEFF	8
<i>Dicranodontium denudatum</i> (Brid.) E.Britton			0,5
<i>Dicranum tauricum</i> Sapjegin	X		2
<i>Herzogiella seligeri</i> (Brid.) Z.Iwats.	X		4
<i>Lepidozia reptans</i> (L.) Dumort.			0,5
<i>Lophocolea bidentata</i> (L.) Dumort.			0,5
<i>Lophocolea heterophylla</i> (Schrad.) Dumort.			0,5
<i>Lophozia ascendens</i> (Warnst.) R.M.Schust.	X	LRBE/LRBF/ZNIEFF	8
<i>Lophozia incisa</i> (Schrad.) Dumort.			0,5
<i>Nowellia curvifolia</i> (Dicks.) Mitt.	X		2
<i>Plagiothecium cf laetum</i> Schimp.			0,5
<i>Riccardia palmata</i> (Hedw.) Carruth.	X	ZNIEFF	2
<i>Scapania umbrosa</i> (Schrad.) Dumort.	X	ZNIEFF	8
<i>Tetraphis pellucida</i> Hedw.			0,5
<i>Tritomaria exsecta</i> (Schmidel.) Loeske			0,5

Statut : DH : espèce inscrite à l'annexe II de la Directive Habitats ; LRBE : espèce inscrite sur la Liste Rouge des espèces de Bryophytes d'Europe ; LRBF : projet de Livre Rouge de la France métropolitaine ; ZNIEFF : espèce inscrite à la liste des Bryophytes déterminantes pour la désignation des ZNIEFF en Midi-Pyrénées

La note attribuée à un site correspond à la somme des notes des taxons de la liste, dont on a pu noter la présence sur le site. L'indice saproxylique d'intérêt pour un site correspond à la note du site rapportée au nombre de taxons saproxyliques total observé, le tout multiplié par 100 :

$$\text{Indice site 1} = \frac{(\text{note taxon 1} + \text{note taxon 2} + \dots + \text{note taxon N}) \times 100}{\text{nombre de taxons saproxyliques du site 1}}$$

Le Tableau 19 mentionne la présence des espèces observées dans chacun des sites étudiés. Les Figure 55 et Figure 56 présentent les résultats obtenus pour la note globale et pour l'Indice saproxylique. Les observations effectuées sur le site de Réouère n'ont mis en évidence la présence d'aucune espèce de Bryophyte saproxylique. Cela tient certainement à l'absence de substrat susceptible d'héberger ces taxons, le bois mort n'y étant qu'en quantité réduite (le bois mort au sol ne représente qu'environ 12 m³/ha sur ce site, et il s'agit uniquement de bois de feuillus, hêtre et chêne sessile). Sur les autres sites, on remarque la présence quasi constante des espèces courantes (*Lepidozia reptans*, *Blepharostoma trichophyllum*, *Tetraphis pellucida*, *Lophocolea heterophylla*). Il s'y ajoute des espèces moins banales (*Buxbaumia viridis* (Figure 57), *Herzogiella seligeri* (Figure 57) et, surtout, *Lophozia ascendens*), absentes cependant de Génie Longue et souvent de Bastanet). Les espèces les plus remarquables (notamment *Calypogeia suecica* et *Scapania umbrosa*) restent cantonnées aux sites les plus riches en espèces (Bois Neuf, Burat, Oule et Oudérou).

Tableau 19. Répartition des espèces de Bryophytes saproxyliques dans les 10 sites étudiés

	Note du taxon	BURAT	BOIS NEUF	OULE	OUDEROU	BUGATET	BARRADA	AURIBAREILLE	BASTANET	GENIE LONGUE	REOUERE
<i>Lepidozia reptans</i> (L.) Dumort.	0,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Blepharostoma trichophyllum</i> (L.) Dumort.	0,5	X	X		X	X	X	X	X	X	
<i>Nowellia curvifolia</i> (Dicks.) Mitt.	2	X	X	X	X	X	X	X		X	
<i>Riccardia palmata</i> (Hedw.) Carruth.	2	X	X	X		X	X	X	X	X	
<i>Lophocolea heterophylla</i> (Schrad.) Dumort.	0,5	X		X	X	X	X	X		X	
<i>Lophozia ascendens</i> (Warnst.) R.M.Schust.	8	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Tetraphis pellucida</i> Hedw.	0,5	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Buxbaumia viridis</i> (Moug. ex Lam. & DC.) Brid. ex Moug. & Nestl.	4	X	X	X	X	X	X	X			
<i>Herzogiella seligeri</i> (Brid.) Z.Iwats.	4	X	X	X	X	X	X	X			
<i>Tritomaria exsecta</i> (Schmidel.) Loeske	0,5	X	X		X	X	X	X			
<i>Lophozia incisa</i> (Schrad.) Dumort.	0,5		X	X	X			X	X		
<i>Calypogeia suecica</i> (Arnell & J. Perss.) Müll. Frib.	8	X	X	X	X						
<i>Scapania umbrosa</i> (Schrad.) Dumort.	8	X	X	X	X						
<i>Plagiothecium cf. laetum</i> Schimp.	0,5			X	X	X			X		
<i>Lophocolea bidentata</i> (L.) Dumort.	0,5	X					X			X	
<i>Dicranum tauricum</i> Sappegin	2,0			X		X			X		
<i>Dicranodontium denudatum</i> (Brid.) E.Britton	0,5		X							X	
<i>Aulacomnium androgynum</i> (Hedw.) Schwägr.	0,5								X		

D'une manière générale, l'indice saproxylique augmente avec le nombre de taxons (Figure 55). Il reste faible (moins de 20 points) si la richesse spécifique est limitée (moins de 10 espèces), dépasse légèrement 20 points avec 11 à 12 espèces et devient proche de 30 points pour 13 espèces présentes. La note globale (Figure 56) se répartit sensiblement selon le même schéma : 15 points au maximum avec moins de 10 espèces, 20 à 25 points pour 11 à 12 espèces et 35 à 40 points pour 13 espèces. Le classement des sites est sensiblement équivalent pour tous les indicateurs (nombre de taxons, indice saproxylique et note globale). Hormis Réouère, ils peuvent être répartis en 3 groupes :

- les sites à **faible richesse en Bryophytes**, avec moins de 10 espèces, un indice saproxylique inférieur à 20, une note globale de 15 au maximum, présentant surtout des espèces banales (*Lepidozia reptans*, *Blepharostoma trichophyllum*, *Lophocolea heterophylla*, ...), plus rarement des espèces à statut (*Riccardia palmata* (Figure 57), *Lophozia ascendens*) : **Génie Longue** et **Bastanet**. Ce sont des sites, soit comportant peu de substrats favorables aux espèces étudiées (il n'y a que 3 m³/ha de bois mort résineux à Génie Longue), soit à couvert arborescent très faible (35% à Bastanet), en exposition chaude, peu propice au développement des Bryophytes ;

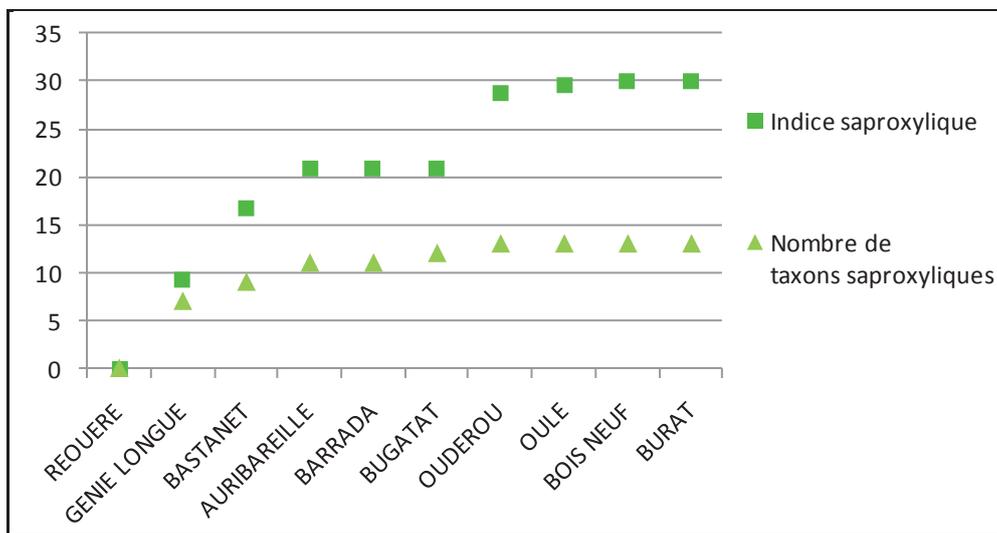


Figure 55. Nombre de taxons saproxyliques et Indice d'intérêt saproxylique dans les 10 sites

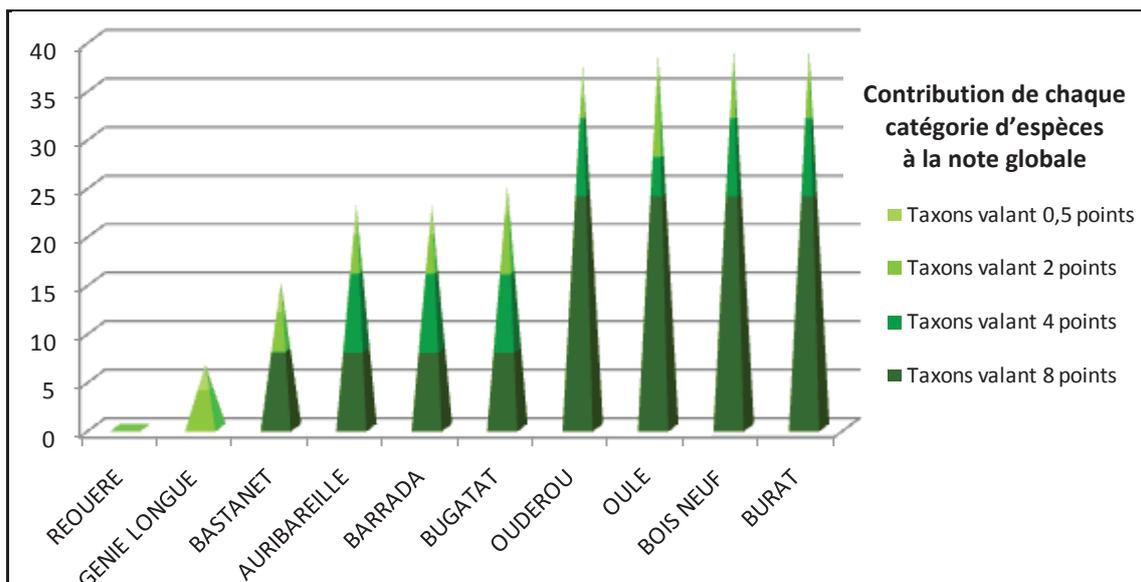


Figure 56. Part des 4 catégories de taxons de Bryophytes saproxyliques dans la note globale

La couleur de la pyramide est claire si l'intérêt de la communauté saproxylique est modéré, foncée s'il est fort



Buxbaumia viridis, espèce saproxylique sur sapin, rare et inscrite à l'annexe II de la Directive Habitats, observée dans tous les sites sauf Bastanet, Génie Longue et Réouère, c'est-à-dire tous ceux dans lesquels le sapin est abondant.

Photo : Jaoua Celle



Herzogiella seligeri, saproxylique sur sapin, rare, observée dans tous les sites sauf Bastanet, Génie Longue et Réouère, c'est-à-dire tous ceux dans lesquels le sapin est abondant.

Photo : Gilles CORRIOL, CBN PMP



Nowellia curvifolia, saproxylique sur sapin, assez rare, observée dans tous les sites sauf Bastanet et Réouère, c'est-à-dire tous ceux dans lesquels le sapin est présent.

Photo : Gilles CORRIOL, CBN PMP



Tetraphis pellucida, saproxylique sur résineux, assez commune, observée dans tous les sites sauf Génie Longue et Réouère.

Photo : Gilles CORRIOL, CBN PMP



Riccardia palmata, saproxylique sur résineux, assez rare, déterminante ZNIEFF, observée dans tous les sites sauf Oudérou et Réouère.

Photo : Gilles CORRIOL, CBN PMP

Figure 57 : Quelques espèces de Bryophytes saproxyliques observées dans les sites étudiés

- les sites à **richesse en Bryophytes moyenne**, avec 11 à 12 espèces saproxyliques, un indice saproxylique un peu supérieur à 20, une note globale de 20 à 25, présentant 3 des 5 espèces les plus remarquables observées sur les 10 sites (*Buxbaumia viridis*, *Herzogiella seligeri*, *Lophozia ascendens*) : **Auribareille**, **Barrada** et **Bugatet**. Il s'agit de sapinières et de sapinières-(hêtraies) de versant frais avec des volumes de bois mort résineux fort à très fort (70 à 230 m³/ha) ;
- les sites à **richesse en Bryophytes importante**, avec 13 espèces saproxyliques, un indice saproxylique proche de 30, une note globale comprise entre 35 et 40, caractérisés par la présence constante des 5 espèces les plus remarquables observées sur les 10 sites étudiés (*Buxbaumia viridis*, *Herzogiella seligeri*, *Lophozia ascendens*, déjà observés dans les sites du groupe précédant, auxquelles s'ajoutent *Calypogeia suecica* et *Scapania umbrosa*) : **Oudérou**, **Oule**, **Bois Neuf** et **Burat**. Ce sont des sapinières, des pineraies et des sapinières (-hêtraies) à microclimat frais à doux, avec des volumes de bois mort résineux moyen à fort (40 à 120 m³/ha).

Il n'a cependant pu être mis en évidence aucune relation nette entre ces indicateurs et des variables liées au milieu ou au bois mort, sans doute en partie en raison d'un très faible nombre d'espèces observées sur l'ensemble des sites. Le nombre de taxons saproxyliques tend cependant à augmenter avec l'accroissement du volume de bois mort au sol de sapin et de pin et avec une ambiance microclimatique plus fraîche, confinée et fermée.

2.3.4.3. Lichens corticoles, foliicoles ou lignicoles (contributeur : C. COSTE, CBN PMP)

a – introduction

Dès 1974 (Rose, 1974) les lichens sont considérés comme de bons indicateurs de vieilles forêts caractérisées par une longue continuité forestière. En effet, les lichens, organismes symbiotiques d'une algue ou d'une cyanobactérie et d'un champignon, ont une très large amplitude écologique, une très faible capacité de dispersion (de l'ordre de 100 m), une croissance très lente avec une activité photosynthétique continue toute l'année. De fait, ils jouent un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers (trophique, dans les cycles biogéochimiques), ainsi que dans la richesse spécifique d'un massif.

Des études successives (Nascimbene *et al.*, 2006 ; Fritz *et al.*, 2007 ; Nordin *et al.*, 2007) ont démontré l'excellente corrélation entre le nombre de macrolichens présents, les champignons corticoles, les bryophytes et les microlichens, l'âge des phorophytes et la continuité écologique des peuplements forestiers. Ainsi, l'évaluation de la continuité forestière et leur diversité biologique peuvent être effectuées à l'aide des macrolichens et permettent des évaluations prédictives de richesse spécifique. En outre, la flore lichénique s'adapte aux nouvelles conditions écologiques liées à la maturation des massifs forestiers (Paltto *et al.*, 2008). On sait par ailleurs que les espèces appartenant à l'alliance du *Calicion hyperelli* apparaissent avec le vieillissement des peuplements forestiers et le dessèchement des substrats (chablis). La présence ou l'absence des espèces de cette alliance lichénosociologique, et plus généralement les lichens de l'ordre des *Caliciales*, indiquent avec certitude l'ancienneté des phorophytes et la bonne continuité écologique du site sur une longue période (James *et al.*, 1977). D'autre part, il existe une haute signification entre la richesse et la densité des genres, des espèces, des lichens crustacés et des macrolichens (Bergamini *et al.*, 2007). De ce constat une liste de 97 lichens caractéristiques des vieux peuplements forestiers a été réalisée (Lorber, 2006).

Les lichens sont donc des organismes indispensables pour la qualification de la continuité forestière des massifs et constituent une part importante de la biodiversité associée aux forêts pyrénéennes remarquables.

b -matériel et méthode

Il est bien évident qu'une étude exhaustive des lichens de tous les sites retenus était impossible et ne pouvait même pas être envisagée, puisque la plupart des espèces doivent être récoltées pour être déterminées au laboratoire. Chacun des sites sélectionnés dans le cadre de ce projet a donc fait l'objet de prospections lichénologiques par cheminement dans un périmètre de quelques milliers de m² localisé à proximité des sites de piégeage d'insectes. Un maximum de surface boisé a été parcouru. Les observations ont été axées principalement sur les macrolichens corticoles ; de nombreux prélèvements ont été réalisés afin de déterminer avec certitude les espèces dont l'identification sur le terrain s'avérait difficile. Les prospections ont été effectuées de juin 2008 à novembre 2009, une journée complète d'observation pour chaque site.

Si cette méthode ne permet pas, bien sûr, d'établir une liste exhaustive des lichens des secteurs, ce qui demanderait plusieurs campagnes de prospections et un temps de travail au laboratoire tout à fait considérable puisque le temps nécessaire au traitement des relevés, pour une personne compétente est de 2 à 3 relevés par jour, elle permet cependant de donner une bonne idée de la richesse lichénique.

Pour les déterminations, nous avons utilisé un stéréomicroscope (grossissement de 6 à 50 fois), un microscope à transmission équipé d'un dispositif à contraste interférentiel (grandissement de 60 à 1500 fois), les réactifs chimiques usuels [K (solution aqueuse d'hydroxyde de potassium à 20 %), C (solution aqueuse d'hypochlorite de sodium : solution concentrée du commerce diluée 2 fois), N (solution aqueuse d'acide nitrique à 50 %), I (solution iodo-iodurée : lugol), P (paraphénylène diamine : solution alcoolique fraîchement préparée)].

Outre les lichens, nous avons déterminé les champignons lichénicoles non lichénisés rencontrés lors des examens au laboratoire. La nomenclature suivie est celle de l'ouvrage de Smith *et al.* (2009) pour les lichens.

L'ensemble des données a été saisi et cartographié dans la base de données *Flora Pyrenaica* du CBNPMP. Les commentaires concernant la rareté des espèces font références aux diverses publications floristiques sur le sujet et en particulier à la base de données « *Flora Pyrenaica* » du CBNPMP. Les remarques sur l'indication de continuité écologique font référence au travail de Lorber (2006).

Un indice d'intérêt des communautés lichéniques est calculé pour chaque site : à chaque taxon figurant sur la liste des espèces observées est associée une note, attribuée suivant une échelle allant de 0,5 à 8 points, selon sa rareté et son intérêt en tant que bioindicateur (annexe 10). Une **note globale** est d'abord calculée pour chaque site : elle correspond à la somme des notes des taxons de la liste, dont on a pu noter la présence sur le site. L'**indice d'intérêt** pour un site correspond à la note du site rapportée au nombre total de taxons saproxyliques observés, le tout multiplié par 100 :

$$\text{Indice site 1} = \frac{(\text{note taxon 1} + \text{note taxon 2} + \dots + \text{note taxon N}) \times 100}{\text{nombre de taxons saproxyliques du site 1}}$$

Pour chaque site, le pourcentage de taxons indicateurs de continuité écologique, caractéristiques des vieux peuplements forestiers, a été calculé par rapport au nombre total des espèces du site. Le pourcentage des espèces du *Lobarion pulmonariae*, également caractéristique de continuité écologique, a aussi été évalué pour chaque site.

c - résultats

L'annexe 10 présente l'ensemble des résultats site par site. Pour l'ensemble des 10 sites, un total de 150 espèces a été relevé : 140 espèces de lichens corticoles, foliicoles ou lignicoles et 10 de champignons lichénicoles non lichénisés (Figure 58). Parmi les premiers, on compte plus de la moitié d'espèces communes et 15% d'espèces rares ou très rares (Figure 58). Deux espèces considérées comme très rares (*Usnea longissima* Ach., éteint ou en danger d'extinction dans plusieurs pays alpins (Suisse, Allemagne, Italie) et *Arthonia graphidicola* Coppins) ont été observées sur les sites de Oudérou et de Bugatet. Il s'y ajoute 20 espèces rares réparties sur l'ensemble des sites.

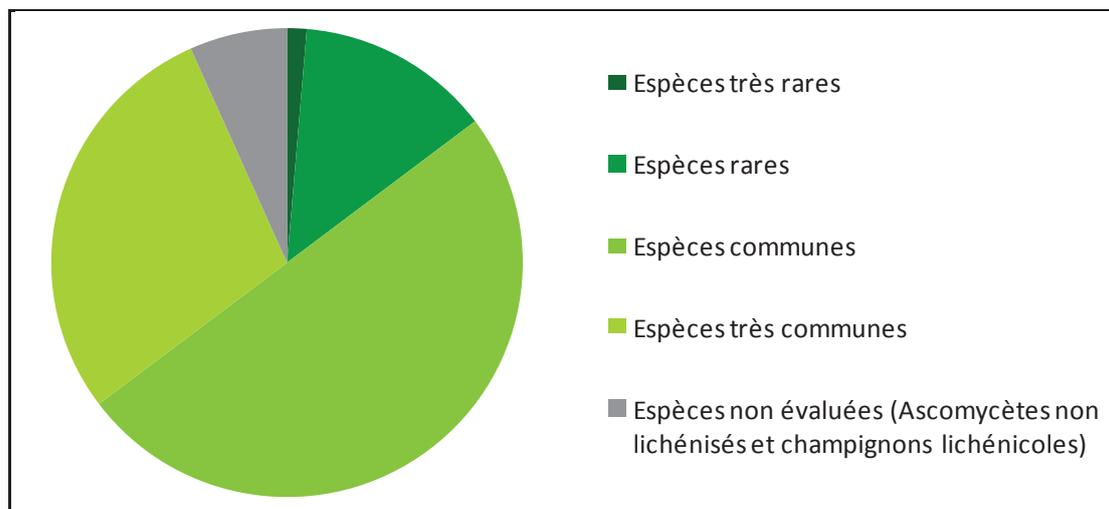


Figure 58 : Répartition des espèces de lichens observées selon leur niveau de rareté

Sur les 150 espèces observées, 51 sont considérées comme indicatrices de continuité écologique en référence au travail de Lorber (2006). Nous proposons d'ajouter à cette liste 12 lichens ou champignons lichénicoles non considérés jusqu'à présent comme indicateurs de continuité écologique. Nous citerons par exemple *Xylographa parrallela*, *Chaenotheca bruneola*, *C. xyloxena* (voir annexe 11 et Figure 59). Au total, se sont donc 63 espèces (soit 42%) indicatrices de continuité écologique qui ont été observées sur les 10 sites étudiés. Parmi les 150 espèces relevées, 28 (soit 19%) appartiennent strictement à l'alliance du *Lobarion pulmonariae* (sans tenir compte des espèces du pré-*Lobarion* - annexe 11), caractéristique de continuité écologique.

Les observations ont été axées sur les macrolichens. Le nombre total d'espèces observées devrait représenter environ 30% de la flore lichénique réellement existante sur les sites, tous supports confondus (saxicole, muscicole, terricole, foliicole). Cela conduirait à un nombre total théorique d'espèces lichéniques voisin de 500 pour l'ensemble des 10 sites et compris entre 110 et 160 environ selon les sites.

Un classement des sites a ensuite été effectué sur la base de plusieurs indicateurs complémentaires :

- les valeurs de l'indice d'intérêt du site, du pourcentage d'espèces indicatrices de continuité écologique par rapport au nombre total d'espèces relevées par site et du pourcentage des espèces du *Lobarion pulmonariae* par rapport au nombre total des espèces de cette alliance (**28**) observées sur les 10 sites étudiés : Figure 60
- de la note globale de chaque site : Figure 61
- du nombre de taxons, de taxons indicateurs et de taxons rares ou très rares : Figure 62.

Les sites ont été classés en cinq groupes (voir annexe 12) :

- la **hêtraie de Génie Longue**, avec un indice d'intérêt de 120, une note globale proche de 60, un pourcentage d'espèces indicatrices de continuité écologique d'environ 60%, un nombre d'espèces proche de 50 (valeur maximale observée sur les 10 sites), 5 des 22 espèces rares ou très rares (*Degelia atlantica*, *Leptogium corticola*, *Menegazzia terebrata*, *Sticta limbata*, *S. sylvatica*). Il s'y ajoute 17 (soit 60% - valeurs maximales des 10 sites) des espèces du *Lobarion pulmonariae* : 2 des 6 espèces réparties sur la plupart des sites (*Lobaria pulmonaria*, *Cetrelia olivetorum*), 11 des 12 espèces représentées uniquement sur les 6 sites les plus riches (*Lobaria scrobiculata*, *L. amplissima*, *Peltigera collina*, *Menegazzia terebrata*, *Sticta fuliginosa*, *S. limbata*, *Nephroma laevigatum*, *N. resupinatum*, *N. bellum*, *N. parile*, *Degelia atlantica*) et 4 espèces propres au site (*Leptogium corticola*, *L. cyanescens*, *L. lichenoides*, *Sticta sylvatica*). Le relevé met aussi en évidence la présence de 17 espèces colonisatrices des feuillus, valeur la plus importante des 10 forêts étudiées, et d'aucune espèce des résineux. Le site est caractérisé par des conditions particulièrement favorables aux lichens : une situation très confinée de basse altitude, en fond de cirque fermé orienté au nord, avec une très forte hygrométrie favorisée par l'encaissement et la présence de cascades. Le hêtre est accompagné par divers feuillus (frêne commun, orme de montagne, érable champêtre, tilleuls (à petites et à grandes feuilles) et un sous étage de buis quasi continu), mais le sapin reste rare. Le volume de bois total (mort et vivant) est très fort avec 430 m³/ha en moyenne ;
- les **sapinières (-hêtraies) de Barrada, Burat, Oudérou** et la **sapinière de Bois Neuf**, avec un indice d'intérêt compris entre 80 et 100 (jusqu'à 130 à Oudérou), une note globale le plus souvent comprise entre 30 et 35 (jusqu'à 60 à Oudérou), un pourcentage d'espèces indicatrices de continuité écologique compris entre 35 et 45%, un nombre total d'espèces compris entre 40 et 50 et de 3 à 10 espèces rares ou très rares (*Menegazzia terebrata*, *Sticta limbata*, *Cladonia parasitica*, *Chaenotheca brunneola*, *Bryoria bicolor*, *Xylographa parrallela*, communes à plusieurs de ces sites, auxquelles s'ajoutent *Pertusaria flavida*, *Lobaria virens*, *Degelia atlantica*, *Cladonia phyllophora*, *Evernia illyrica* et *Usnea longissima*, propres à Oudérou).

Figure 59 : Index photographique de quelques espèces de lichens observés dans les sites étudiés



Lobaria amplissima



Sticta limbata



Neophroma parile



Chaenotheca bruneola



Degelia plumbea



Xylographa parallela



Lobaria pulmonaria

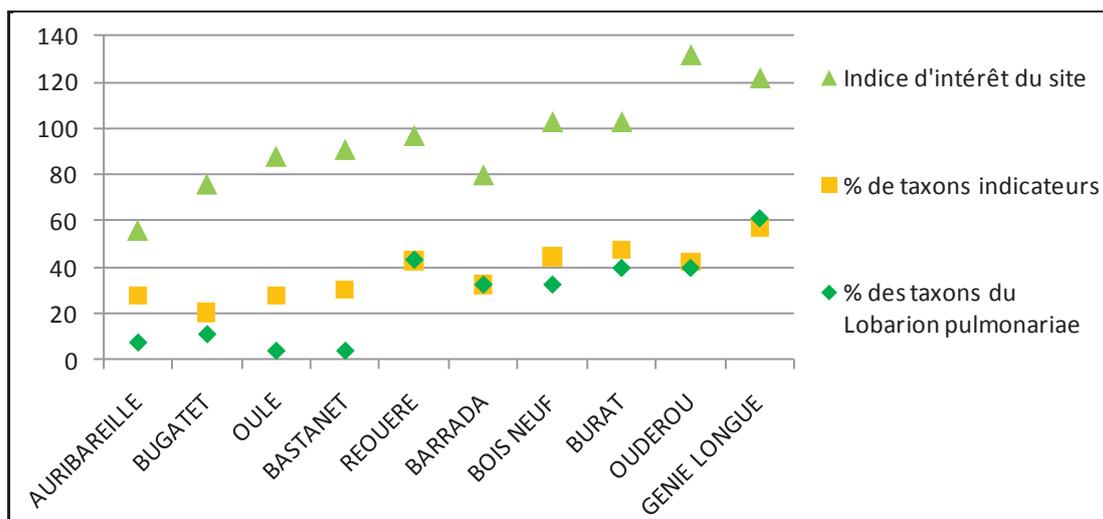


Figure 60 : Indice d'intérêt du site et pourcentage de lichens indicateurs de continuité écologique

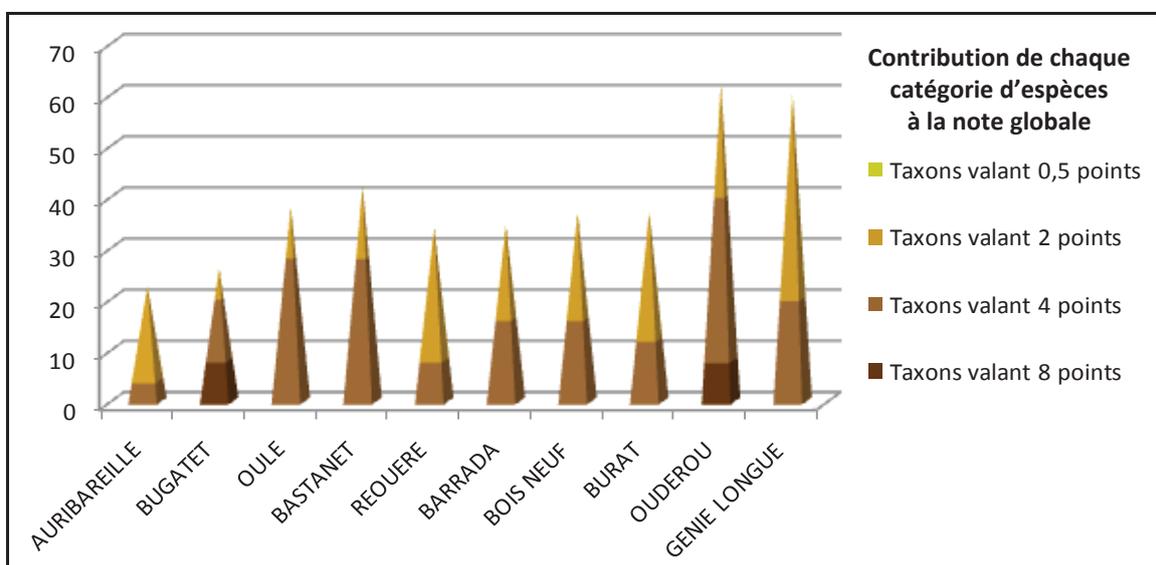


Figure 61 : Part des 4 catégories de taxons de lichens dans la note globale de chaque site. La couleur de la pyramide est claire si l'intérêt de la communauté est modéré, foncée s'il est fort.

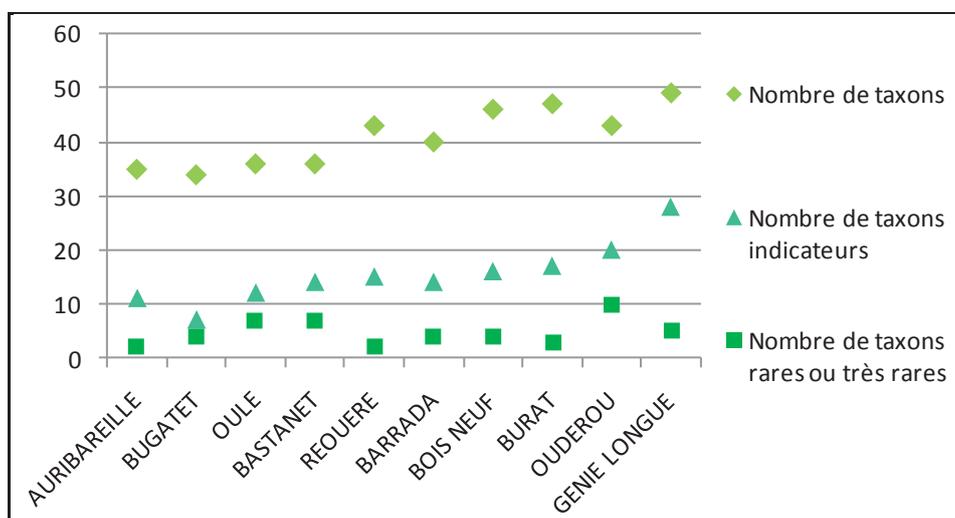


Figure 62 : Lichens rares ou très rares, indicateurs et totaux observés dans chaque site

Les sites présentent également de 9 à 11 (soit 30 à 40%) des espèces du *Lobarion pulmonariae* : 5 des 6 espèces réparties sur la plupart des sites (*Lobaria pulmonaria*, *Peltigera praetextata*, *Collema furfuraceum*, plus rarement *Degelia plumbea* et *Lobaria virens*), les 12 espèces représentées uniquement sur les 6 sites les plus riches (*Lobaria scrobiculata*, dans presque tous les sites, *Lobaria amplissima*, *Menegazzia terebrata*, *Sticta fuliginosa*, *S. limbata*, *Nephroma laevigatum*, *N. resupinatum*, *N. bellum*, *N. parile*, *Degelia atlantica*, dans tous les sites sauf Barrada, *Peltigera collina* et *Physconia distorta*, seulement à Barrada) et 6 espèces propres à un seul site (*Gyalecta ulmi*, *Collema nigrescens* et *Physconia venusta* à Barrada, *Sphaerosporus globosus* à Bois Neuf, *Pannaria conoplea* et *Parmelia tiliacea* à Oudérou).

On compte également 9 à 11 espèces colonisatrices de feuillus en sapinière (-hêtraie) et seulement 6 en sapinière. Il s'y ajoute 2 des 3 espèces des résineux, mais peu fréquemment. Ce sont des forêts de versant frais en général, relativement fermées, matures, peu exploitées, sauf récemment pour celle d'Oudérou dans laquelle les sapins de plus gros diamètre ont été prélevés en bordure du site environ 20 ans avant le relevé. Les volumes de bois total (mort et vivant) y sont forts à très forts (260 à 530 m³/ha en moyenne) ;

- la **hêtraie** de **Réouère**, avec un indice d'intérêt voisin de 100, une note globale proche de 30, un pourcentage d'espèces indicatrices de continuité écologique d'environ 40%, un nombre d'espèces de 45, 2 espèces rares ou très rares (*Menegazzia terebrata* et *Cladonia parasitica*). Il s'y ajoute 12 (soit 43%) des espèces du *Lobarion pulmonariae* : 4 des 6 espèces réparties sur la plupart des sites (*Lobaria pulmonaria*, *Peltigera praetextata*, *Collema furfuraceum* et *Degelia plumbea*), 8 des 12 espèces représentées uniquement sur les 6 sites les plus riches (*Lobaria scrobiculata*, *L. amplissima*, *Peltigera collina*, *Physconia distorta*, *Menegazzia terebrata*, *Sticta fuliginosa*, *Nephroma laevigatum* et *N. resupinatum*), mais aucune espèce propre au site. Le relevé ne met en évidence la présence que de 7 espèces colonisatrices des feuillus. Ces données tiennent sans doute au fait que cette hêtraie est caractérisée par des conditions assez peu favorables aux lichens : des supports peu variés (un peu de chêne sessile, mais pas de sapin), une exposition chaude, de très gros arbres têtards issus d'une utilisation agro-pastorale de la forêt. Le volume de bois total (mort et vivant) est cependant important : 280 m³/ha en moyenne ;
- les **pineraies** de **Oule** et de **Bastanet**, avec un indice d'intérêt voisin de 90, une note globale proche de 40, un pourcentage d'espèces indicatrices de continuité écologique voisin de 30%, un nombre d'espèces de 35 et 7 des 22 espèces rares ou très rares (*Chaenotheca brunneola*, *C. xyloxena*, *Cladonia parasitica*, *Cyphelium tigillare*, *Hypogymnia vittata*, *Letharia vulpina* et *Xylographa parallela*). Ces sites ne possèdent par contre qu'1 (soit 4%) des espèces du *Lobarion pulmonariae* : *Cetrelia olivetorum*. Seules 7 espèces colonisatrices de feuillus ont été relevées sur ce site. Ces données traduisent des conditions peu favorables aux lichens : pineraies de substitution à des sapinières subalpines, dans lesquelles le sapin commence à se réinstaller naturellement, relativement ouvertes, en exposition chaude, présentant des volumes de bois total (mort et vivant) assez faibles, proches de 160 m³/ha en moyenne ;
- la **sapinière (-hêtraie)** de **Auribareille** et la **sapinière** de **Bugatet**, avec un indice d'intérêt compris entre 60 et 80, une note globale comprise entre 20 et 25, un pourcentage d'espèces indicatrices de continuité écologique compris entre 20 et 30%, un nombre d'espèces proche de 35 et seulement 1 à 4 des 22 espèces rares ou très rares (*Chaenotheca brunneola*, *Pertusaria flavida*, *Lobaria virens*, *Xylographa parallela*, *Arthonia graphidicola*). Il s'y ajoute cependant 2 à 3 (soit environ 10%) des espèces du *Lobarion pulmonariae*, mais seulement 5 des 6 espèces réparties sur la plupart des sites (*Lobaria pulmonaria*, *L. virens*, *Peltigera praetextata*, *Collema furfuraceum* et *Degelia plumbea*).

Les relevés montrent aussi 11 espèces des feuillus en sapinière (-hêtraie), mais seulement 4 en sapinière. Ces caractéristiques viennent peut-être du fait que, malgré des conditions paraissant favorables aux lichens dans les deux sites (situation fraîche, niveau de maturation forestière important, volumes de bois total (mort et vivant) moyens à très forts - 220 à 440 m³/ha) l'existence de zones ouvertes assez larges, soit suite à des avalanches (Bugatet), soit du fait de la dynamique de la végétation, pourrait constituer un élément défavorable.

Des tests statistiques ont été réalisés afin de mettre en évidence des relations entre les observations effectuées sur les lichens et les caractéristiques des sites (données dendrométriques, données stationnelles, dynamique de la végétation, ...). L'indicateur espèce le plus pertinent parmi ceux qui ont été testés paraît être le pourcentage de lichens indicateurs de continuité écologique. Il semble y avoir une relation positive entre cet indicateur et le volume total de bois (vivant et mort) moyen par hectare. La Figure 63 met cependant en évidence que trois sites (Auribareille, Bugatet et Barrada) montrent des pourcentages de lichens indicateurs de vieilles forêts nettement inférieurs aux valeurs attendues, compte tenu des volumes de bois total présents. Par contre, ces trois sites (Figure 63) et les sept autres, pris indépendamment, montrent des relations très nettes avec le volume de bois total. L'analyse du cortège lichénique de ces sites a montré l'originalité de Bugatet et Auribareille, et celle de Barrada dans son groupe. Pour les deux premiers, l'ouverture du couvert pourrait avoir une incidence sur le faible pourcentage d'espèces de vieilles forêts, mais pour Barrada, au peuplement très fermé, aucune explication satisfaisante n'a pu être avancée pour expliquer les écarts observés.

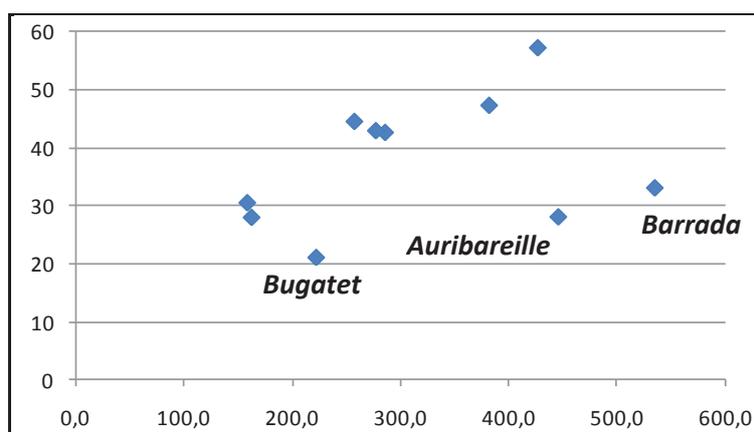


Figure 63 : Pourcentage de lichens indicateurs de vieilles forêts en fonction du volume total de bois vivant et de bois mort par hectare

d - conclusion

Il a été observé pour l'ensemble des sites 42% d'espèces indicatrices en référence à la liste proposée par Lorber (2006) complétée par les ajouts consécutifs à cette étude. Le choix des sites s'avère donc très pertinent. À ce stade des prospections, il est prématuré de donner une analyse phytosociologique fine des communautés lichéniques. On remarquera cependant que l'alliance du *Lobarion pulmonariae* Oschner 1928, caractéristique de continuité écologique, indicatrice de vieilles forêts, est bien représentée pour l'ensemble des sites (en général 30 à 40% de présence des espèces de l'alliance dans les relevés, avec un maximum à 60%), excepté pour Auribareille, Bugatet, Oule et Bastanet (seulement 5 à 10% de présence dans les relevés).

Une analyse croisée des espèces et des paramètres environnementaux met en évidence une corrélation positive entre le pourcentage de lichens indicateurs de continuité écologique et le volume total de bois (vivant et mort) moyen par hectare, même si trois sites montrent des pourcentages de lichens indicateurs de vieilles forêts nettement inférieurs aux valeurs attendues, compte tenu des volumes de bois total présents. Pour deux sites, l'ouverture du couvert pourrait avoir une incidence sur le faible pourcentage d'espèces de vieilles forêts, mais pour le troisième, au peuplement très fermé, aucune explication satisfaisante n'a pu être avancée. Ces conclusions restent cependant à valider par une comparaison de sites permettant l'acquisition d'un jeu de données plus complet.

Les sites étudiés devront faire l'objet d'une étude lichénologique soutenue afin de confirmer ou infirmer ces premiers résultats et affiner les observations et en particulier pour les microlichens. Ce travail présente plusieurs intérêts non négligeables pour la flore des lichens de France. En effet, quelques espèces très rares et de répartition peu connue ont été observées. De plus, ce travail a permis de compléter de 12 lichens la liste d'espèces indicatrices de vieux peuplements, proposée par Lorber en 2006.

2.3.4.4. Champignons saproxyliques (contributeurs : G. CORRIOL & C. HANNOIRE, CBN PMP)

a- introduction

Les champignons sont des organismes omniprésents dans la plupart des écosystèmes terrestres. En forêt, ils représentent une des parts les plus importantes de la biodiversité taxonomique, avec les invertébrés (Figure 64). Sur un total d'environ 20 000 espèces répertoriées en France (Courtecuisse, 2008), on peut évaluer que les forêts en hébergent environ les trois quarts. Leur rôle au sein des écosystèmes forestiers est fondamental au point que sans champignons, la forêt ne pourrait se constituer ni survivre.

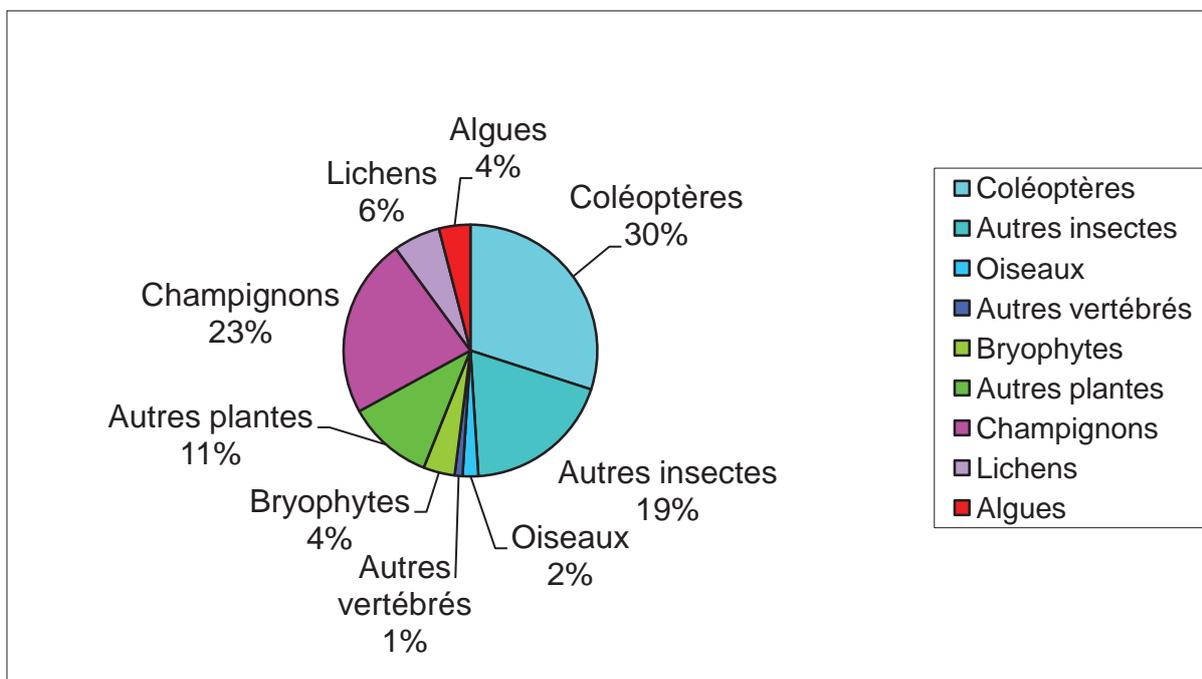


Figure 64 : Biodiversité taxonomique en forêt feuillue tempérée : exemple des inventaires en forêt de Fontainebleau (incluant des réserves intégrales de hêtraie – chênaie sessiliflore subnaturelle) (Vallauri & Poncet, 2003). Ces chiffres indicatifs sont à relativiser en fonction des faits (1) que le nombre d'espèces de plantes vasculaires (1350) est largement surévalué si l'on ne considère que la flore véritablement forestière du massif de Fontainebleau, (2) que l'effectif en matière de champignons est un état de la connaissance partiel, (3) que certains groupes d'invertébrés n'ont pas été comptabilisés.

Parmi les espèces forestières, de très nombreuses sont liées à la nécromasse, qu'elles décomposent : humus, litière, bois mort. La composition des communautés de ces champignons est dépendante des essences présentes, des conditions microclimatiques, des phases dynamiques de la sylvigénèse, de la qualité, la quantité et la continuité de la ressource de nécromasse (en particulier de bois mort), de la continuité historique des massifs forestiers et de leur cohésion (Heilmann-Clausen, 2001 ; Berglund & Jonsson, 2003 ; Heilmann-Clausen & Christensen, 2003, 2005 ; Heilmann-Clausen *et al.*, 2004 ; Penttilä *et al.*, 2006).

C'est parmi les espèces saproxyliques¹ que l'on constate le plus grand nombre d'espèces menacées, à populations très fragmentées, dont de nombreuses sont liées aux phases terminales de la sylvigénèse et à des stocks de bois mort importants (Bader *et al.*, 1995 ; Renvall, 1995 ; Berg *et al.*, 2002 ; Łuszczynski, 2003 ; Heilmann-Clausen & Christensen 2004 ; Penttilä *et al.*, 2004 ; Ódor *et al.*, 2006 ; Lonsdale *et al.*, 2008 ; Dahlberg *et al.*, 2010). En France, comme dans la majorité des pays d'Europe, ces phases dynamiques sont très peu représentées. La densité des très gros arbres porteurs de micro-habitats et les volumes de bois mort reposant en forêt sont généralement très faibles au regard de ce qu'on peut trouver dans les forêts les moins exploitées (Koop & Hilgen, 1987 ; Nilsson *et al.*, 2002 ; Vallauri *et al.*, 2003 ; Christensen *et al.*, 2005 ; Oheimb *et al.*, 2005 ; Winter *et al.*, 2005 ; Whitman & Hagan, 2007 ; Winter & Möller, 2008 ; Holeksa *et al.*, 2009 ; Larrieu *et al.*, 2009 ; Bauhus *et al.*, 2009).

Les forêts pyrénéennes remarquables sélectionnées pour cette étude présentent vraisemblablement les caractéristiques requises pour une bonne expression de la biodiversité liée à leur naturalité, leur ancienneté ou la diversité des micro-habitats et la quantité de nécromasse. Pour toutes ces raisons, la prise en compte des champignons dans leur évaluation s'avère incontournable.

b - matériel et méthode

Surfaces étudiées : sur chacun des sites sélectionnés dans le cadre du projet, un périmètre homogène d'un point de vue de la maturité des peuplements forestiers a été prospecté. Ce périmètre a été choisi le plus grand possible en fonction de ces contraintes et des contraintes d'accès. Il a systématiquement inclus les localités de pose de pièges entomologiques. La surface est de l'ordre de quelques milliers de mètres carrés. Toujours au sein de ce périmètre et successivement à la prospection des zones à pièges, des secteurs favorables au développement de carpophores ont été visités : vallons frais et proximité de cours d'eau, parties à couvert plus dense, densité importante de substrat. Une exception a été faite pour le site du Burat pour lequel deux secteurs distants ont été prospectés : Burat –Tucoulets, et Burat – Piches.

Pression d'observation : chacun des sites a fait l'objet d'un minimum de 3 prospections réparties sur les années 2008 et 2009 entre mi-août et fin octobre. Des contacts avec d'autres experts sur place ont facilité le déclenchement des sorties à des périodes propices à l'apparition des carpophores. Quelques données complémentaires ont été collectées lors de la mise en place de la méthodologie sur le terrain (printemps), ou par les autres experts. Les sites d'Auribareille et du Burat ont en outre bénéficié respectivement d'une prospection préliminaire en fin d'été 2006, et d'une prospection complémentaire à l'automne 2009, réalisée sur le secteur Burat - Piches.

Champ taxonomique : les champignons saproxyliques appartenant aux *Agaricomycetidae*, et aux *Aphylophoromycetidae* à hyménophore non lisse (porés, hydnoïdes, clavarioides) ont été étudiés de façon exhaustive. Les champignons terricoles (Basidiomycètes et Ascomycètes) ont été partiellement étudiés, à des fins d'inventaire général.

¹ Terminologie issue des travaux d'entomologistes en biologie de la conservation [voir Bouget *et al.*, 2005], mais parfaitement adaptée aux organismes qui nous concernent ici, incluant des champignons lignicoles saprotrophes ou parasites, corticoles, épixyles, parasites de champignons, de lichens ou de bryophytes lignicoles, sapro-humicoles d'accumulation... et qui partagent certaines problématiques de conservation.

Détermination, herbier : les espèces triviales ont été identifiées sur le terrain. Les autres espèces ont fait l'objet de prélèvements pour étude au laboratoire à l'aide d'un microscope équipé d'un objectif à immersion et des réactifs microchimiques requis. Une large littérature spécialisée a été utilisée pour l'identification des échantillons. Des échantillons de référence ont été conservés en herbier (BBF) et personnel (GC) pour les récoltes intéressantes et/ou problématiques, présentes en quantité et en qualité suffisantes.

Données : l'ensemble des données a été saisi et cartographié dans les bases de données *Flora Pyrenaica / Geoflora* du CBNPMP. Les comparaisons inter-placettes sont réalisées uniquement sur la base des espèces qui ont été observées avec un comportement saproxylique et sur la base des relevés cumulés par site (en présence). Les espèces observées dans les débris ligneux amassés au sol, y compris les espèces d'ordinaire mycorhiziques, ont été traitées avec l'ensemble des espèces saproxyliques.

Bien qu'appartenant au même site, les secteurs de Burat – Tucoulets et Burat – Piches ont été traités séparément car ils présentent des caractéristiques différentes (stationnelles et de peuplement). Le tableau a été diagonalisé manuellement afin de comparer les différents sites en fonction des communautés de champignons saproxyliques observées. Les commentaires concernant la rareté et la répartition des espèces font référence au travail d'état des lieux mené par le CBNPMP à partir de 2003 (Corriol *et al.*, 2004 ; Hannoire, 2006 ; base de donnée *Flora* du CBNPMP ; liste préliminaire des champignons déterminants pour la modernisation des ZNIEFF de Midi-Pyrénées (Remaury *et al.*, 2004)), complété de notre expertise.

Un indice d'intérêt des communautés fongiques saproxyliques est calculé pour chaque site à partir d'un système de bioévaluation en cours de construction (Corriol, inédit). Une liste des espèces bioindicatrices a été établie à partir des données de divers auteurs : Christensen *et al.* (2004) pour les réserves de hêtraies européennes, Ainsworth (2004) pour les hêtraies britanniques, Nitare (2000) pour les forêts suédoises, Dahlberg & Croneborg (2003) pour les espèces de la Convention de Berne, Tortič (1998) pour les hêtraies-sapinières yougoslaves, Adamcik *et al.* (2007) pour les hêtraies slovaques et les observations effectuées sur les 10 sites étudiés ici. La liste préliminaire compte 262 champignons saproxyliques indicateurs de sapinières naturelles à forts enjeux de conservation (annexe 13). A chaque taxon figurant sur la liste est associée une note, attribuée suivant une échelle allant de 0,5 à 8 points, selon sa rareté et son intérêt en tant que bioindicateur :

- RRR-RR, essentiellement dans les vieilles forêts à fort volume de bois mort : 8 points
- RR-R, essentiellement dans les vieilles forêts à fort volume de bois mort : 4 points
- R, essentiellement dans les forêts à fort volume de bois mort : 2 points
- AC-R, mais beaucoup plus fréquent dans les vieilles forêts à fort volume de bois mort : 0,5 point

La note attribuée à un site correspond à la somme des notes des taxons de la liste, dont on a pu noter la présence sur le site. L'indice d'intérêt pour un site correspond à la note du site rapportée au nombre de taxons saproxyliques total observé, le tout multiplié par 100 :

$$\text{Indice}_{\text{site1}} = \frac{(\text{Note}_{\text{taxon1}} + \text{Note}_{\text{taxon2}} + \dots + \text{Note}_{\text{taxonN}}) \times 100}{\text{Nombre de taxons saproxyliques}_{\text{site1}}}$$

Le pourcentage d'espèces remarquables (taxons cotés entre 0,5 et 8) par site a également été calculé en rapportant le nombre d'espèces cotées au nombre total d'espèces observées sur le site.

Les relevés élémentaires d'espèces terricoles et leur synthèse par site sont présentés en annexe, comme compléments d'information.

c - résultats et discussion

Au total, près de 500 espèces de champignons ont été recensées sur l'ensemble des dix sites d'étude, dont 303 taxons saproxyliques (63%) et 178 taxons non saproxyliques. Parmi les espèces saproxyliques recensées, 66 (soit 20%) appartiennent à la liste des espèces de champignons saproxyliques bioindicateurs, caractéristiques de vieilles forêts (annexe 14), et 58 (soit 19%) sont déterminantes pour le classement en ZNIEFF en Midi-Pyrénées. Parmi ces dernières, on compte 16 espèces rares et 4 espèces très rares.

Les résultats complets d'inventaire par site sont présentés en annexe :

- annexe 15 : tableau synthétisant les communautés saproxyliques observées par site et comparaison des sites entre eux
- annexe 16 : tableau détaillé des relevés de champignons saproxyliques
- annexe 17 : tableau détaillé des relevés concernant les autres champignons observés
- annexe 18 : tableau synthétique présentant les autres champignons par site

Les communautés saproxyliques observées comprennent entre 20 taxons (pineraie de Bastanet) et 108 taxons (forêt feuillue de la Génie Longue). Les écarts observés sont dépendants (1) des habitats forestiers considérés (les forêts feuillues sont naturellement plus diversifiées), (2) de la naturalité (maturité, micro-habitats, nécromasse), (3) des conditions topo- et microclimatiques et (4) des difficultés d'échantillonnage. Sur ce dernier point, il faut signaler les conditions météorologiques très défavorables en 2008 et relativement peu favorables en 2009 pour la croissance des carpophores. De ce fait, les inventaires restent largement incomplets. La pineraie subalpine de Bastanet est très sous-échantillonnée compte-tenu des conditions climatiques locales accentuant le niveau de dessiccation des substrats.

Le tri du tableau (annexe 15) permet de séparer les sites en 4 catégories (voir aussi, Figure 65, le nombre de taxons saproxyliques et l'Indice d'intérêt saproxylique par site ; Figure 66, la part des 4 catégories de taxons saproxyliques bio-indicateurs dans la note globale de chaque site).

- 1) la **pineraie subalpine** de **Bastanet**, avec une très faible richesse spécifique, composée notamment d'un ensemble d'espèces pinicoles (*Phaeolus schweinitzii*, *Pholiota pinicola*, *Sparassis crispa*) ou xérotolérantes (*Gloeophyllum trabeum*, *Neolentinus lepideus*). L'indice saproxylique calculé s'élève cependant à 28. Ceci s'explique par la présence d'un bioindicateur fortement côté (*Resupinatus striatulus*), relativement au faible nombre de taxons saproxyliques observés (Figure 66). Il est probable toutefois que l'indice soit voué à évoluer sensiblement avec l'amélioration de la connaissance, actuellement très partielle, des mycocénoses de ce site.
- 2) les **sapinières (-hêtraies)** dont on peut dégager une communauté saproxylique du sapin composée de *Arrhenia epichysum*, *Bondarzewia montana*, *Callistosporium xanthophyllum*, *C. grossula*, *Clitocybula lacerata*, *Cortinarius lignicolus*, *Entoloma placidum*, *Entoloma pluteisimilis*, *Galerina triscopa*, *Ganoderma carnosum*, *Gymnopilus bellulus*, *G. hybridus*, *G. liquiritiae*, *G. picreus*, *Gyromitra infula*, *Hericium flagellum*, *Heterobasidion* cf. *abietinum*, *Hydropus marginellus*, *Hymenochaete cruenta*, *Hypholoma capnoides*, *H. marginatum*, *Hypsizygus tessellatus*, *Ischnoderma benzoinum*, *Lentinellus castoreus* var. *tomentellus*, *Lichenomphalia umbellifera*, *Mycena epipterygia* var. *atroviscosa*, *M. rubromarginata*, *M. stipata*, *Neolentinus adhaerens*, *Oligoporus caesius*, *Phellinus hartigii*, *Pholiota astragalina*, *Pluteus pouzarianus*, *P. primus*, *P. tricuspoidatus*, *Pseudohydnum gelatinosum*, *Pseudoplectania vogesiaca*, *Setulipes androsaceus*, *Stereum sanguinolentum*, *Trichaptum abietinum*, *Tricholomopsis decora*, *T. rutilans*.

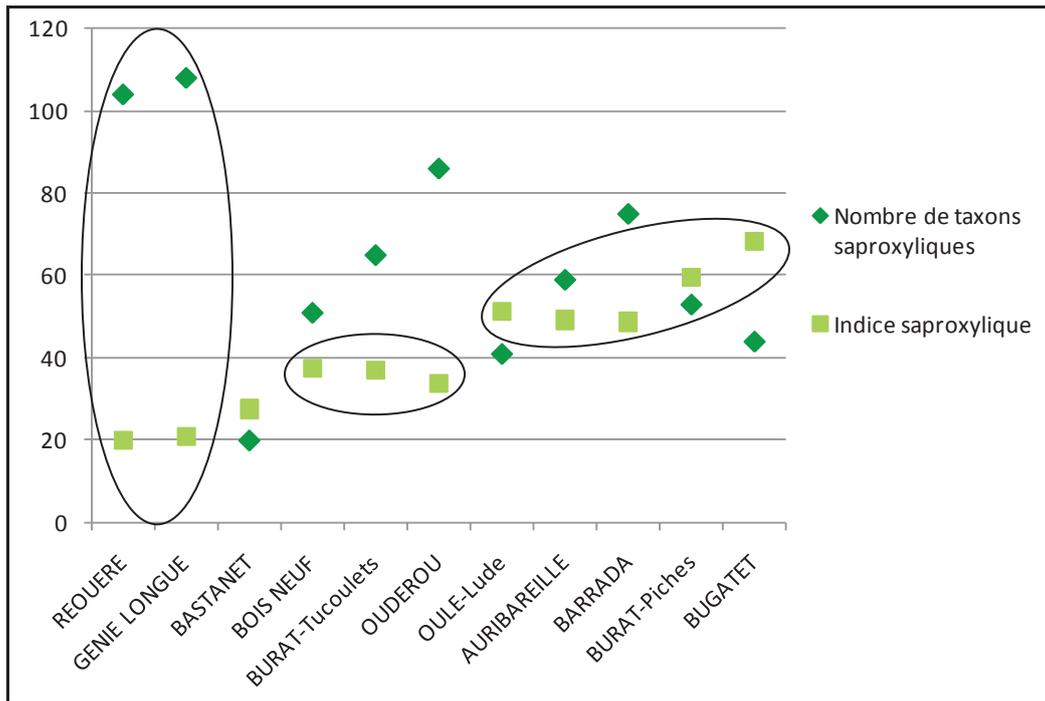


Figure 65 : Nombre de taxons saproxyliques observés dans chacun des 10 sites, et Indice d'intérêt saproxylique.

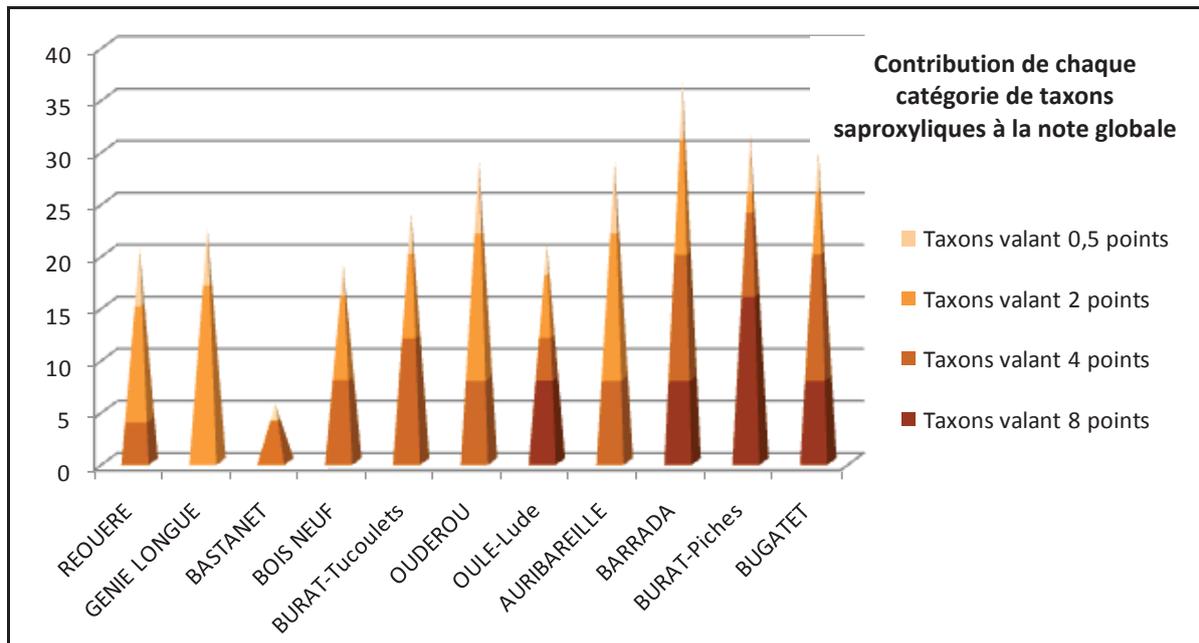


Figure 66. Part des 4 catégories de taxons saproxyliques indicateurs dans la note globale des sites

La couleur de la pyramide est claire si l'intérêt de la communauté saproxylique est modéré, foncée s'il est fort

A noter : dans ce graphique, l'ordonnée représente la note du site et non pas l'indice corrigé (à savoir l'Indice saproxylique, qui est, quant à lui, rapporté au nombre total de saproxyliques)

La communauté saproxylique du hêtre est plus discrète du fait de la faible représentation de cette essence sur les sites. On peut en apercevoir la composition suivante : *Armillaria cepistipes* f. *pseudobulbosa*, *Bjerkandera adusta*, *Crepidotus applanatus*, *Fomes fomentarius*, *Ganoderma applanatum*, *Kuehneromyces mutabilis*, *Marasmius alliaceus*, *Mycena crocata*, *M. haematopus*, *M. renatii*, *M. romagnesianae*, *Oudemansiella mucida*, *Panellus serotinus*, *P. stypticus*, *Pholiota squarrosa*, *Pluteus phlebophorus*, *Pycnoporus cinnabarinus*, *Stereum rugosum*, *Trametes gibbosa*, *T. hirsuta*.

Dans cet ensemble de sites, il semble se dégager deux sous-ensembles avec :

- a) les placettes à fort indice saproxylique : **Oule – Pinède de Lude**, **Auribareille**, **Barrada** et **Burat – Piches**, dont les indices calculés gravitent autour de 50 (atteignant 59 pour Burat – Piches), ainsi que Bugatet, avec l'indice saproxylique maximal s'élevant à 68. Pour cette dernière placette, la forte valeur de l'indice est liée à la fois au nombre assez faible de saproxyliques observés (dénominateur faible), et à la forte proportion de saproxyliques très remarquables (valant 4 ou 8 points, tels que *Lentinellus castoreus* var. *tomentellus*, *Hypsizygus tessellatus*, *Hericium flagellum*, *Gymnopilus bellulus*). Ceci pourrait notamment s'expliquer par la particularité que présente ce site de concentrer dans un secteur réduit de la placette les substrats les plus favorables.

Leur richesse spécifique varie fortement ; elle est respectivement de 41, 59, 75 et 53 taxons (Bugatet mis à part). De façon logique, la diversité la moins importante parmi ces quatre placettes concerne le site dépourvu ou presque d'essence feuillue (en particulier de hêtre), à savoir Oule – Pinède de Lude.

Pour les trois autres sites, dont l'intérêt des communautés saproxyliques est comparable, il se pourrait que les différences de nombre de taxons saproxyliques observés soient d'avantage liées à des biais d'observation qu'à la richesse réelle des sites.

- b) **Oudérou**, **Bois Neuf** et **Burat – Tucoulets**, à indice saproxylique calculé de 34, 37 et 37 respectivement. Avec par ailleurs 51 taxons saproxyliques observés, Bois Neuf apparaît comme le site le moins remarquable parmi les sapinières (-hêtraies). Oudérou est classé premier parmi les sapinières (-hêtraies) au regard de sa richesse spécifique en saproxyliques, mais présente un indice d'intérêt parmi les plus faibles. En effet, de nombreux taxons figurant sur la liste proposée des bioindicateurs ont été répertoriés mais finalement peu d'entre eux parmi les plus cotés.

Il faut cependant relativiser ce tri du fait de l'échantillonnage trop partiel. On remarquera notamment que des taxons à forts enjeux de conservation se retrouvent dans les deux sous-catégories, par exemple *Hypsizygus tessellatus*, *Hericium flagellum* et *Gymnopilus bellulus*.

Un des résultats élémentaires demeure que tous les sites de ce groupe montrent des intérêts élevés en termes de conservation des champignons saproxyliques. Les éléments les plus remarquables sont :

- sur sapin :

Bondarzewia mesenterica (déterminant) ;
Callistosporium xanthophyllum (f. *minor*) (la quasi-totalité des données régionales provient de cette étude ; déterminant) ;
Clitocybula familia (f. *compressa*) (2^{ème} donnée pour la région, la précédente observation date de 1967 à Sait-Pé-de-Bigorre, très rare en France ; déterminant)
Entoloma byssisedum var. *microsporium* (rare) ;
Entoloma placidum (à Bugatet et Barrada, 3^{ème} et 4^{ème} données pour la région ; déterminant) ;
Entoloma pluteisimilis (**nouveau pour la France**, à Barrada et Burat – Piches ; Figure 67),
Gymnopilus bellulus (déterminant) ;
Hericium flagellum (déterminant ; Figure 67) ;
Hydropus atramentosus (à Burat - Piches, 4^{ème} station régionale, rare en France) ;
Hydropus marginellus (déterminant) ;
Hypsizygus tesselatus (à Bugatet et Oudérou, deux seules données récentes pour la région, rare en France ; Figure 67) ;
Lentaria mucida (à Auribareille, rare) ;
Lentinellus castoreus var. *tomentellus* (à Oule – Pinède de Lude, Bugatet et Burat - Piches ; déterminant, **très rare en France**) ;
Pseudoplectania vogesiaca (déterminant) ;
Ramaria cf. *canobrunnea* (à Oule – Pinède de Lude, **1^{ère} récolte française présumée** ; Figure 67) ;
Sparassis nemecii (rare en France) ;
Tubaria confragosa (à Bugatet, 3^{ème} donnée pour la région ; rare en France ; déterminant),

- sur hêtre :

Entoloma jahnii (à Auribareille, **nouveau pour la France**) ;
Ischnoderma resinotum (observé à Burat – Tucoulets, rare dans la région) ;
Psathyrella hydrophiloides (espèce nouvelle pour la région, observée à Burat - Piches et à Génie Longue),

- et sur autres feuillus :

Lentinellus bisus (2^{ème} donnée régionale ; déterminant ; sur *Sorbus aucuparia*)
Psathyrella narcotica (1^{ère} donnée régionale ; sur feuillu indéterminé)
Psathyrella pseudocasca (1^{ère} donnée pour Midi-Pyrénées ; sur *Betula*).

- 3) La **hêtraie à hêtres têtards** de **Réouère**, avec une richesse spécifique élevée due au substrat feuillu, mais une composition de la communauté saproxylique assez banale, hormis :
- *Flammulaster limulatooides* (assez rare) ;
 - *Hydropus trichoderma* (rare en France ; déterminant ; également observé à Génie Longue) ;
 - *Inonotus nodulosus* (rare dans la région) ;
 - *Lentinellus ursinus* (assez rare en France mais relativement bien représenté dans les Pyrénées ; déterminant) ;
 - *Resupinatus applicatus* (espèce rare, souvent nommée à tort) ;
 - ainsi qu'une certaine diversité dans le genre *Pluteus* (9 espèces).

L'indice saproxylique calculé s'élève à 20.



Entoloma pluteisimilis
Noordel. & C.E. Hermos.

Espèce nouvelle pour la France, présente dans les sites de Barrada et Burat.

Photo : Carole HANNOIRE, CBN PMP



Hypsizygus tessellatus (Bull. : Fr.) Sing.
Ci-dessus, sur *Abies* ; à droite, détail

Rare en France ; les sites de Bugatet et Oudérou représentent les deux seules données récentes pour la région.

Photo : Carole HANNOIRE, CBN PMP

Figure 67. Quelques espèces de champignons saproxyliques sur sapin, indicatrices de vieille forêt, observées dans les 10 sites étudiés.

Ramaria cf. canobrunnea Schild

Espèce présumée nouvelle pour la France, récoltée dans le site de Oule.

Photo : Carole HANNOIRE, CBN PMP



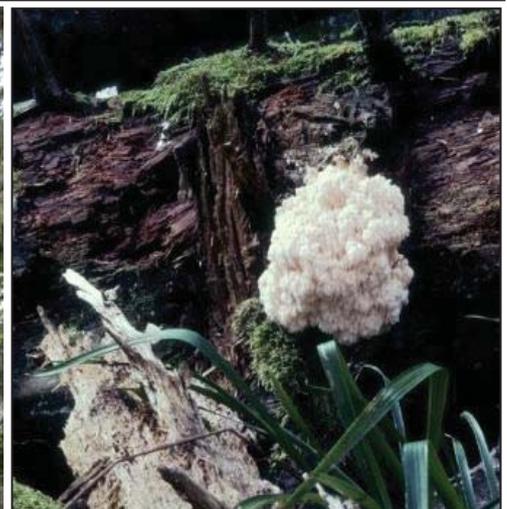


Chrysomphalina grossula (Pers.) Norvell, Redhead & Ammirati, espèce relativement courante, présente dans les sites de Burat-Piches, Oudérou et Auribareille.

Photo : Carole HANNOIRE, CBN PMP

Ischnoderma benzoinum (Wahlenb.) P. Karst, espèce relativement courante, présente dans tous les sites sauf Bastanet, Réouère et Génie Longue, c'est-à-dire tous ceux dans lesquels le sapin est abondant.

Photo : Carole HANNOIRE, CBN PMP



Hericium flagellum (Scop.) Pers., espèce assez rare à rare, présente dans les sites de Auribareille, Barrada, Bugatet, Oule-Lude et Bois Neuf.
Photos : Claude BERDUCOU ; Gilles CORRIOL, CBN PMP

Figure 66 (suite). Quelques espèces indicatrices de vieille forêt, observées dans les 10 sites étudiés.

- 4) La hêtraie de **Génie Longue** (forêt principalement feuillue) qui présente une forte richesse spécifique et une communauté saproxylique très originale, mais où les espèces connues comme bioindicatrices des vieilles forêts à forte naturalité sont peu représentées (indice saproxylique de 21). Ceci est vraisemblablement lié à la l'exploitation passée importante (malgré les conditions topographiques défavorables) et au déficit en arbres de gros diamètre. La communauté observée, fortement caractérisée par un riche cortège d'espèces rares et mal connues, peut être liée aux conditions climatiques locales très particulières, comme nous l'avons déjà suggéré dans d'autres travaux consacrés aux Génies de Saint-Pé-de-Bigorre (Corriol & Moreau, 2007 ; Corriol & Vivant, 2010), à savoir une humidité forte et constante, conjuguées à l'abondance et la diversité des substrats ligneux accumulés au fond du ravin pour des raisons topographiques.

Ainsi les résultats obtenus sont intéressants pour dresser un premier portrait d'une communauté saproxylique hyper-hygrosciaphile, atlantique, des bois de feuillus avec en particulier : *Agrocybe firma*, *A. ombrophila* (1^{ère} donnée régionale), *Arrhenia acerosa* var. *tenella* (1^{ère} donnée régionale), *Bolbitius aleuriatus*, *Cheimonophyllum candidissium*, *Coprinus laanii* (1^{ère} donnée pour le 65), *Crepidotus crocophyllus*, *C. erhendorferi* (seul site connu dans la région), *Flammulaster denticulatus*, *F. wieslandrii* ss. *M. Bon* (1^{ère} donnée régionale), *Hydropus subalpinus*, *H. trichoderma*, *Mycena leptophylla*, *Mycenella margaritispota* (1^{ère} donnée régionale), *M. aff. variispota*, *Pachyella violaceonigra*, *Peziza obtusoapiculata* (1^{ère} donnée régionale), *Psathyrella hydrophiloides*, *Psathyrella narcotica* (1^{ère} donnée régionale ; sur feuillu indéterminé), *P. pygmaea*, *Resupinatus alboniger*, *Rugosomyces hebelomoides* ss. *M. bon* (1^{ère} donnée régionale), *Scutellinia setosa* (1^{ère} donnée pour le 65), *Simocybe rubi*. Un *Entoloma* non identifié (section *Leptonia*, inédit ?) pourrait être ajouté à ce cortège.

Quelques espèces saprotrophes humicoles méritent aussi d'être citées :

- Collybia fuscopurpurea* (à Réouère, 1^{ère} donnée pour le 31) ;
- Gyromitra gigas* (à Bois Neuf, 1^{ère} donnée pour le 31 ; déterminant) ;
- Phaeogalera medullosa* (à Auribareille, 1^{ère} donnée pour la région ; déterminant) ;
- Psathyrella spintrigeroides* (à Oudérou, 2^{ème} donnée régionale, 1^{ère} pour le 65) ;
- Rugosomyces onychina* (à Oule – Pinède de Lude, 1^{ère} donnée pour le 65 ; déterminant) ;
- Tephroclybe inolens* (à Bugatet, 1^{ère} donnée régionale) ;
- Volvariella hypopithys* (à Génie Longue, connue d'une seule autre localité dans la région).

Enfin, deux espèces mycorhiziques méritent aussi d'être citées comme observations intéressantes :

- Chroogomphus helveticus* var. *tatrensis* (à Oule – Pinède de Lude et Bois Neuf ; 1^{ères} données pour la région) ;
- Onnia tomentosa* (à Oule – Pinède de Lude ; rare et déterminant).

A titre de comparaison en terme d'intérêt pour la conservation des champignons saproxyliques, on peut donner les scores obtenus par :

- une hêtraie (-sapinière) surexploitée (mais de longue continuité forestière) où le sapin est quasiment absent, dans la vallée d'Orlu en Ariège, avec un indice saproxylique de 11,5 (Corriol et al., 2006, inventaires sur trois ans) ;
- une hêtraie en réserve naturelle avec des arbres sur-mâtures en forêt de la Massane, avec un indice saproxylique de 45,5 (Corriol & Hannoire, 2007, inventaires sur de nombreuses années).

De toute évidence, les inventaires réalisés sur les placettes pyrénéennes restent partiels, et, compte-tenu du potentiel très élevé avéré au moins sur les placettes de sapinières (-hêtraies), des compléments d'inventaire permettraient sans doute de découvrir d'autres espèces caractéristiques des forêts anciennes mûres. A titre d'exemple, on peut citer le très rare *Gymnopilus josserandii* sur sapin, à ce jour connu d'un seul site dans les Pyrénées (Corriol, 2005) ou l'emblématique *Floccularia decorosa* sur hêtre, également connu d'un unique site dans les Pyrénées (Corriol *et al.*, 2008). Toutefois, il faut noter que le cortège saproxylique du hêtre est bien moins exprimé dans les forêts étudiées que celui du sapin, du fait probable de l'historique de gestion sur la plupart des sites (hormis les sites subalpins). En effet, on remarquera l'absence dans nos relevés de plusieurs espèces caractéristiques des vieilles hêtraies comme *Hericium clathroides*, *Hohenbuehelia auriscalpium*, *Inonotus cuticularis*, *Ossicaulis lignatilis*, *Pholiota squarrosoides*... (Christensen *et al.*, 2004 ; Heilmann-Clausen & Walley, 2007).

On peut donc considérer que le cortège potentiel de ces sapinières (-hêtraies) est actuellement tronqué par la passé sylvicole (faible représentation et discontinuité de la ressource en substrat ligneux de hêtre).

Des tests ont été réalisés afin de mettre en évidence des relations entre les données recueillies sur les champignons saproxyliques et les caractéristiques des sites (données stationnelles, données dendrométriques, abondance et qualité du bois mort, dynamique de la végétation, ...). Il existe une relation positive relativement nette entre le nombre total d'espèces saproxyliques observées et la diversité des habitats liés au bois mort et aux arbres sénescents (voir § 2.3.3.4.h et Figure 45), sauf pour le site de Burat où le nombre d'espèces est faible par rapport à la forte diversité en habitats (Figure 68).

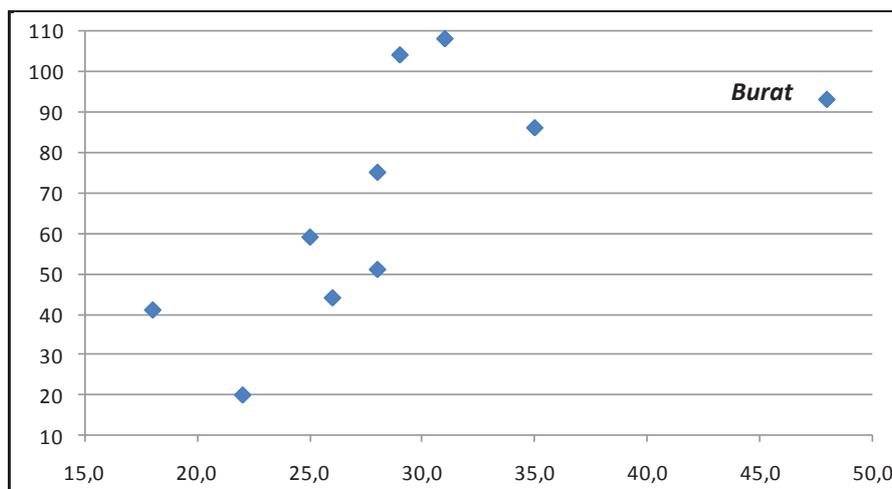


Figure 68. Nombre d'espèces de champignons saproxyliques en fonction de la diversité des habitats liés au bois mort et aux arbres sénescents

L'indicateur le plus pertinent parmi ceux qui ont été testés paraît être le pourcentage d'espèces remarquables, caractéristiques de vieilles forêts (Figure 69). Il existe une relation positive nette entre cet indicateur et le volume total de bois mort (au sol et debout) moyen par hectare. La Figure 70 met cependant en évidence qu'un site (Bugatet) montre un pourcentage d'espèces indicatrices de vieilles forêts nettement supérieur à la valeur attendue, compte tenu du volume moyen de bois mort total présent sur ce site (67 m³/ha, contre 90 à 230 m³/ha dans tous les autres sites, sauf Réouère). On remarquera que c'est le site qui présente le plus fort indice saproxylique, malgré un nombre d'espèces assez limité. Comme signalé plus haut dans l'analyse des cortèges mycologiques, il présente également la particularité de concentrer dans un secteur réduit de la placette de relevé les substrats les plus favorables, ce qui expliquerait que, malgré un volume moyen de bois mort, il possède un pourcentage d'espèces de vieilles forêts comparable à celui d'un site qui aurait environ 200 m³/ha de bois mort.

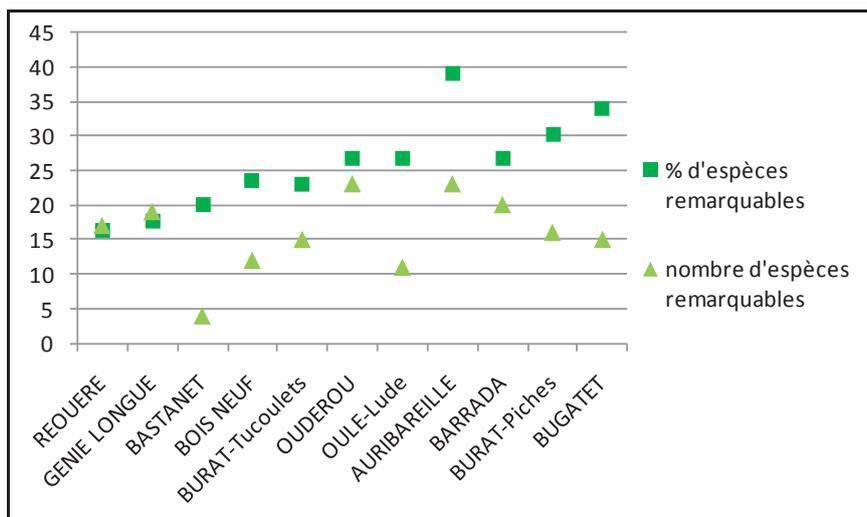


Figure 69. Nombre et pourcentage d'espèces remarquables indicatrices de vieilles forêts par site.

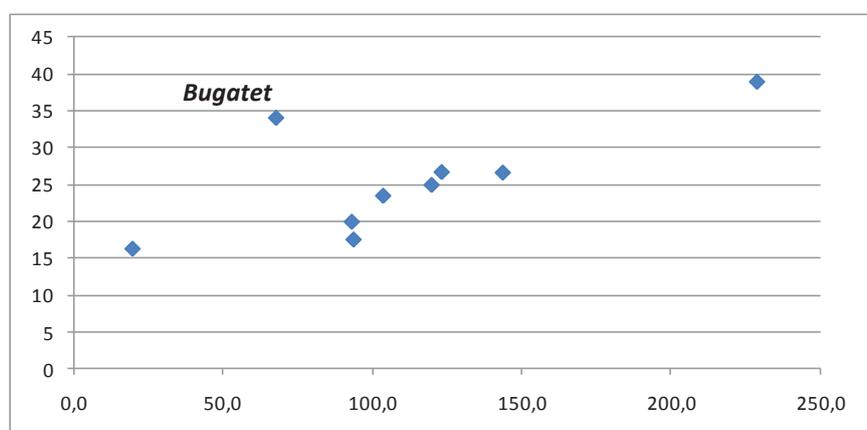


Figure 70. Pourcentage d'espèces indicatrices de vieilles forêts en fonction du volume total de bois mort (en m³/ha)

Il existe également une relation positive nette entre le pourcentage d'espèces de vieilles forêts et la diversité du bois mort, évaluée par le volume de bois mort aux stades de saproxylation 1 à 5 (Figure 71). Là encore le site de Bugatet montre un pourcentage d'espèces indicatrices de vieilles forêts nettement supérieure à la valeur attendue, compte tenu de la valeur du volume moyen de bois mort par stade de saproxylation. La même explication que précédemment peut être avancée.

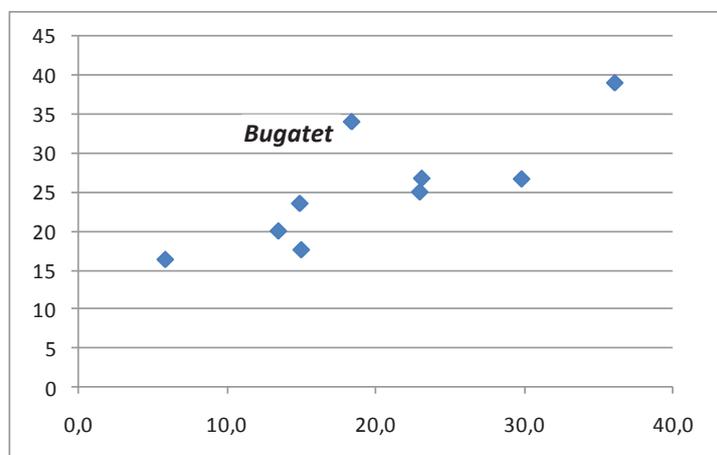


Figure 71. Pourcentage d'espèces indicatrices de vieilles forêts en fonction de la diversité du bois mort (stades de saproxylation 1 à 5).

d - conclusion

Les sites sélectionnés s'avèrent répondre pour la plupart à des enjeux de conservation élevés en ce qui concerne les champignons saproxyliques : l'ensemble des sites de sapinières (-hêtraies) par des cortèges remarquables d'espèces exigeantes en terme de naturalité, le site de Génie Longue par les caractéristiques très particulières au niveau topographique et climatique. Seule la hêtraie de Réouère s'avère relativement décevante dans l'état actuel de la connaissance. La pineraie de Bastanet ne peut être correctement évaluée sur la base du faible nombre d'observations effectuées mais leur intérêt encourage à y renouveler des inventaires.

Le travail de Tortič (1998) constitue une base de travail intéressante concernant les Aphylophorales des sapinières d'Europe centrale. Un résultat important de notre étude est de donner un nouvel état de référence de la composition de la communauté fongique saproxylique du sapin à partir de plusieurs sites à forte naturalité du versant nord des Pyrénées. En effet, on ne dispose pas à ce jour d'une connaissance comparable à celle développée ces dernières années sur les communautés fongiques saproxyliques du hêtre à travers l'Europe (Ainsworth, 2004 ; Christensen *et al.*, 2004 ; Heilmann-Clausen & Christensen, 2003, 2005 ; Adamčík *et al.*, 2007 ; Deconchat *et al.*, 2007 ; ...) et dans les Pyrénées (Heilmann-Clausen & Walley, 2007 ; Corriol & Hanoire, 2007), ou de l'épicéa, principalement sur la base de travaux en Europe du nord (Bader *et al.*, 1995 ; Nitare, 2000 ; Penttilä *et al.*, 2004 ; Niemelä *et al.*, 2005).

On peut considérer comme une perspective intéressante de prolonger l'étude des sites de sapinières (-hêtraies) sélectionnés et d'augmenter l'échantillonnage sur d'autres sites pyrénéens, dans l'objectif de compléter la connaissance de cette mycocœnose et dans celui d'évaluer une diversité de sites sur ces premières bases.

Remerciements

Merci à l'Association Mycologique de Bigorre et en particulier à Bernette Rivault, Germaine Dubrana et Robert Cazenave pour leur fidèle appui dans l'examen de champignons appartenant respectivement aux ascomycètes, Russulacées et Aphylophorales.

Nos remerciements vont également à Marcel Gannaz (détermination de *Ramaria cf. canobrunnea*), Pierre-Arthur Moreau (détermination de *Phaeogalera medullosa*), Nicolas Van Vooren (confirmation de *Peziza obusoapiculata*) et Beñat Jeannerot (détermination de *Scutellinia cejpaii*), ainsi qu'à Gérard Trichies et Jacques Fournier pour leur avis sur la liste de bioévaluation et Marc Deconchat pour sa suggestion de calcul d'indice pondéré.

Nous tenons aussi à remercier Laurent Larrieu, Lionel Valladares, Hervé Brustel, Jean-Marie Quilès, Jaoua Celle et Clothier Coste pour leurs récoltes complémentaires et photos, ainsi que pour leurs informations très précieuses quant aux poussées et conditions météorologiques locales.

2.3.4.5. Syrphes (contributeur : V. SARTHOU, SYRPHYS)

a - introduction

Les Syrphidés sont une des plus vastes familles de Diptères avec leurs quelque 5 000 espèces de par le monde. En France, ils comptent plus de 510 espèces dont 448 strictement ou facultativement forestières, parmi lesquelles 170 sont caractéristiques de vieilles forêts. Si 81 d'entre elles sont liées à des micro-habitats très variés sur arbres vivants jeunes ou sénescents (coulées de sève de feuillus ou résineux, dendrotelmes de recépée ou de canopée, galeries de xylophages primaires, colonies de phytophages et hyménoptères sociaux, ...) ou dans du bois mort (dur ou tendre, peu humide ou détrempe, ...), près de 90 autres sont associées à des micro-habitats forestiers divers non directement supportés par des arbres ou du bois mort, mais par des habitats soit révélateurs d'une sylvigénèse naturelle (strates basses et moyennes spécifiques des phases d'ouverture du milieu – habitats dits obligatoires d'une forêt naturelle), soit témoins d'une richesse écologique accrue grâce à des éléments physiques à végétation spécifique (résurgence ponctuelle ou diffuse, bord de torrent, falaise, ... - habitats dits facultatifs d'une forêt naturelle). Ainsi, la présence ou l'absence de ces espèces, toutes forestières, de Syrphidés renseigne sur le degré d'intégrité écologique d'une forêt considérée comme une entité écologique globale, pouvant être affectée par une gestion sylvicole non seulement dans son "compartiment bois mort" mais dans tous ceux qui définissent, obligatoirement ou facultativement, la richesse d'une forêt naturelle (SARTHOU *et al.*, 2004).

L'analyse de la présence des espèces de syrphes permet également de déterminer les conséquences actuelles de perturbations anciennes, telles le charbonnage ou le surpâturage en forêt. L'analyse des traits fonctionnels de ces espèces permet d'appréhender le degré d'intégrité écologique des sites étudiés par rapport à un optimum (SARTHOU *et al.*, 2007). L'étude s'attache donc à mettre en évidence la présence de syrphes indicateurs de forêts anciennes (SPEIGHT, 1989) aussi bien saproxyliques qu'associés aux autres habitats forestiers sus-mentionnés.

b – méthodologie

• collecte des Syrphes et acquisition des jeux de données

Sur chacun des sites étudiés, 2 tentes Malaise (Figure 72) ont été implantées à proximité des zones de piégeage d'insectes, à une distance de plusieurs centaines de mètres l'une de l'autre. Les emplacements ont été choisis dans des espaces relativement ouverts (petites clairières intra forestières dans la plupart des cas ou secteurs plus clairs du peuplement). Les collecteurs contenaient seulement de l'alcool pour assurer la conservation des insectes jusqu'au relevé des pièges. Les tentes Malaise ont été installées au cours de deux années consécutives (2008 et 2009), du milieu du printemps (fin avril à début juin, selon l'altitude) jusqu'au début de l'automne (fin septembre à début octobre, selon l'altitude). Les relevés des collecteurs ont été effectués environ tous les mois, à raison de 4 relevés chaque année dans chaque site. Les travaux de laboratoire ont porté sur la détermination à l'espèce et le comptage des individus de chacune des espèces.

• évaluation des cortèges par la typicité et la rareté des espèces

Dans un premier temps, toutes les espèces déterminées ont été codées en fonction de leurs données d'auto écologie fournies par une base de données internationale. La fidélité tant aux micro-habitats qu'aux macro-habitats se manifeste très bien chez les syrphes. Ces associations habitats – espèces sont connues pour au moins 75% des syrphes d'Europe et reportées dans la base de données Syrph the Net - StN en abrégé - (SPEIGHT *et al.*, 2010). Le codage utilise un système simplifié à "logique floue" dans lequel chaque espèce peut être associée avec plus d'une catégorie d'habitat. Les espèces codées "2" ou "3" sont prédites comme étant associées à un habitat. Les espèces codées "1" seront attendues dans cet habitat seulement dans des conditions particulières et les espèces à cellule vide ne sont pas connues pour être associées avec cet habitat (voir annexes 19 et 20). Le code "3" est utilisé pour signifier un très haut degré d'association (l'habitat favori d'une espèce).



Figure 72 : Détail de la tente Malaise avec piège en place dans un couloir d'avalanche à Bugatet

. comparaison des espèces prédites et des espèces observées sur chaque site

La base StN a d'abord été utilisée pour comparer, pour chaque site, la liste d'espèces prédites et la liste d'espèces observées, afin d'établir une hiérarchie entre sites. Chaque site est caractérisé non pas par son type d'habitat défini phytosociologiquement, mais sur une base physiognomique, en fonction des espèces d'arbres dominants, comme cela est effectué dans StN. Les macro-habitats proposés par StN et retenus sont les suivants :

- site de Génie Longue : hêtraie humide surmature et frênaie-ormaie ;
- site de Réouère : hêtraie mésophile surmature ;
- sites de Auribareille, Barrada, Bois-Neuf, Bugatet, Burat et Oudérou : sapinière surmature ;
- sites de Bastanet et Oule : pineraie à crochets surmature.

La fiche "Macrohabitats" de StN permet ensuite d'identifier les espèces de syrphes associées à ces habitats. Il est ensuite nécessaire d'extraire de la liste précédente les syrphes existant effectivement dans la région où le site est localisé. La liste régionale des syrphes est l'expression de la biodiversité syrphidienne maximale qui peut être attendue n'importe où dans la région. Dans le cas de la France, les départements sont des unités géographiques bien définies et d'une échelle appropriée pour fonctionner comme région dans ce contexte. La liste départementale des espèces est disponible sur internet sur le site SYRFID (Sarhou & Monteil, 2006).

Il est alors possible de prédire la liste d'espèces de syrphes potentiellement associées à tel habitat dans tel département. La confrontation entre espèces prédites et espèces présentes dans un site donné permet de calculer le pourcentage d'espèces attendues, facilitant la comparaison entre sites et leur hiérarchisation, quels que soient les macro-habitats représentés (annexe 19).

. évaluation des proportions d'espèces forestières et d'espèces indicatrices de vieilles forêts

La base StN a ensuite permis de déterminer la fidélité des espèces observées au milieu forestier en général, et aux vieilles forêts en particulier. La fiche "Microhabitats" permet de caractériser les espèces en fonction (voir annexe 20) :

- de leur **habitat larvaire** :
 - . le milieu forestier en général : arbres, litière, racines pourries, nids d'insectes sociaux, ... ;
 - . les éléments caractéristiques d'arbres surmatures ou sénescents : cavités, trous à pourritures et dendrotelmes, dégâts d'insectes, coulées de sève et lésions, décollements d'écorce, ... ;
 - . le bois mort, debout ou au sol, et les souches ;

- de leur **caractère saproxylique**, c'est-à-dire de leur dépendance vis-à-vis de micro-habitats et de ressources trophiques fournis par les bois morts et les vieux arbres : bois mort, cavités, lésions, carpophores de champignons corticoles, écoulements de sève, ... ;
- de leur **habitat d'hibernation** :
 - . le milieu forestier en général : arbres, litière, ... ;
 - . les éléments caractéristiques d'arbres surmatures ou sénescents ;
 - . le bois mort ;
- . de leur régime alimentaire à l'état adulte : pollen ou nectar, en général, ou sève.

La confrontation de ces caractères avec la fidélité aux macro-habitats permet de coder les espèces selon leur **degré d'association aux milieux forestiers** en général (annexe 21) :

- « ? » = espèce à micro-habitat larvaire non évalué en raison d'une connaissance trop partielle ou de l'absence de connaissance sur l'auto-écologie de l'espèce
- « 1 » = espèce à micro-habitat larvaire **strictement non forestier**
- « 2 » = espèce à micro-habitat larvaire **facultativement forestier**
- « 3 » = espèce à micro-habitat larvaire **strictement forestier**

Parmi les espèces à micro-habitat larvaire strictement forestier, certaines sont plus particulièrement liées aux vieilles forêts : leur habitat larvaire ou d'hibernation préférentiel est un élément caractéristique d'arbres surmatures ou sénescents (cavité, coulée de sève, lésion, ...) ou le bois mort, ou bien c'est une espèce saproxylique. Elles présentent également un très haut degré d'association avec un ou plusieurs macro-habitats de forêt surmature. Le codage utilisé pour caractériser les espèces indicatrices de vieilles forêts observées dans les 10 sites étudiés est le suivant (annexe 21) :

- « ? » = espèce à affinité non évaluée en raison d'une connaissance trop partielle ou de l'absence de connaissance sur l'auto-écologie de l'espèce
- « 1 » = espèce strictement **non liée aux vieilles forêts**
- « 2 » = espèce facultativement **liée aux vieilles forêts**
- « 3 » = **espèce indicatrice** strictement **liée aux vieilles forêts**

Le rapport entre le nombre d'espèces indicatrices de vieilles forêts et le nombre d'espèces forestières permet de comparer et hiérarchiser les sites étudiés.

. évaluation de l'intérêt patrimonial des espèces observées

Le statut patrimonial de chaque espèce observée dans les sites étudiés est fourni par la base de données StN qui précise (annexe 21) :

- le **type de menace** :
 - . **M** : espèce menacée
 - . **D** : espèce en déclin
- le **degré de la menace** :
 - . **2** : espèce menacée ou en déclin
 - . **3** : espèce fortement menacée ou en fort déclin
- le **domaine géographique** sur lequel s'exerce la menace ou le déclin observé :
 - . **E** : Europe
 - . **A** : secteur alpin
 - . **F** : France

Le statut d'espèce déterminante pour la désignation des ZNIEFF en Midi-Pyrénées a également été retenu pour préciser l'intérêt patrimonial.

. note d'intérêt des sites étudiés

Comme pour les Bryophytes, les lichens et les champignons, une note d'intérêt de site a été calculée. A chaque espèce indicatrice de vieille forêt est associée une note, attribuée suivant une échelle allant de 0,5 à 8 points, selon sa rareté et son intérêt en tant que bioindicateur :

- espèce menacée ou très menacée à toutes les échelles géographiques : 8 points
- espèce déterminante ZNIEFF menacée ou en déclin : 4 points
- espèce déterminante ZNIEFF ni menacée ni en déclin : 2 points
- espèce assez commune ou très commune : 0,5 point

Pour tenir compte de la piégeabilité de chaque site et de la présence d'espèces avec un caractère indicateur indéterminé, la somme des notes attribuées à chaque catégorie d'espèces a été divisée par le nombre total d'espèces forestières du site. La somme de ces notes corrigées a ensuite été effectuée pour obtenir la note d'intérêt du site.

c - résultats et discussion

• faunistique globale

Au cours des deux années de piégeage, **5 103 individus de Syrphes** ont été capturés. Ces individus ont pu être rattachés à **173 espèces**. Parmi ces espèces, 31 étaient déjà citées dans la liste départementale de Haute-Garonne et 86 dans la liste Hautes-Pyrénées (SARTHOU et MONTEIL, 2006). Il s'y ajoute 19 espèces nouvelles pour la Haute-Garonne et 82 nouvelles pour les Hautes-Pyrénées.

Deux espèces menacées à fortement menacées, en déclin ou en fort déclin, en France et en Europe, ont été observées sur le site de Bugatet :

- ***Chalcosyrphus valgus***, espèce saproxylique considérée par l'UICN comme utile à l'identification des forêts d'importance internationale dans le domaine de la conservation de la nature (Speight, 1989) ;
- ***Sphiximorpha subsessilis*** (Figure 73), autre espèce saproxylique, considérée comme très menacée à l'échelle européenne.

Les données de l'annexe 21 mettent également en évidence la présence de :

- 6 autres espèces menacées ou fortement menacées en France ou en Europe ;
- au total 18 espèces en déclin ou en fort déclin en France ou en Europe ;
- au total 38 espèces déterminantes ZNIEFF en Midi-Pyrénées.

Pour ce qui concerne le type d'habitat utilisé par les larves, 102 espèces (soit près de 60%) ont un habitat larvaire strictement ou facultativement forestier, dont 54 (soit 31%) strictement forestier (Figure 74). Parmi ces dernières, 28, soit 16%, sont fortement liées aux vieilles forêts. Ce sont des espèces qui possèdent au moins un des attributs suivants (annexe 20) :



Sphiximorpha subsessilis, espèce saproxylique utilisant notamment les cavités à terreau, les dendrotelmes et les coulées de sève comme habitat larvaire, dont le régime alimentaire de l'adulte comporte aussi la sève, considérée comme très menacée à l'échelle européenne, en fort déclin en France, caractéristique des vieilles sapinières, capturée en un seul exemplaire à Bugatet

Photo : JP SARTHOU, ENSA Toulouse

Volucella inflata, espèce saproxylique utilisant notamment les cavités, les coulées de sève et les zones de dégâts d'insectes comme habitat larvaire, dont le régime alimentaire de l'adulte comporte aussi la sève, indicatrice de vieilles forêts et caractéristique des frênaies-ormaises surmatures, capturée dans les sites de Génie Longue et de Barrada

Photo : JP SARTHOU, ENSA Toulouse



Temnostoma bombylans, espèce saproxylique utilisant notamment les cavités et le bois mort au sol comme habitat larvaire, en déclin en Europe et déterminante ZNIEFF en Midi-Pyrénées, indicatrice de vieilles forêts et caractéristique des hêtraies hygroclines surmatures et des frênaies-ormaises surmatures, capturée dans le site de Génie Longue

Photo : JP SARTHOU, ENSA Toulouse

Myatropa florea, espèce utilisant notamment les cavités à terreau comme habitat larvaire, indicatrice de vieilles forêts et caractéristique des hêtraies surmatures et des frênaies-ormaises surmatures, capturée dans presque tous les sites de hêtraie, sapinières (-hêtraies) et sapinières (Génie Longue, Réouère, Auribareille, Barrada, Oudérou, Bois Neuf et Bugatet)

Photo : JP SARTHOU, ENSA Toulouse



Figure 73 : Quelques espèces de syrphes observées dans les sites étudiés

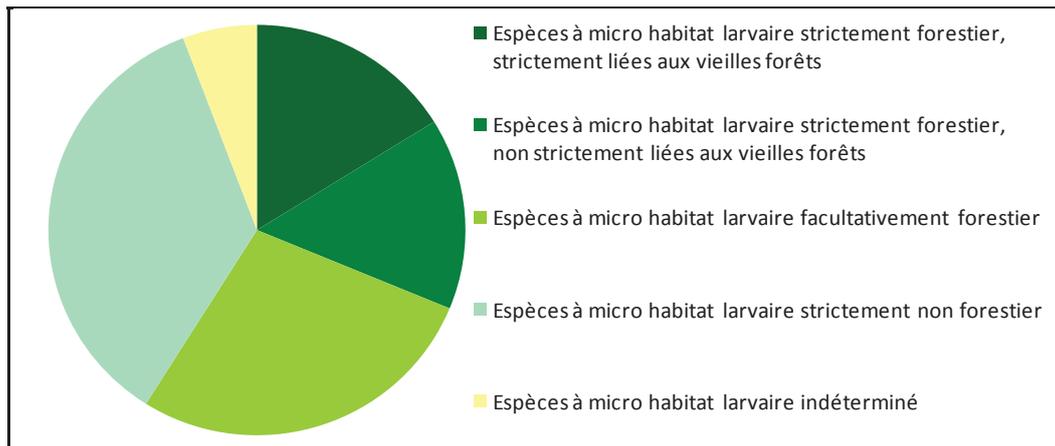


Figure 74. Répartition des espèces capturées dans les 10 sites étudiés selon leur habitat au stade larvaire

- le micro-habitat larvaire est fortement lié à des éléments propres aux arbres surmatures ou déperissants (cavités hautes ou basses, trous à pourriture, dendrotelmes, dégâts d'insectes, coulées de sève, lésions, ...) pour 14 espèces ;
- le micro-habitat larvaire est fortement lié au bois mort (chandelle, bois mort au sol, souche, ...) pour 5 espèces ;
- le régime alimentaire larvaire est saproxylique, c'est-à-dire dépendant du bois mort ou mourant, ou des champignons du bois, ou de la présence d'autres organismes saproxyliques (Speight, 1989) pour 21 espèces ;
- le régime alimentaire de l'adulte est, au moins partiellement, la sève pour 6 espèces (alors que pour toutes les autres espèces, il s'agit de pollen ou de nectar).

Les résultats détaillés des captures figurent en annexe 22. Il existe une relation linéaire assez nette (sauf pour le site de Barrada et, dans une moindre mesure, celui de Génie Longue) entre le nombre d'espèces observées et le nombre d'individus (Figure 75). On observe une grande hétérogénéité entre les sites, que se soit au niveau de la richesse spécifique, des abondances, des espèces dominantes et des rangs/fréquences des espèces (annexe 22). Les abondances sont comprises entre moins de 80 individus capturés, à Réouère et Bois Neuf, et 1 238 à Bugatet. Les richesses spécifiques sont comprises entre 24 espèces à Bois Neuf et 92 à Bugatet. Souvent, une seule espèce pèse pour un quart ou plus des effectifs capturés :

- *Sphaerophoria scripta* représente 30 % des captures dans la sapinière de Bugatet ;
- *Meliscaeva auricollis* représente 30% des captures dans la sapinière de Bois Neuf, 29 % dans la sapinière (-hêtraie) de Auribareille et plus de 20% dans celle de Barrada.

De nombreux singletons et, à l'inverse, des espèces très fréquentes pèsent énormément en termes d'abondance sur les jeux de données :

- 82 espèces ne sont représentées que sur 1 seul site, dont 60 par seulement 1 ou 2 individus ;
- 11 espèces ont été capturées sur 9 ou 10 sites, dont 4 (*Episyrrhus balteatus*, *Meliscaeva auricollis*, *Platycheirus albimanus*, *Sphaerophoria scripta*) totalisent chacune plus de 400 individus capturés, avec un maximum de 559 pour la dernière citée ;
- 12 espèces comptent chacune au moins 100 individus capturés sur l'ensemble des sites.

Ces données traduisent des forêts aux caractéristiques très contrastées. Ceci nous invite à distinguer les grands types de milieux, avant toute interprétation.

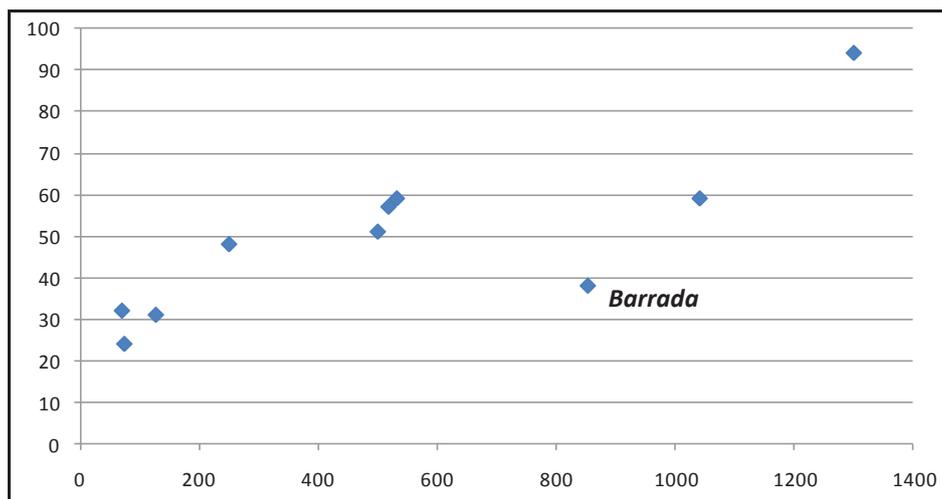


Figure 75. Distribution de la richesse spécifique des Syrphes en fonction de leur abondance totale dans les 10 sites étudiés

• *typologie des 10 forêts étudiées et diagnostic*

Les données de captures et les tableaux permettant de les interpréter figurent en annexe :

- l'annexe 19 permet de comparer par type d'habitat de vieille forêt dominant et par site, les espèces attendues et effectivement présentes (espèces "au rendez-vous", notées « P ») et les espèces attendues mais absentes (notées « 0 ») ;
- l'annexe 22 fournit les données brutes des piégeages réalisés dans les 10 sites étudiés (nombre d'individus de chaque espèce capturés par site), ainsi que le classement forestier, le caractère indicateur de vieille forêt et le nombre de points associés à chaque espèce.

Les résultats issus de l'analyse de ces tableaux sont rassemblés sous forme de figures :

- la Figure 76 synthétise les informations issues des tableaux placés en annexe :
 - . à partir des données de l'annexe 19, le pourcentage d'espèces "au rendez-vous" dans chacun des 10 sites étudiés,
 - . à partir des données de l'annexe 22 : le nombre d'espèces forestières, le pourcentage d'espèces indicatrices de vieilles forêts et la note d'intérêt de chaque site ;
- la Figure 77 montre la part des 4 catégories d'espèces de syrphes forestiers dans la note d'intérêt de chaque site.

Les sites étudiés peuvent être groupés en trois classes selon les assemblages des espèces de syrphes observés :

- les **pineraies** de **Bastanet** et **Oule**, caractérisées par une richesse spécifique assez importante (56 espèces) et un fort pourcentage d'espèces "au rendez-vous" (plus de 55%) pour l'habitat "pineraies surmatures de pin de montagne", traduisant une bonne intégrité écologique des sites. On peut noter en particulier la constance d'espèces liées aux forêts surmatures comme *Didea intermedia* et *Eupeodes nielsenii*, caractéristiques des pineraies, et *Blera fallax*, espèces des résineux. Il s'y ajoute des espèces assez fidèles aux vieux peuplements comme *Dasysyrphus postclaviger*, *Melanostoma mellinum*, *Meliscaeva auricollis*, *Paragus haemorrhous*, *Scaeva selenitica*, liées aux résineux, et d'autres non spécifiques des forêts résineuses, comme *Episyrphus balteatus*, *Eristalis similis*, *Lapposyrphus lapponicus*, *Melangyna lasiophthalma*, *Parasyrphus vittiger* et *Syrphus ribesii*.

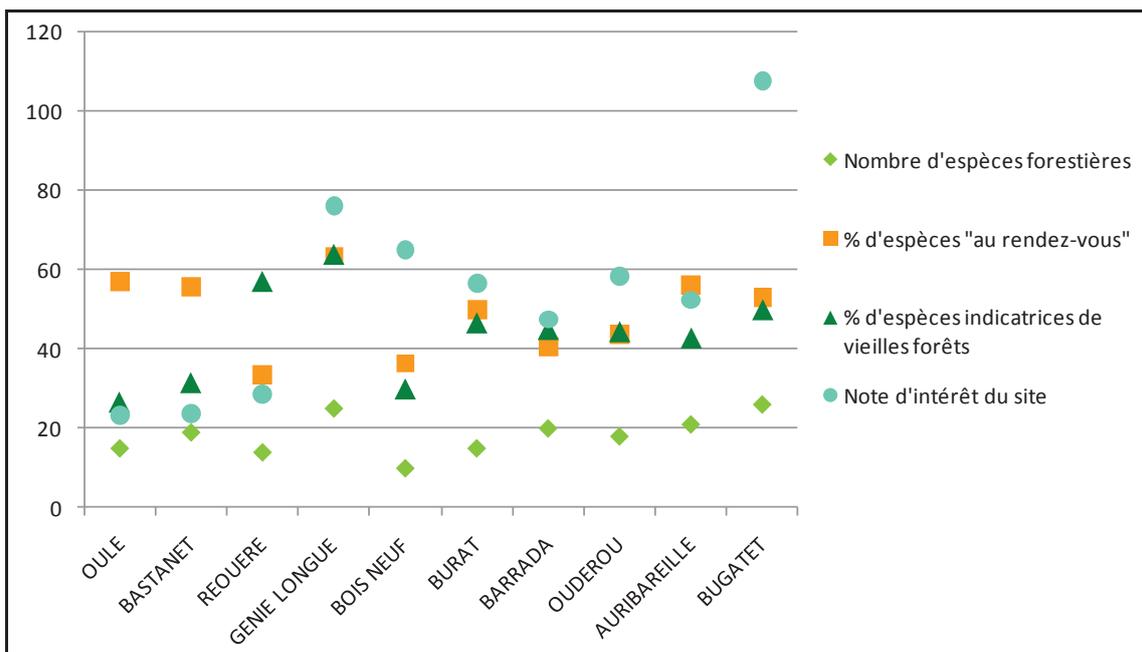


Figure 76 : Nombre d'espèces forestières, pourcentages d'espèces « au rendez-vous » et d'espèces indicatrices de vieilles forêts, et note d'intérêt de chaque site

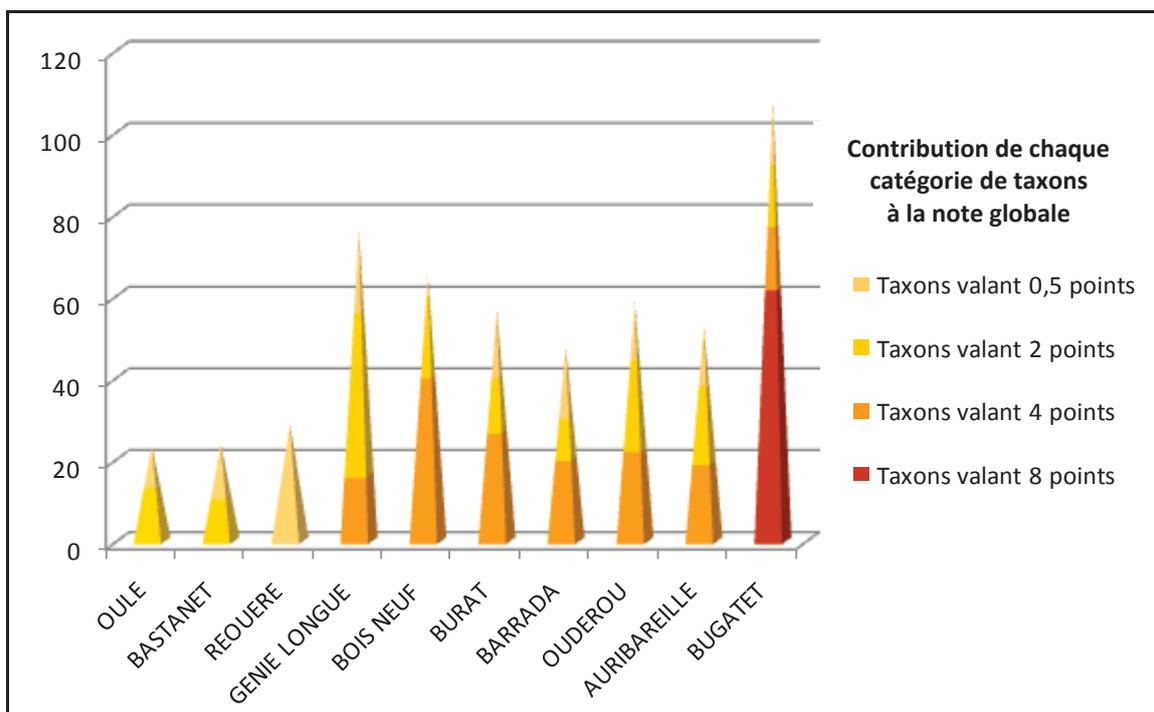


Figure 77 : Part des 4 catégories d'espèces de syrphes forestiers dans la note d'intérêt de chaque site

Dans cette représentation, la note attribuée à chaque groupe de taxons correspond à la somme des notes attribuées aux taxons représentés, divisée par le nombre total d'espèces forestières du site.

La note globale est ici l'équivalent de l'indice d'intérêt des mousses, lichens et champignons.

La couleur de la pyramide est claire si l'intérêt de la communauté est modéré, foncée s'il est fort.

Le pourcentage d'espèces indicatrices de vieilles forêts (voisin de 30%) et la note d'intérêt (inférieur à 25) restent cependant faibles (les plus bas des 10 sites étudiés). La faiblesse de la note d'intérêt traduit la mauvaise représentation des espèces les plus remarquables : aucune espèce valant 8 ou 4 points, une seule espèce cotée 2 points (*Blera fallax*, par ailleurs présente sur 9 des 10 sites étudiés) et seulement 3 à 5 des 18 espèces cotées 0,5 point. Ces données traduisent des forêts présentant pour les syrphes les caractéristiques classiques des pineraies à crochets pyrénéennes, mais dépourvues des attributs permettant aux espèces les plus emblématiques, indicatrices de vieilles forêts, de s'exprimer. Pour expliquer cette situation, on peut invoquer la faible diversité en micro-habitats (seulement 20 à 22 types sur 68 possibles) avec peu de cavités et de carpophores de champignons saproxyliques, pas de coulées de sève ni de dendrotelmes. D'autre part, la quantité de bois mort reste faible, surtout à Oule (40 m³/ha) ;

- les **hêtraies** de **Réouère** et **Génie Longue** présentent quelques espèces en commun comme *Ferdinandea cuprea* et *Myathropa florea* (Figure 73), espèces de hêtraies surmatures, et *Brachypalpoides lentus*, *Criorhina berberina*, *Episyrphus balteatus*, *Xylota segnis* et *Xylota sylvarum*, caractéristiques de vieux peuplements, mais non spécifiques des hêtraies. Les deux sites montrent des caractéristiques assez contrastées :

. le site de **Réouère** présente une faible richesse spécifique (32 espèces) et un pourcentage d'espèces "au rendez-vous" très bas (près de 30%), le plus faible des 10 sites, pour l'habitat "hêtraies mésophiles surmatures", traduisant une faible intégrité écologique. Le pourcentage d'espèces indicatrices de vieilles forêts, voisin de 60%, est élevé, l'un des plus forts des 10 sites, mais la note d'intérêt reste faible (30, l'une des plus faible des 10 sites). La faiblesse de la note d'intérêt traduit la mauvaise représentation des espèces les plus remarquables : aucune espèce cotée 8, 4 ou 2 points et seulement 8 (sur 18) espèces cotées 0,5 point et indicatrices de vieilles forêts. Ces données traduisent une forêt présentant un manque de diversité d'habitats pour les syrphes : faible nombre d'espèces d'arbres (2), forte densité de micro-habitats (340 par hectare), mais avec une très forte dominance de deux types (cavités et zones de bois dur apparent totalisent 90% des occurrences, mais absence de fentes et de coulées de sève), faible quantité de bois mort (20 m³/ha), sous-bois peu développé et pauvre en espèces). Les attributs permettant aux espèces les plus emblématiques de s'exprimer ne paraissent pas présents ;

. le site de **Génie Longue** présente par opposition une forte richesse spécifique (59 espèces) et un très fort pourcentage d'espèces "au rendez-vous" (plus de 60%), le plus élevé des 10 sites, pour l'habitat "hêtraies hygrophiles surmatures", traduisant une forte intégrité écologique. Parmi les espèces caractéristiques des hêtraies surmatures, en plus de celles communes avec le site de Réouère, on peut noter la présence de *Milesia crabroniformis*, *Sphegina elegans*, *Temnostoma bombylans* (Figure 73) et *T. vespiforme*. A ces espèces de hêtraies, également prédites en frênaie-ormaie pour les 2 dernières, s'ajoutent des espèces attendues dans les vieux peuplements de frênaie-ormaie comme *Brachyopa scutellaris*, *Volucella inflata* (Figure 73) et *Xylota florum*. De nombreuses espèces assez fidèles aux forêts surmatures, mais non spécifiques des hêtraies, se joignent à cet ensemble dont celles déjà citées pour Réouère, auxquelles s'ajoutent *Didea fasciata* et *Syrphus torvus*.

Le pourcentage d'espèces indicatrices de vieilles forêts, supérieur à 60%, est le plus fort des 10 sites étudiés et la note d'intérêt (76) se classe en seconde position. Ce classement tient à la bonne représentation d'espèces remarquables : une espèce cotée 4 points (*Temnostoma bombylans*, déterminante ZNIEFF et en déclin en Europe), 5 des 6 espèces déterminantes ZNIEFF (*Blera fallax*, *Brachyopa scutellaris*, *Temnostoma vespiforme*, *Xylota florum* et *X. xanthocnema*, ni menacées ni en déclin) et 10 des 18 espèces valant 0,5 point et indicatrices de vieilles forêts.

Ces éléments traduisent une bonne disponibilité d'habitats pour les syrphes, aussi bien liés aux arbres (forte diversité d'essences : hêtre, frêne, orme de montagne, tilleuls, avec un peu d'if et de sapin ; bonne densité de micro-habitats (140 par hectare), sans dominance d'un seul type, avec une bonne diversité (33 types sur 68 possibles) que dans le sous-bois très développé riche en buis, auxquels se joignent des milieux rocheux, des éboulis, des milieux aquatiques, des sources et des suintements,

- les **sapinières (-hêtraies)** de **Auribareille, Barrada, Burat** et **Oudérou** et les **sapinières** de **Bugatet** et **Bois Neuf** montrent des assemblages assez comparables, avec quelques espèces relativement constantes, présentes dans 3 à 6 sites, liées aux forêts surmatures comme *Blera fallax*, *Didea fasciata*, spécifiques des sapinières, *Criorhina berberina*, *Xylota segnis* et *Xylota sylvarum*, non spécifiques des sapinières. Il s'y ajoute des espèces assez fidèles aux vieux peuplements comme *Baccha elongata*, *Dasysyrphus pinastri*, *Melangyna lasiophthalma*, *Meliscaeva auricollis*, *Parasyrphus macularis*, *P. punctulatus*, liées aux résineux, et d'autres non spécifiques des forêts résineuses, comme *Dasysyrphus venustus*, *Episyrphus balteatus*, *Lapposyrphus lapponicus* et *Syrphus torvus*. La plupart des sites présente une assez bonne richesse spécifique (30 à 50 espèces), un pourcentage d'espèces "au rendez-vous" correct à bon (40 à 55%), un bon pourcentage d'espèces indicatrices de vieilles forêts (40 à 50%) et une note d'intérêt satisfaisante (50 à 60). On dénombre dans tous les sites une espèce cotée 4 points (*Brachypalpus laphriformis*, déterminante ZNIEFF et en déclin dans le domaine alpin), et 1 ou 2 des 6 espèces déterminantes ZNIEFF cotées 2 points (*Blera fallax*, constante, *Xylota xanthocnema*, sur 2 sites, et *Criorhina asilica*, sur un seul site, ni menacées ni en déclin). Dans tous les sites, sauf un, il s'y ajoute 5 à 8 des 18 espèces cotées 0,5 point et indicatrices de vieilles forêts. Deux sites se distinguent cependant dans cet ensemble :

- . le site de **Bois Neuf** apparait comme peu attractif pour les syrphes : la plus faible richesse spécifique des 10 sites (24 espèces seulement), 36% d'espèces "au rendez-vous", 30% d'espèces indicatrices de vieilles forêts et seulement une seule des 18 espèces cotées 0,5 point et indicatrices de vieilles forêts. Le site présente pourtant une bonne densité en micro-habitats (120 par hectare) avec une bonne diversité (28 types sur 68 possibles) et un volume de bois mort satisfaisant (100 m³/ha). Le faible niveau d'ouverture du couvert (recouvrement de la strate arborescent voisin de 100%) a peut-être un effet dépressif sur le potentiel d'accueil des syrphes ;
- . le site de **Bugatet** parait au contraire plus propice : la plus forte richesse spécifique des 10 sites (92 espèces), 53% d'espèces "au rendez-vous", 50% d'espèces indicatrices de vieilles forêts, le plus fort indice d'intérêt (108) et 2 espèces cotées 8 points, menacées à fortement menacées, en déclin ou en fort déclin, en France et en Europe (*Chalcosyrphus valgus* et *Sphiximorpha subsessilis*). A l'opposé du précédent, ce site présente pourtant une faible densité en micro-habitats (40 par hectare) mais avec une bonne diversité (28 types, mais quasi absence de coulées de sève, de dendrotelmes et de carpophores de champignons saproxyliques) et un faible volume de bois mort (60 m³/ha). A l'opposé du site de Bois Neuf, le fort niveau d'ouverture du couvert (recouvrement de la strate arborescent voisin de 50%) a peut-être un effet positif sur le potentiel d'accueil des syrphes.

Des tests ont été réalisés afin de mettre en évidence des relations entre les données recueillies sur les syrphes et les caractéristiques des sites (données stationnelles, données dendrologiques, abondance et qualité du bois mort, densité et diversité des micro-habitats, dynamique de la végétation, ...).

Il existe une relation positive assez nette entre le **pourcentage** d'espèces de syrphes indicatrices de vieilles forêts et la diversité en habitats associés au bois mort et aux arbres sénescents, même si, pour Burat, le pourcentage observé est très inférieur à celui attendu compte tenu de la forte diversité d'habitats (Figure 78). Cela tient sans doute au nombre important de placettes observées sur ce site (14), ce qui tend à faire augmenter la diversité en habitats.

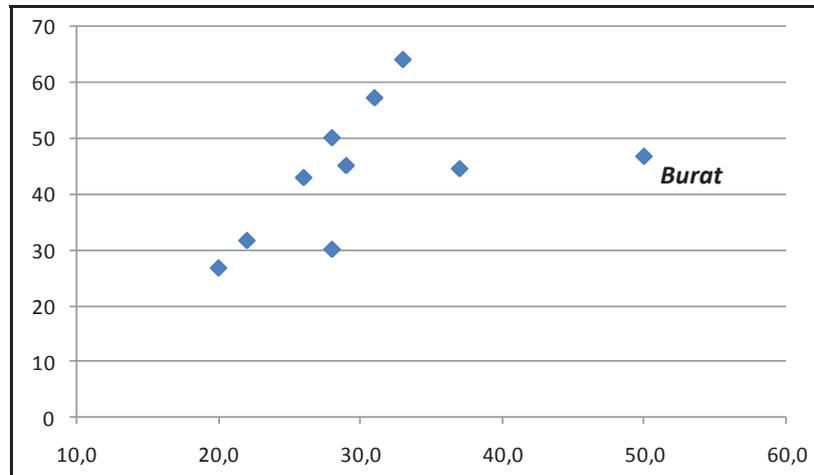


Figure 78 : Relation entre le pourcentage d'espèces indicatrices de vieilles forêts et la diversité en habitats associés au bois mort et aux arbres sénescents

Une relation peut aussi être mise en évidence entre le **nombre** d'espèces de syrphes indicatrices de vieilles forêts et la diversité en habitats associés au bois mort et aux arbres sénescents, mais elle est beaucoup moins bien établie, et dans ce cas aussi, le site de Burat présente un nombre d'espèces faible compte tenu de la forte diversité d'habitats observée.

2.3.4.6. Coléoptères saproxyliques (contributeurs : H. BRUSTEL & L. VALLADARES, EI PURPAN)

a - introduction

Le bois mort représente un élément d'habitat forestier essentiel, comme habitat ou comme ressource trophique pour les organismes saproxyliques, "qui dépendent, pendant une partie de leur cycle de vie, du bois mort ou mourant d'arbres moribonds ou morts, debout ou à terre, ou des champignons du bois, ou de la présence d'autres organismes saproxyliques" (Speight, 1989).

Les organismes saproxyliques dépendent ainsi d'un large gradient de micro-habitats et de ressources trophiques fournis par les bois morts et les vieux arbres : chablis, chandelles et arbres morts sur pied, volis et fragments de bois brut au sol, branches mortes dans les houppiers vivants (charpentières), souches, micro-habitats associés aux vieux arbres : nécroses, caries, cavités, carpophores de champignons corticoles, écoulements de sève.

Le cortège saproxylique représente 20 à 25% des espèces de faune et flore forestières ; il est dominé par les Champignons (30% des espèces) et par les Coléoptères (20% des espèces) (Stokland *et al.*, 2004). 20% des espèces de Coléoptères appartiendraient en France au cortège saproxylique (plus de 2500 espèces, soit plus de la moitié des Coléoptères forestiers). Même si plusieurs familles sont plus emblématiques (*Lucanidae*, *Cerambycidae*, *Buprestidae*, *Curculionidae* *Scolytinae*), c'est près de 68 familles de Coléoptères qui contiennent au moins une espèce saproxylique.

Les coléoptères saproxyliques sont aujourd'hui souvent utilisés en bioévaluation de la qualité biologique des milieux (Brustel, 2004), qu'il s'agisse d'espèces à statut légal (liste rouge européenne UICN, annexes de la Directive Habitats) ou à usage local (*e.g.* espèces déterminantes régionales ZNIEFF).

b - méthodologie

• collecte des Coléoptères et acquisition des jeux de données

Sur chacun des sites étudiés, 4 pièges à interception *Polytrap*[™] (Figure 79) ont été implantés sur des chandelles distantes de 100 à 500 m environ les unes des autres (Figure 79). Les collecteurs à insectes contenaient un mélange d'eau salée (à 100 g.l⁻¹), de mouillant et d'éthanol (à 10 %). Comme pour les syrphes, les pièges ont été installés au cours de deux années consécutives (2008 et 2009), du milieu du printemps (fin avril à début juin, selon l'altitude) jusqu'au début de l'automne (fin septembre à début octobre, selon l'altitude). Les relevés des collecteurs ont été effectués environ tous les mois, à raison de 4 relevés chaque année dans chaque site. Les travaux de laboratoire ont porté sur la détermination à l'espèce et le comptage des individus de chacune des espèces. Quelques spécialistes extérieurs ont été sollicités pour la détermination au niveau spécifique des échantillons de quelques familles : Christophe Bouget (*Rhizophagus* spp.), Olivier Courtin (diverses familles), Eric Dupré (*Leiodidae*), Pascal Leblanc (*Mordellidae* et *Scaptidae*), Gianfranco Liberti (*Dasytidae*, *Malachiidae*, *Cantharidae*), Thierry Noblecourt (*Scolytidae*) et Olivier Rose (*Ciidae*).

Les piégeages ont été complétés par quelques recherches directes actives sur le terrain et par les déterminations des Coléoptères piégés par les tentes Malaises destinées aux Syrphes. Toutes ces données, disponibles en base de données du laboratoire, ont été communiquées pour l'inventaire ZNIEFF, mais seules celles acquises par pièges à interception *Polytrap*[™] ont ici été retenues pour les analyses. Les données complètes (relevés des pièges à interception, relevés des tentes Malaise et collectes directes) ont été utilisés pour comparer les 10 sites étudiés et les massifs forestiers remarquables pyrénéens les mieux connus aujourd'hui.

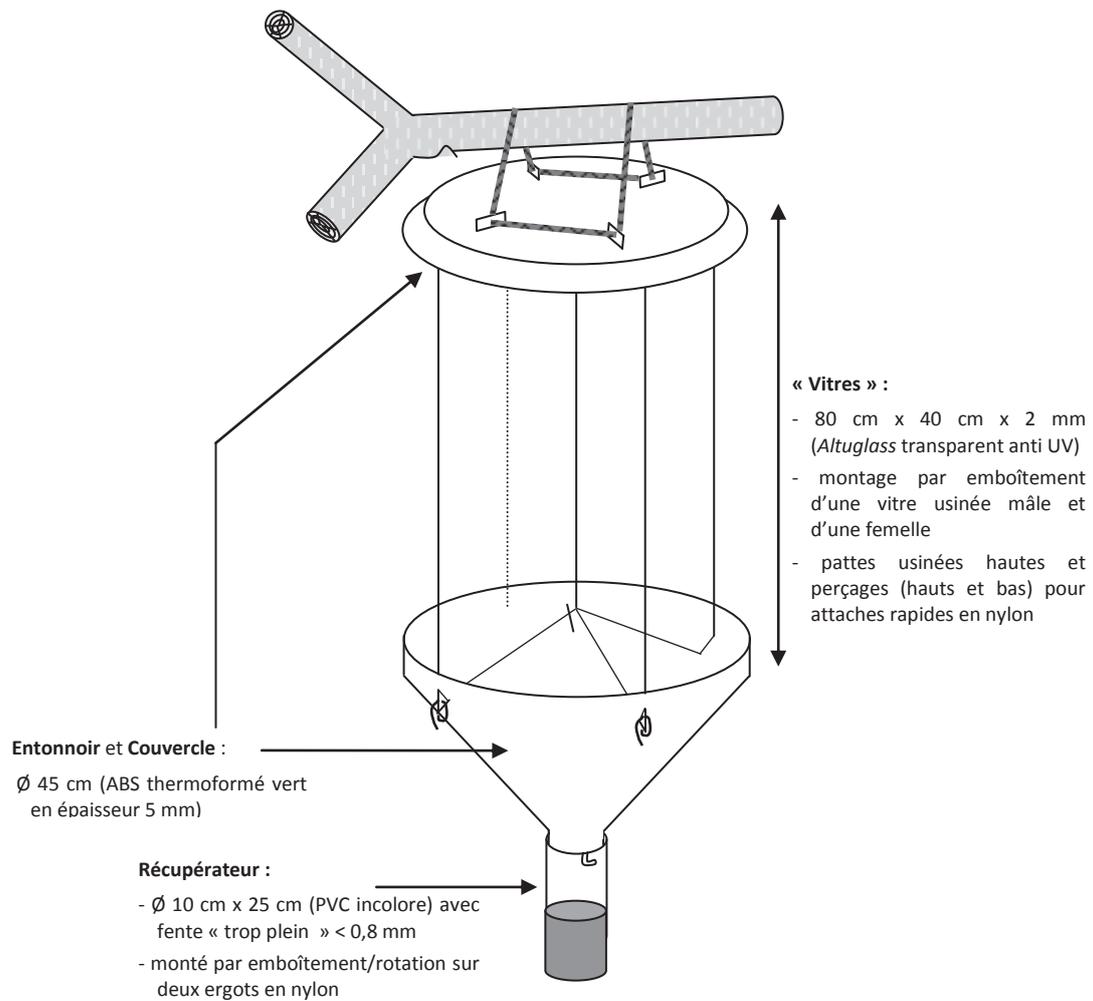


Figure 79. Schéma et photo du « Polytrap™ » ; piège en place sur une chandelle de sapin à Bugatet

• *évaluation des cortèges par la typicité et la rareté des espèces*

Dans un premier temps, toutes les espèces saproxyliques déterminées ont été codées en fonction de leur fidélité au milieu montagnard, en fonction de nos connaissances propres et d'une base nationale en cours de construction (*Frisbee*). Quatre classes ont été retenues en fonction de la rareté et de la distribution (noté *Distribution* dans l'annexe 23) :

- « ? » = espèce non évaluée en raison d'une connaissance trop partielle ou de l'absence de connaissance sur sa rareté et sa distribution
- « 0 » = espèce "touriste", en général de plaine, non liée aux forêts de montagnes
- « 1 » = espèce montagnarde commune, largement distribuée et peu exigeante
- « 2 » = espèce montagnarde rare

L'analyse de la valeur biologique des différents peuplements s'appuie aussi sur la démarche utilisée dans le cadre d'une étude nationale (Brustel, 2004) reprise lors de la modernisation des ZNIEFF en Midi-Pyrénées. Il s'agit d'une utilisation du niveau de rareté des espèces, codée *lp*, et traduit en 4 classes :

- "1" pour les espèces communes et largement distribuées (faciles à observer),
- "2" pour les espèces peu abondantes, mais largement distribuées, ou localisées, mais éventuellement abondantes (difficiles à observer),
- "3" pour les espèces jamais abondantes et localisées (demandant en général des efforts d'échantillonnage spécifiques),
- "4" pour quelques espèces très rares, connues de moins de 5 localités actuelles, ou représentées dans un seul département en France.

Les espèces dont l'*lp* = 3 ou 4 sont le plus souvent indicatrices de milieux en bon état de conservation et nous aident à révéler des vieilles forêts (subnaturelles ou refuges surmâtures).

Comme pour les Bryophytes, les lichens, les champignons et les syrphes, une note d'intérêt de site a été calculée. Une note a d'abord été attribuée à chaque espèce en fonction de sa valeur d'*lp* :

- espèces avec un *lp* de 1 : 0,5 points
- espèces avec un *lp* de 2 : 2 points
- espèces avec un *lp* de 3 : 4 points
- espèces avec un *lp* de 4 : 8 points

Pour tenir compte de la piègeabilité de chaque site et de la présence d'espèces avec un *lp* indéterminé, la somme des notes attribuées à chaque catégorie d'espèces a été divisée par le nombre total d'espèces du site. La somme de ces notes corrigées a ensuite été effectuée pour obtenir la note d'intérêt du site.

• *analyse de données*

Ce sont essentiellement des dénombrements qui sont utilisés et présentés par des graphiques : richesse spécifique, richesses pondérées par les indices de rareté ou de typicité, abondance, présence/absence. Une ordination non contrainte (analyse NMDS), basée sur la distance de Jaccard (en présence/absence des espèces, car l'effet de l'amorce est variable selon l'ouverture du milieu), est produite pour mettre en évidence et visualiser une typologie des sites étudiés.

c - résultats et discussion

• faunistique globale

Les résultats détaillés des captures figurent en annexe 23. Au total, **12 504 individus de 320 espèces de Coléoptères saproxyliques** ont été déterminés. Les observations directes sont consignées en annexe 24 mais ne sont pas comptabilisées dans les analyses suivantes.

Le nombre d'espèces observées n'est pas corrélé de manière linéaire au nombre d'individus (Figure 80). On observe une grande hétérogénéité entre les sites, que se soit au niveau de la richesse spécifique, des abondances, des espèces dominantes et des rangs/fréquences des espèces (annexe 23). Les abondances sont comprises entre 264 individus à Génie Longue et 2 485 à Barrada. Les richesses spécifiques sont comprises entre 45 espèces à Génie Longue et 128 à Réouère. Souvent, une seule espèce pèse pour un tiers ou plus des effectifs capturés :

- *Ptilinus pectinicornis*, *Anobiidae* sapro-xylophage du hêtre, représente 31 % des captures dans la hêtraie d'arbres têtards de Réouère ;
- *Rhinosimus ruficollis*, *Salpingidae* sous corticule du hêtre, représente 33 % des captures dans la sapinière de Bois Neuf ;
- *Cryptophagus scanicus*, *Cryptophagidae* saprophage, représente 38 % des captures dans la sapinière de Bugatet ;
- *Hylecoetus dermestoides*, *Lymexylonidae* xylophage du sapin et du hêtre, représente 42 % des captures dans la hêtraie abyssale de Génie Longue.

De nombreux singletons et, à l'inverse, des espèces qui pèsent énormément en termes d'abondance sur les jeux de données montrent des forêts aux caractéristiques très contrastées. Ceci nous invite à distinguer les grands types de milieux, avant toute interprétation.

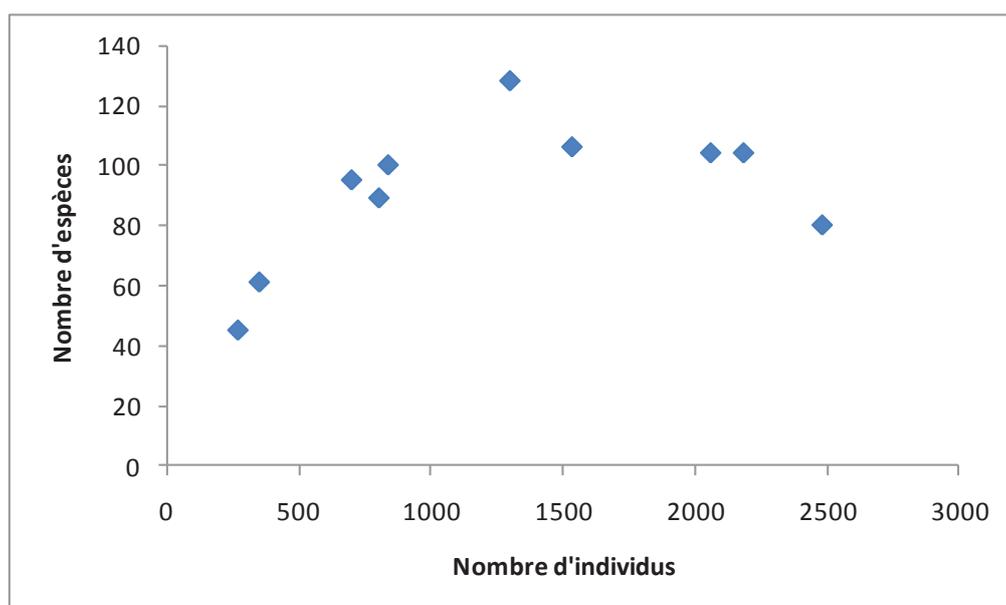


Figure 80. Distribution de la richesse spécifique des coléoptères saproxyliques en fonction de leur abondance totale dans les 10 sites étudiés

- *typologie des 10 forêts étudiées*

L'ordination non contrainte (NMDS) met en évidence 3 grands groupes de sites (Figure 81), à diversité β comparable :

- les **pineraies** de pin sylvestre, de pin à crochets et de pin de Bouget de l'étage subalpin : sites de **Bastanet** et de **Oule**,
- les **hêtraies** de plus basse altitude (étage montagnard inférieur) : sites de **Génie Longue** et de **Réouère**,
- les vieilles **sapinières (-hêtraies)** et **sapinières** des étages montagnard et subalpin : sites de **Oudérou**, **Barrada**, **Bois Neuf** et **Burat**,
- la **sapinière (-hêtraie)** de **Auribareille** et la **sapinière** de **Bugatet** sont dans des situations intermédiaires, liées probablement autant aux proximités géographiques qu'au poids des essences présentes.

Un classement tout à fait analogue a été proposé à partir de la diversité et de la densité en micro-habitats (voir § 2.3.3.4.i et Figure 44).

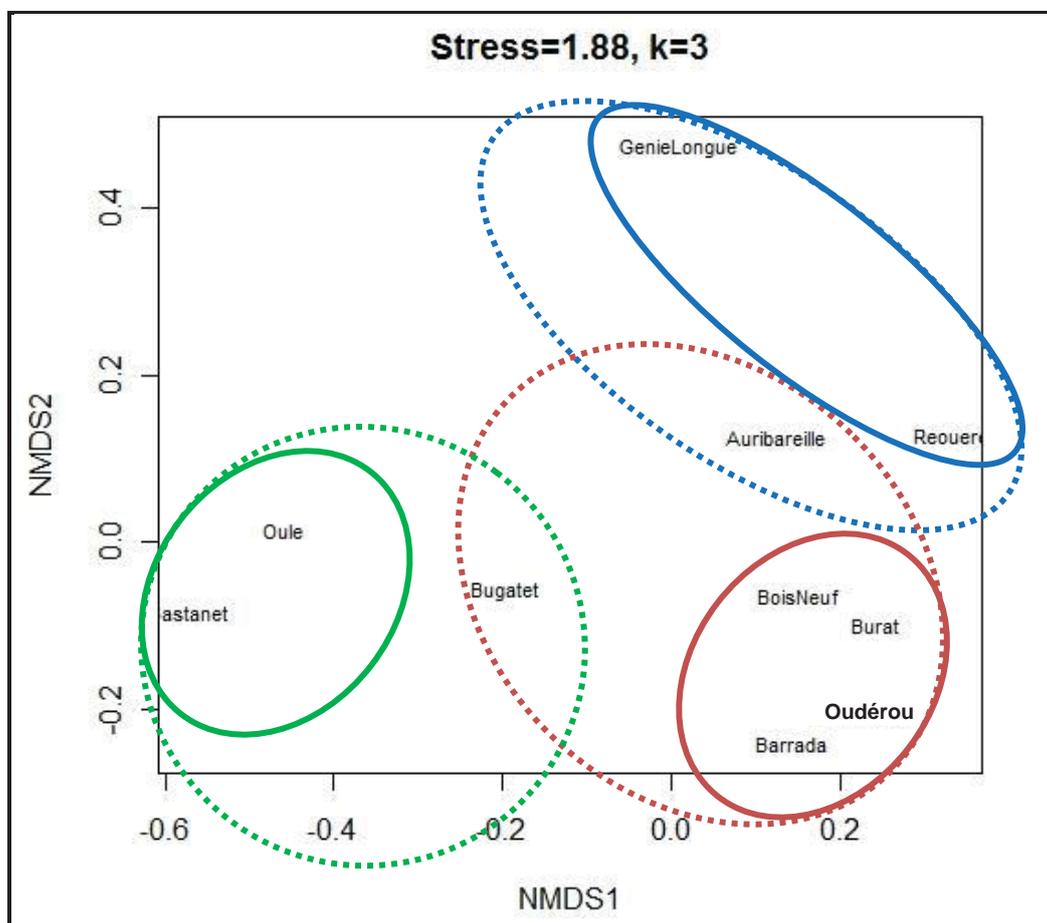


Figure 81. Ordination par NMDS des 10 sites, basée sur les indices de similarités de Jaccard entre cortèges de coléoptères saproxyliques

- *diagnostic faunistique de chaque forêt*

De façon générale, la distribution et le niveau de rareté des espèces représentées sont bien connus : pour près de 90% d'entre elles sur le premier critère et pour 80% sur le second. En ce qui concerne la distribution, parmi les espèces pour laquelle elle est connue, la répartition est la suivante :

- 83 espèces caractéristiques des forêts de montagne, soit 29% du total d'espèces,
- 202 espèces "touristes", souvent de plaine, non liées aux forêts de montagnes, soit 71% du total.

Pour ce qui est du niveau de rareté (Figure 82), parmi les espèces pour laquelle il est connu, on compte 13% d'espèces rares ou très rares (Ip = 3 ou 4) et une répartition assez homogène entre espèces peu abondantes (Ip = 2) et espèces communes (Ip = 1).

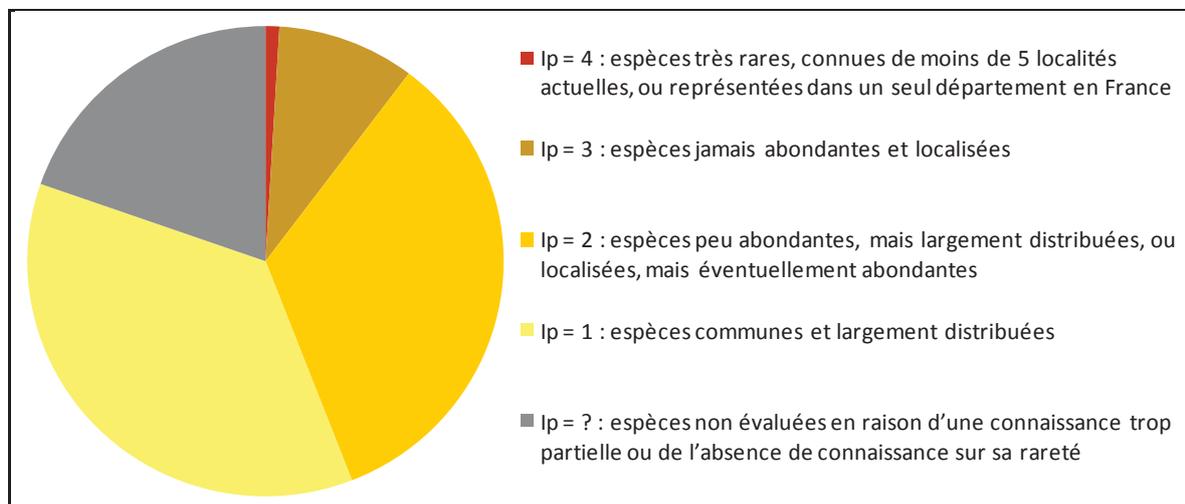


Figure 82. Distribution des espèces de coléoptères saproxyliques selon leur niveau de rareté (Ip)

La distribution des espèces rares et typiques de vieilles forêts peut être appréhendée par la Figure 83, la Figure 84, la Figure 85 et la Figure 86.

La richesse spécifique est particulièrement importante à **Réouère** (plus de 120 espèces ; Figure 83), mais elle est constituée en grande majorité d'espèces de plaine, "touristes" en forêts de montagne : 71% (Figure 84). Il s'agit donc avant tout d'une forêt refuge, présentant un indice d'intérêt assez fort (près de 120 ; Figure 86) et 10 espèces avec un Ip de 3 ou 4, relativement chaude, avec peu de caractères de vieille forêt.

Le site de **Génie Longue**, zone confinée dont la piégeabilité est mauvaise (ambiance microclimatique fraîche et humide, milieu forestier très fermé), n'a révélé que très peu de coléoptères saproxyliques : faible abondance (264 individus capturés), richesse spécifique réduite (45 espèces seulement), et absence d'espèces rares (Figure 83 et Figure 85). L'indice d'intérêt est le plus faible des 10 sites étudiés (94 ; Figure 86). Dans des secteurs moins confinés que la zone étudiée ici, vers le milieu et le haut des versants du cirque des Génies de la forêt de Saint-Pé-de-Bigorre, l'observation à vue de *Peltis grossa* et, quelques années avant le début de l'étude, de *Benibotarus alternatus*, laissent penser que l'ensemble du site (cf. sa cartographie en annexe 2) révèle quelques refuges propices à une entomofaune saproxylique intéressante.

Les **sapinières (-hêtraies)** et les **sapinières** présentent une certaine unité du cortège entomologique. Elles possèdent une forte richesse spécifique (de 80 à 106 espèces ; Figure 83), et un nombre important d'espèces caractéristiques des forêts de montagne, de 27 à 42, soit de 30 à 41% du nombre total d'espèces (Figure 83 et Figure 84). Elles comptent de 8 à 13 espèces avec un Ip de 3 ou 4, dont 63 à 88% d'espèces de forêts de montagne (Figure 85). L'indice d'intérêt s'étend de 119 à Bugatet jusqu'à 147 à Oudérou (Figure 86). Les sites peuvent être classés par ordre décroissant d'intérêt : **Bois Neuf, Burat, Oudérou, Auribareille, Bugatet, Barrada**. Tous possèdent les caractères de vieilles forêts et une valeur biologique supérieure à la moyenne des hêtraies-sapinières exploitées que nous connaissons dans les Pyrénées et dont la forêt du Groupement Forestier de Hêches représente une « référence moyenne » (Larrieu *et al.*, 2009 ; voir, annexe 18, la comparaison des assemblages d'espèces remarquables entre ces sites).

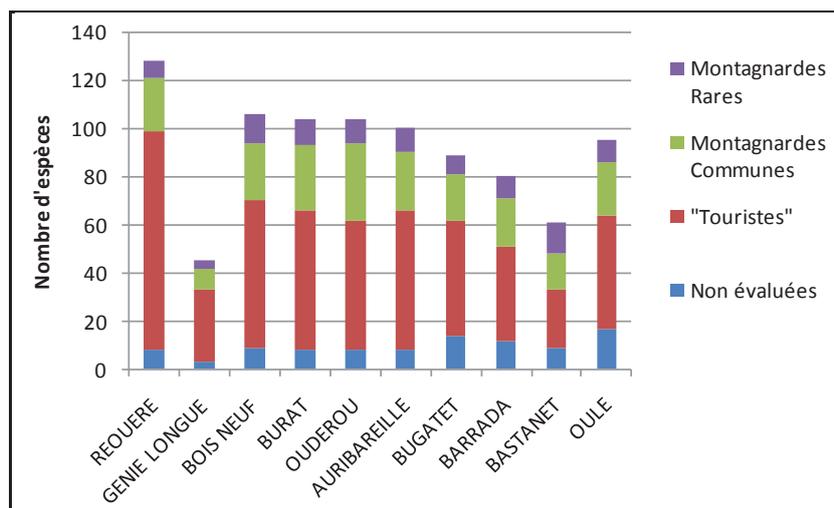


Figure 83. Répartition des espèces de coléoptères saproxyliques selon leur rareté et leur distribution (en nombre d'espèces)

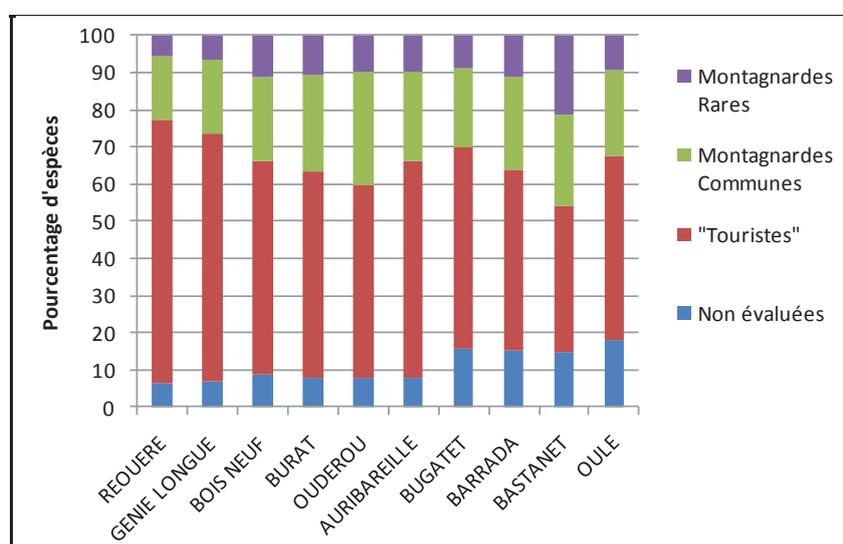


Figure 84. Répartition des espèces de coléoptères saproxyliques selon leur rareté et leur distribution (en pourcentages)

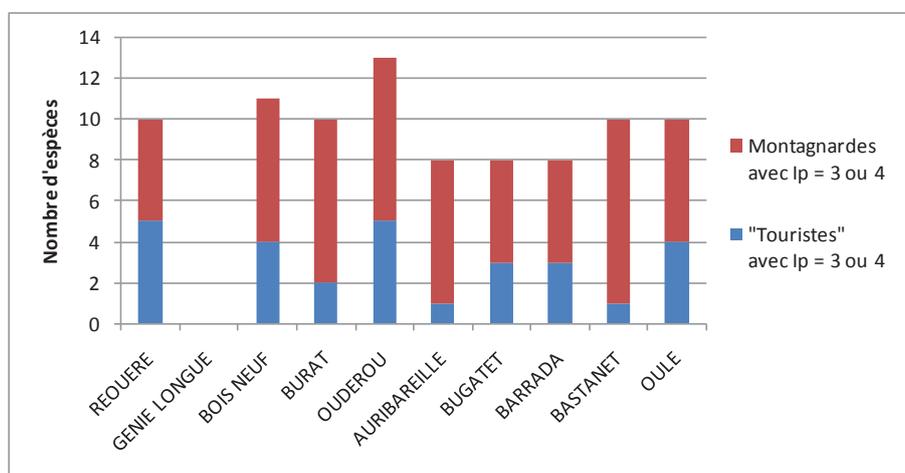


Figure 85. Nombre d'espèces de coléoptères saproxyliques les plus rares (Ip = 3 ou 4)

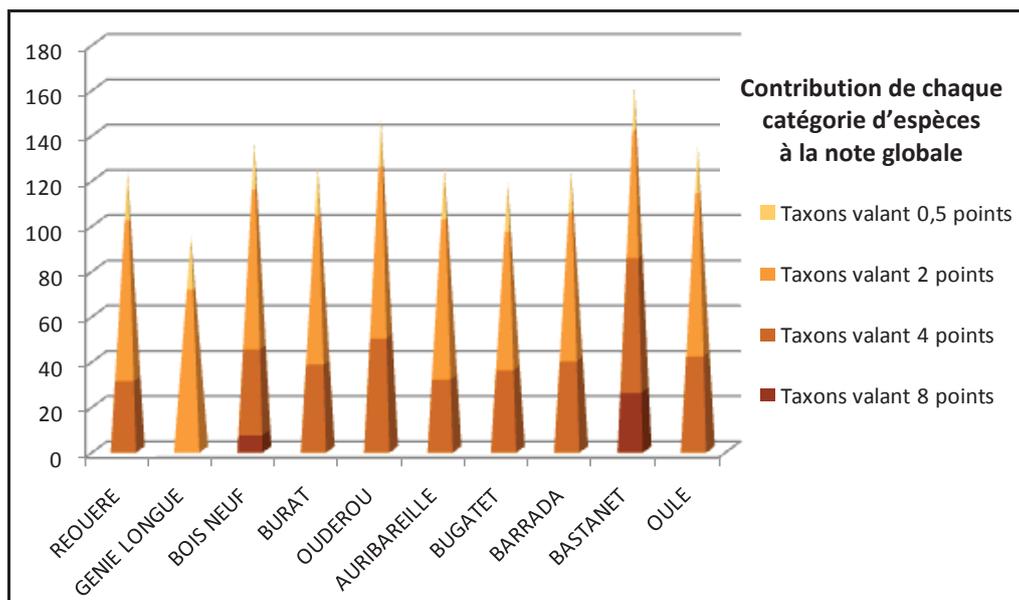


Figure 86. Part des 4 catégories de taxons de coléoptères saproxyliques dans la note d'intérêt de chaque site

Dans cette représentation, la note attribuée à chaque groupe de taxons correspond à la somme des notes attribuées aux taxons représentés, divisée par le nombre total d'espèces observées sur le site.

La couleur de la pyramide est claire si l'intérêt de la communauté est modéré, foncée s'il est fort.

Les **pineraies** de **Bastanet** et de **Oule** présentent une richesse spécifique assez importante (de 61 à 95 espèces ; Figure 83) avec, comme attendu, une forte proportion d'espèces de forêts de montagne (32 à 46% ; Figure 84). Elles comptent une dizaine d'espèces avec un Ip de 3 ou 4, dont une forte majorité d'espèces montagnardes (60 à 90% ; Figure 85), ce qui leur confère un indice d'intérêt important (135 à Oule, 148 à Bastanet ; Figure 86). Elles offrent le gîte à des espèces exceptionnelles en France. Bien entendu, nous sommes en présence de relictés en limite d'aire sur des sites qui, certes, sont les plus intéressantes pineraies nationales, mais ont également subi des atteintes pastorales et des prélèvements de bois dont les effets sont encore visibles aujourd'hui.

Les tests statistiques réalisés sur les assemblages par site mettent en évidence une relation positive assez nette entre le nombre d'espèces montagnardes et la diversité des habitats liés au bois mort et aux arbres sénescents, bien que, pour Génie Longue, le nombre d'espèces observées soit très inférieur à celui attendu compte tenu de la forte diversité en habitats disponibles (Figure 87). Cela tient sans doute à la faible "piégeabilité" du site (fort confinement, humidité importante et constante) ou à des conditions stationnelles, notamment micro-climatiques, défavorables à l'accueil des coléoptères saproxyliques.

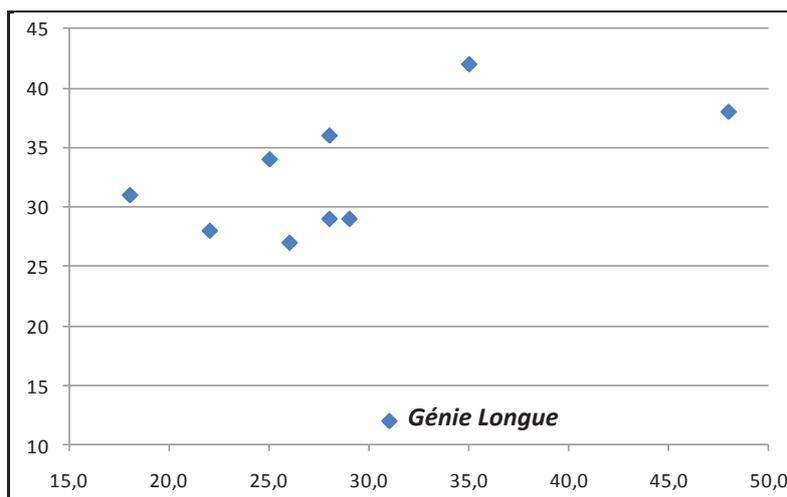


Figure 87. Relation entre le nombre d'espèces de coléoptères montagnardes et la diversité en habitats liés au bois mort et aux arbres sénescents

• espèces les plus remarquables

Les espèces les plus intéressantes sont celles qui présentent les exigences biologiques les plus fortes et/ou dont la répartition actuelle est la plus fragmentée. Ces "bio-indicateurs" comprennent en particulier des relictés boréo-alpines ou des relictés glaciaires. Les cortèges saproxyliques associés aux pineraies d'altitude sont particulièrement remarquables avec :

- ***Calytis scabra*** TROGOSSITIDAE (Figure 88) : capturé en 1 seul exemplaire à Bastanet, connu de seulement deux stations en France : le massif forestier du Néouvielle (depuis le lac de l'Oule jusqu'au lac de Cap de Long) et la haute vallée du Rioumajou (Brustel, 2009) ;
- ***Danosoma fasciatum*** ELATERIDAE : une seule capture au piège, à Bastanet, pour cette espèce assez souvent observée dans les quelques rares vieilles pineraies des Pyrénées (massif de La Pierre-Saint-Martin, vallée du Marcadau, massif du Néouvielle, vallée du Rioumajou) ;
- ***Acmaeops marginatus*** CERAMBYCIDAE : les seules captures récentes de cette espèce dans les Pyrénées ont été réalisées par la présente étude (sites de Bastanet et de Oule, 1 seul individu pour chacun) et dans deux autres sites seulement (Rioumajou et Réserve Naturelle de Jujols) ;
- ***Tragosoma depsarium*** CERAMBYCIDAE (Figure 88) : pour cette espèce, capturée 1 seule fois à Bastanet, 3 sites représentent les principales populations pyrénéennes (et même nationales) : vallée du Marcadau, massif du Néouvielle et vallée du Rioumajou ;
- ***Calopus serraticornis*** OEDEMERIDAE : capturée en 3 exemplaires à Bastanet, cette espèce est également liée aux dernières pineraies d'altitude des Pyrénées : massifs forestiers de Cerdagne et du Capcir, vallée du Rioumajou, massif du Néouvielle, ... ;

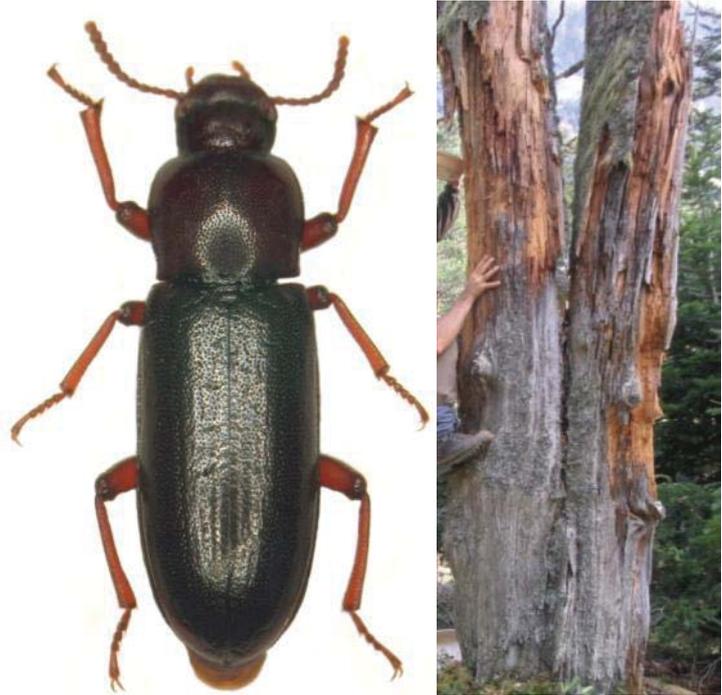
En sapinière (-hêtraie) et en sapinière, les espèces les plus intéressantes sont représentées par :

- ***Bius thoracicus*** TENEBRIONIDAE (Figure 88) : la capture d'1 individu à Bois Neuf constitue la troisième donnée en France depuis 150 ans, après la vallée du Marcadau et une capture en Haute-Savoie (Brustel & Soldati, 2009). C'est une espèce très rare des résineux, aussi bien sur sapin que sur pin ;
- ***Diacanthous undulatus*** ELATERIDAE : espèce liée aux gros sapins morts, l'abondance de cette espèce à Bois Neuf (14 captures) est exceptionnelle. Elle a aussi été relevée, mais en moins grand nombre, à Auribareille, Burat, Bugatet et, avec 1 individu, à Barrada, Bastanet et Oudérou ;



Calytis scabra, capturé en un seul exemplaire à Bastanet, connu de seulement deux sites en France : le massif forestier du Néouvielle (depuis le lac de l'Oule jusqu'au lac de Cap de Long) et la haute vallée du Rioumajou

Photo : Nicolas GOUIX, CREN MP



Bius thoracicus : la capture d'un individu à Bois Neuf constitue la troisième donnée en France depuis 150 ans, après la vallée du Marcadau et une capture en Haute-Savoie. C'est une espèce très rare des résineux, aussi bien sur sapin que sur pin. A droite, chandelle de pin constituant son habitat.

Photos : à gauche, Pierre ZAGATTI, INRA Versailles
à droite, Cyrille VAN-MEER, ONF

Tragosoma depsarium : pour cette espèce, capturée 1 seule fois à Bastanet, 3 sites représentent les principales populations pyrénéennes (et même nationales) : la vallée du Marcadau, le massif du Néouvielle et la vallée du Rioumajou

Photo : Lionel VALLADARES,
EI PURPAN



Figure 88. Quelques espèces de coléoptères saproxyliques remarquables observées dans les sites étudiés

- *Xylophilus corticalis* EUCNEMIDAE : cette espèce remarquable liée aux gros bois morts de sapin et de hêtre est particulièrement bien représentée dans notre jeu de données (abondante à Bois Neuf, Oudérou et Burat, en moindre effectif à Réouère) ;
- *Benibotarus alternatus* LYCIDAE : espèce endémique pyrénéo-ibérique, elle semble présente dans toutes les « vieilles forêts » pyrénéennes qui offrent de gros bois résineux cariés dont elle dépend. Elle a été capturée en 1 seul exemplaire dans quatre sites : Auribareille, Barrada, Oudérou et Réouère. La récolte à vue fin mai semble cependant plus efficace que le piégeage.

• *valeur biologique des 10 forêts étudiées*

En conclusion, l'inventaire des coléoptères saproxyliques des 10 forêts étudiées est l'occasion de situer ces sites par rapport à des massifs remarquables des Pyrénées (annexe 25), sur une échelle de valeur en 5 classes (Bouget & Brustel, 2010). Cette approche reste cependant davantage adaptée à l'échelle de massifs plus importants que les sites étudiés qu'ils englobent parfois :

1. **forêts exceptionnelles**, à caractère naturel, présentant des cortèges saproxyliques originels "intacts" (exemples : vallée d'Ossau, massif du Néouvielle, forêt d'Iraty) avec, comme espèces repères, *Lacon lepidopterus*, *Bius thoracicus*, *Calytis scabra*, *Calopus seraticornis*, *Rhysodes sulcatus*, *Tragosoma depsarium*, ... : **sites de Bois Neuf et Bastanet** ;
2. **forêts riches**, avec espaces ayant conservé un caractère sub-naturel et des cortèges saproxyliques originels où quelques espèces très rares manquent (exemples : massifs du Carlit et de Bragues, forêts du Canigou, ...), avec *Ostoma ferruginea*, *Diacanthous undulatus*, *Ampedus nigrinus*, *Xylophilus corticalis*, *Benibotarus alternatus*, *Acmaeops marginatus*, *Danosoma fasciatum*, ... : **sites de Burat, Barrada, Oule, Auribareille, Oudérou et Bugatet** ;
3. **forêts en état correct de conservation**, ayant gardé une continuité forestière, avec essences forestières autochtones (dont les dryades), mais dont les espèces les plus rares ont disparu à l'occasion des exploitations de bois sévères ou de la gestion sylvopastorale passées (jusqu'au début du XX^{ème}) : **sites de Réouère et Génie Longue** ;
4. **forêts fortement dégradées** par le passé, avec disparition de certaines essences forestières autochtones (perte d'une dryade), régularisation et/ou banalisation des peuplements (exemples : nombreuses forêts d'Ariège centrale intensivement charbonnées ou forêts naturelles de reconquête) ;
5. **forêts sans intérêt entomologique** : forêts artificielles à essences exotiques et/ou accrues récents de reconquête.

2.3.5. Relations entre les taxons étudiés et conclusions sur l'étude (A. BRIN, EI PURPAN)

Plusieurs types d'analyses statistiques ont été menées afin de mettre en relation les compositions des assemblages d'espèces des taxons étudiés, entre eux et avec les caractéristiques des sites (données stationnelles, gestion passée, données dendrologiques, quantité et qualité du bois mort, densité et diversité des micro-habitats, ...).

Les coefficients de Spearman¹ ne montrent aucune corrélation significative ($p < 0,05$) entre les richesses spécifiques des différents taxons étudiés dans les 10 sites choisis. Le test de Mantel² met cependant en évidence des corrélations entre les compositions des différents assemblages (Tableau 20 ; valeurs de $r \leq 0,05$ dans la moitié supérieure droite du tableau), plus particulièrement nettes (valeurs de p supérieures à 0,6 dans la moitié inférieure gauche du Tableau 20) entre :

- champignons saproxyliques et coléoptères saproxyliques,
- champignons saproxyliques et bryophytes saproxyliques,
- coléoptères saproxyliques et bryophytes saproxyliques.

Ces corrélations peuvent être expliquées par une communauté de substrat à ces 3 taxons :

- . le bois mort : son volume, sa diversité (taille des pièces, stade de décomposition, position dans l'espace, répartition sur les sites, ...)
- . les arbres vivants mais sénescents, en général porteurs de micro-habitats, et souvent colonisés par divers organismes saproxyliques ;
- . des liens mutualistes entre ces communautés (facilitation, création de microhabitats favorables).

Tableau 20. Matrice des distances de Jaccard. Résultats du test de Mantel (valeurs r et p associées)
(valeurs de r en italique en haut à droite ; valeurs de p en bas à gauche)

	Bryophytes	Syrphes	Champignons	Lichens	Coléoptères	Plantes vasculaires
Bryophytes	-	<i>0.010</i>	<i>0.001</i>	<i>0.680</i>	<i>0.010</i>	<i>0.010</i>
Syrphes	0.39	-	<i>0.039</i>	<i>0.05</i>	<i>0.040</i>	<i>0.010</i>
Champignons	0.79	0.30	-	<i>0.21</i>	<i>0.002</i>	<i>0.001</i>
Lichens	-0.12	0.33	0.24	-	<i>0.05</i>	<i>0.52</i>
Coléoptères	0.64	0.48	0.80	0.43	-	<i>0.010</i>
Plantes vasculaires	0.68	0.41	0.66	0.00	0.64	-

Il existe aussi des corrélations nettes entre les compositions des assemblages suivants :

- plantes vasculaires et bryophytes saproxyliques
- plantes vasculaires et champignons saproxyliques
- plantes vasculaires et coléoptères saproxyliques

¹ La **corrélation de Spearman** consiste à trouver un coefficient de corrélation, non pas entre les valeurs prises par les deux variables, mais entre les rangs de ces valeurs. Elle permet de repérer des corrélations monotones. Cette corrélation est utilisée lorsque les distributions des variables sont asymétriques.

² Le **test de Mantel** est utilisé pour mesurer et tester la corrélation linéaire entre deux matrices de proximité (similarité ou dissimilarité). Il consiste à calculer quel coefficient de corrélation serait obtenu si l'on permutait les valeurs observées pour l'une des matrices. La p-value est alors déterminée à partir de la distribution des S coefficients obtenus après S permutations.

Ces corrélations sont plus difficiles à expliquer. Elles pourraient venir de leur relation commune avec le niveau de maturité des sites. Il existe en effet une relation positive nette :

- . entre le pourcentage d'espèces de flore vasculaire indicatrices de forêt ancienne et le niveau de maturité du site (Figure 54),
- . entre le nombre d'espèces de champignons saproxyliques et la diversité en habitats liés au bois mort et aux arbres sénescents (Figure 68),
- . entre le nombre d'espèces de coléoptères saproxyliques montagnards et la diversité en habitats liés au bois mort et aux arbres sénescents (Figure 87),

la variable « diversité en habitats liés au bois mort et aux arbres sénescents » étant assez nettement reliée au niveau de maturité des sites (Figure 46).

Entre les compositions des assemblages de lichens, d'une part, de syrphes, d'autre part, et celles des autres taxons étudiés, même si les valeurs de r mettent en évidence des corrélations (sauf entre lichens d'une part et Bryophytes, champignons, plantes vasculaires, d'autre part) elles restent peu nettes (valeurs de p inférieures à 0,6 ; Tableau 20). Pour les syrphes, cela tient peut-être à la grande mobilité des espèces de ce taxon, leur fidélité aux lieux de capture semblant assez faible.

Si on s'intéresse aux indicateurs indirects de la biodiversité, en particulier aux indicateurs structurels, malgré les gradients de volume de bois mort et de bois vivant dans les sites étudiés, ni le volume de bois mort, ni le rapport volume de bois mort / volume de bois vivant n'apparaissent déterminer la richesse spécifique ou la composition des assemblages saproxyliques. **Par contre, il existe une relation positive nette entre les richesses en champignons saproxyliques, en syrphes indicateurs de vieilles forêts, en coléoptères saproxyliques montagnards, d'une part, et la diversité en habitats liés au bois mort et aux arbres sénescents, d'autre part** (Figure 89).

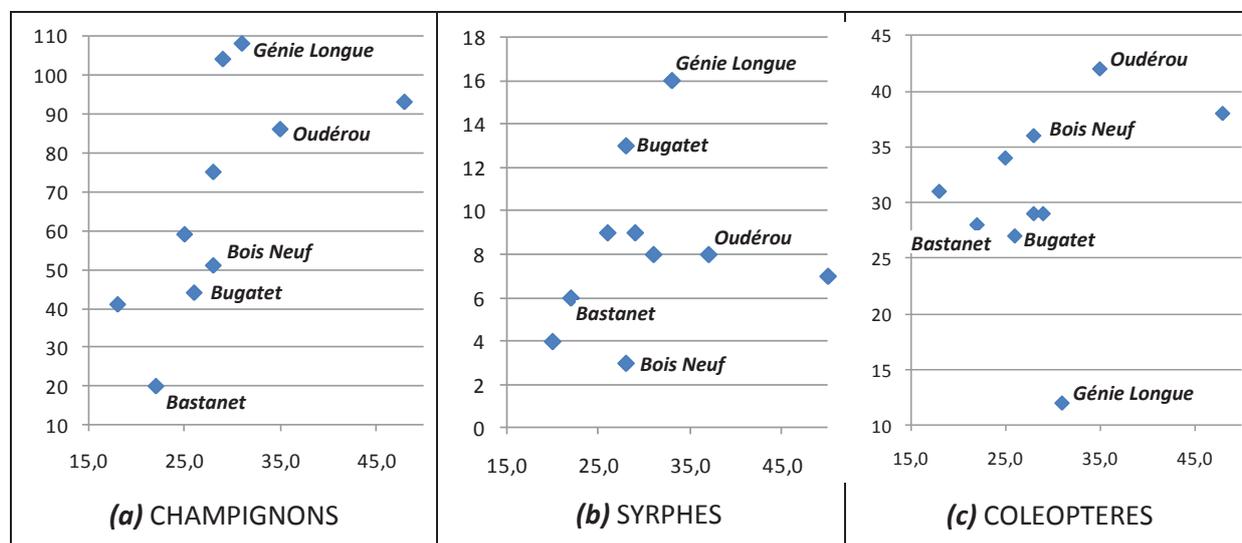


Figure 89. Relations entre la richesse spécifique (en ordonnée)

- . en champignons saproxyliques (a),**
- . en syrphes indicateurs de vieilles forêts (b),**
- . en coléoptères saproxyliques montagnards (c)**

et la diversité en habitats liés au bois mort et aux arbres sénescents (en abscisse)

(Remarque : seuls les sites les plus démonstratifs sont pointés afin de ne pas surcharger la figure)

Le classement des sites sur chacun des graphes peut illustrer de façon détaillée ce que le test de corrélation de rang de Spearman a mis en évidence. Ce classement montre l'influence des conditions stationnelles, en particulier des conditions micro-climatiques, sur la composition des assemblages des différents taxons (Tableau 21) :

- le site de Génie Longue présente une faible richesse en coléoptères saproxyliques au regard de la diversité d'habitats du site, alors que les richesses en champignons saproxyliques et en syrphes indicateurs de vieilles forêts y sont les plus fortes. Cette situation pourrait être liée au micro-climat frais et humide du site qui favoriserait les champignons et les syrphes et pénaliseraient la piégeabilité des coléoptères saproxyliques ;
- le site de Oudérou, par contre, sans doute en raison de son exposition plus chaude, présente la plus forte richesse en coléoptères alors qu'elle reste moyenne en syrphes et en champignons (l'échantillonnage en champignons y a été modeste compte-tenu d'années peu favorables du point de vue météorologique sur de telles stations) ;
- le site de Bugatet, qui présente la 2^o meilleure richesse en syrphes, sans doute en raison de la présence de couloirs d'avalanches bien pourvue en espèces végétales fleuries, reste mal classé pour les champignons et les coléoptères ;
- le site de Bois Neuf possède la plus faible richesse en syrphes, peut-être en raison de la présence à faible distance, sur le versant sud du sommet dominant le site, de prairies très attractives pour les espèces de ce taxon. Il est par contre bien classé pour les coléoptères ;
- le site de Bastanet est le plus mal classé si l'on tient compte globalement des richesses spécifiques des 3 taxons. Cette place dans le classement doit cependant être relativisée car il s'agit d'une pineraie d'altitude, moins riche en espèces du fait des conditions climatiques difficiles qui y règnent, mais dont l'assemblage comporte des espèces typiques et rares à l'échelle nationale, en particulier pour les coléoptères ;
- les autres sites sont :
 - . plutôt bien classés : Réouère et Auribareille,
 - . plutôt mal classé : Oule,
 - . classés vers le milieu du tableau : Barrada et Burat.

Tableau 21. Classement des sites en fonction de leur richesse en champignons saproxyliques, en syrphes indicateurs de vieilles forêts et en coléoptères saproxyliques montagnards

Sites	CHAMPIGNONS	SYRPHES	COLEOPTERES
OUDEROU	4	5	1
BURAT	3	7	2
GENIE LONGUE	1	1	10
REOUERE	2	5	6
AURIBAREILLE	6	4	4
BARRADA	5	3	7
BUGATET	8	2	9
BOIS NEUF	7	10	3
OULE	9	9	5
BASTANET	10	8	8

Il faut cependant ne pas tirer de conclusions définitives des analyses présentées ci-dessus, basées uniquement sur la richesse spécifique. Cette valeur est en effet très liée à la qualité de l'échantillonnage qui est de toute façon très partiel compte-tenu du faible nombre d'années de relevé (2) et des conditions météorologiques qui ont été globalement peu favorables pour de nombreux taxons, en particulier les champignons, les coléoptères et les syrphes. Même en espérant un inventaire représentatif, la richesse brute reste un médiocre indicateur de la qualité de l'écosystème (la dégradation favorise les possibilités de pénétration d'espèces extra-forestières, d'ourlets, de landes ou de pelouses, augmentant l'hétérogénéité, mais pas la qualité de l'habitat). De plus, des facteurs importants moins directement liés à la maturité ou l'ancienneté forestière interviennent fortement, telle la composition en essences (sites à substrats feuillus plus diversifiés naturellement), la structure du peuplement (spécificité du site de Réouère) ou le microclimat (particularités des sites de Génie Longue et Bastanet).

Pour éviter cela, selon le même principe que précédemment, on a classé les sites en fonction d'indicateurs apparus au cours de l'étude comme pertinents pour hiérarchiser les sites à l'aide des taxons étudiés dans cette étude :

- pour les plantes vasculaires : pourcentage d'espèces indicatrices de forêts anciennes,
- pour les mousses saxiproxyliques : nombre total d'espèces,
- pour les lichens corticaux : nombre d'espèces indicatrices de continuité forestière,
- pour les champignons : pourcentage d'espèces remarquables, indicatrices de vieilles forêts,
- pour les syrphes : pourcentage d'espèces indicatrices de vieilles forêts,
- pour les coléoptères : nombre d'espèces saxiproxyliques montagnardes.

Le Tableau 22 met en évidence des classements des sites souvent très différents selon les taxons :

Tableau 22. Classement des sites en fonction du pourcentage d'espèces de plantes indicatrices de forêts anciennes, du nombre d'espèces de Bryophytes saxiproxyliques, du nombre d'espèces de lichens corticoles indicatrices de continuité forestière, du pourcentage d'espèces de champignons saxiproxyliques indicatrices de vieilles forêts, du pourcentage d'espèces de syrphes indicatrices de vieilles forêts et du nombre d'espèces de coléoptères saxiproxyliques montagnards

Remarque : les sites présentant des valeurs proches (1 ou 2 unités d'écart) pour un indicateur donné ont été classés au même rang pour cet indicateur

Sites	plantes	mousses	lichens	champignons	syrphes	coléoptères	TOTAL
BURAT	1	2	3	3	4	2	15
OUDEYOU	7	4	2	3	6	1	24
BARRADA	2	6	6	3	5	7	29
AURIBAREILLE	2	6	9	1	7	4	29
BOIS NEUF	5	2	4	7	9	3	30
GENIE LONGUE	2	9	1	9	1	10	32
BUGATET	6	5	10	2	3	9	35
OULE	10	1	8	3	10	5	37
REOUERE	8	10	5	10	2	6	41
BASTANET	9	8	6	8	8	8	47

- le site de **Burat** se classe toujours dans les 3 premiers, sauf pour les syrphes (4^{ème}) ;
- le site de **Bastanet** est toujours classé dans les 3 derniers, sauf pour les lichens ;
- le site de **Génie Longue** est classé dans les 2 premiers pour les plantes, les lichens et les syrphes, mais dans les 2 derniers pour les mousses, les champignons et les coléoptères ;
- le site de **Oule** est classé dans les trois premiers pour les mousses et les champignons, mais dans les 3 derniers pour les plantes, les lichens et les syrphes ;
- plusieurs sites se classent, pour la plupart des taxons, soit dans le haut du tableau (**Oudérou** et **Barrada**), soit dans le bas du tableau (**Réouère** et **Bugatet**), alors que pour d'autres, les classements sont plus dispersés (**Auribareille** et **Bois Neuf**, 1^{er} à 9^{ème} selon les taxons).

La Figure 90 reprend ces classements, pour l'ensemble des taxons tout d'abord, puis en excluant les plantes vasculaires, puis les plantes vasculaires et les lichens, taxons qui sont plus indicateurs de forêt ancienne que de vieille forêt, enfin le classement basé sur les seuls taxons saproxyliques ou liés aux habitats d'arbres morts ou sénescents (mousses saproxyliques, champignons saproxyliques, syrphes indicateurs de vieilles forêt, coléoptères saproxyliques).

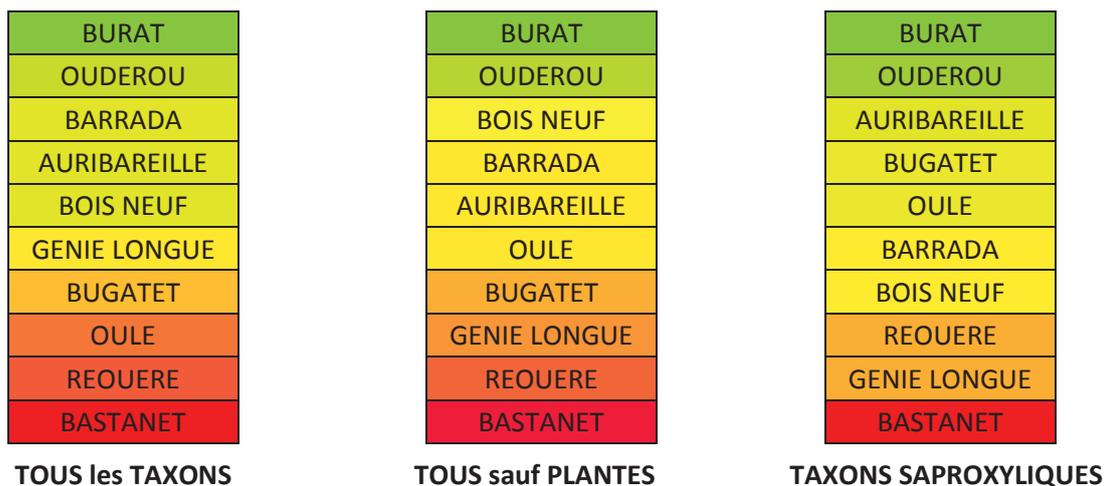


Figure 90. Classement des sites selon leur richesse dans les différents taxons étudiés

Globalement, les classements diffèrent peu :

- les sites de **Burat** et **Oudérou** restent toujours les mieux classés, quels que soient les taxons pris en compte ;
- le site de **Auribareille** est classé dans le 2^{ème} quart du tableau (3^{ème} à 5^{ème}), comme le site de **Barrada** (3^{ème} à 6^{ème}) ;
- le site de **Bois Neuf** vient en milieu de classement (3^{ème} à 7^{ème}), comme celui de **Bugatet** (4^{ème} à 7^{ème}) ;
- le site de **Oule** vient ensuite, avec un classement plus variable (6^{ème} ou 8^{ème}, mais 5^{ème} pour les taxons saproxyliques) ;

- les sites de **Réouère** et **Génie Longue** sont classés 8^{ème} ou 9^{ème} (mais Génie Longue est mieux classé (6^{ème}) si on tient compte de tous les taxons, en raison de sa 2^{ème} place pour les plantes vasculaires) ;
- le site de **Bastanet** arrive toujours en dernière position.

Globalement, on peut noter un **bon classement des sapinières (-hêtraies)** avec les sites de **Burat, Oudérou, Auribareille** et **Barrada**. Les **sapinières subalpines arrivent un cran en arrière** avec les sites de **Bois Neuf** et **Bugatet**. Les **hêtraies (Génie Longue et Réouère) arrivent vers la fin du classement**, mais les particularités des deux sites étudiés rendent difficiles une appréciation globale. La pineraie (-sapinière) de **Oule** est assez bien notée. La pineraie pure de **Bastanet** reste toujours la plus mal classée, mais il faut cependant tenir compte du plus faible potentiel d'espèces à l'altitude de ce site.

Ces classements ne prennent cependant pas en compte l'intérêt patrimonial des espèces, ce qui modifierait encore la hiérarchisation des sites. Les pineraies de Oule et Bastanet sont ainsi quelque peu "hors concours" en raison de leur originalité : placées dans les fins des classements si on ne prend en compte que la richesse spécifique des différents taxons étudiés, leur place devient beaucoup plus variable si on utilise les notes d'intérêt.

Les résultats de l'étude suggèrent donc que les standards des différents indicateurs permettant d'évaluer l'intérêt d'un site en tant que vieille forêt doivent être basés sur une approche pluri taxonomique et pas seulement sur la richesse spécifique de tous les taxons confondus. Le volume du bois mort, sa qualité, la densité et la diversité des habitats liés aux arbres sénescents, ... ne sont pas les seuls facteurs permettant d'expliquer la richesse spécifique des différents taxons. Le cas du site de Génie Longue illustre par exemple l'influence des conditions micro-climatiques sur la composition des assemblages de champignons, de syrphes et de coléoptères. Ces résultats corroborent ceux de Gjerde *et al.* (2007), de Blasi *et al.* (2010) et de Brunialti *et al.* (2010).

Les résultats confirment l'importance du niveau de maturation forestière, de la diversité des essences susceptibles d'accueillir les différents taxons, de la quantité et de la diversité des habitats liés au bois mort et aux arbres sénescents pour la composition des assemblages des taxons saproxyliques ou associés aux vieux arbres et sont en adéquation avec ceux de McGeoch *et al.* (2007) et Similä *et al.* (2003).

3. Méthode d'évaluation des sites abritant potentiellement des vieilles forêts

Les objectifs de la deuxième phase du projet « Vieilles Forêts Pyrénéennes de Midi-Pyrénées » sont dans un premier temps :

- de rechercher, dans les sites référencés dans la base de données et cartographiés, les forêts possédant effectivement les attributs de vieilles forêts ;
- de cartographier le plus précisément possibles ces noyaux de vieilles forêts ;
- d'en rechercher les archives de gestion - travail souvent fort long, même pour un expert en recherches de ce type – pour tenter de bien comprendre les particularités actuelles avec un regard qui ne soit pas celui de nos jours ;
- d'évaluer l'intérêt de ces forêts à l'aide d'indicateurs dont la notation soit compatible avec le temps accordé à la réalisation de cette opération.

La base de données comporte seulement une dizaine de sites localisés à basse altitude et la très grande majorité des sites s'étend sur les étages montagnards moyen et supérieur et sur l'étage subalpin. En raison notamment de l'enneigement à ces altitudes, ces sites ne sont accessibles, au mieux, que pendant 8 mois de l'année. En plus, il faut tenir compte des difficultés d'accès (en général pas de desserte forestière et forts dénivelés à partir des routes carrossables les plus proches) et il n'est donc envisageable de réaliser, dans la plupart des cas, que l'évaluation d'un seul site par jour. Par ailleurs, afin d'appréhender la variabilité intra-site, l'évaluation de chaque site nécessite la réalisation de notations sur plusieurs placettes d'observation (au moins 2 à 5 selon la surface des sites). Une partie du temps sur site sera également consacrée à la délimitation du ou des noyaux de vieille forêt. Il est alors réaliste de ne consacrer que 1h à la réalisation des notations sur une seule placette et cela nécessite de ne relever qu'un nombre limité d'informations pertinentes.

Les informations générales suivantes seront recueillies sur le terrain pour chacun des sites référencés dans la base de données :

- délimitation, par GPS et sur cartes au 1/25 000°, du contour du noyau renfermant effectivement des vieilles forêts et, éventuellement, en cas de nette hétérogénéité du noyau, du contour de secteurs homogènes par leurs caractéristiques (étagement altitudinal, composition en essences, abondance du bois mort, stade dynamique, gestion passée, ...)

- évaluation de chaque secteur homogène sur une placette d'observation de 1 ha pour 25 ha de vieille forêt, avec au minimum 2 et au maximum 5 placettes d'observation par secteur homogène (taux d'échantillonnage de 4 à 8% jusqu'à 125 ha).

Compte tenu des conclusions de l'étude des 10 sites tests, les directives suivantes devront être respectées :

- chaque équipe devra être constituée d'**au moins deux experts** ayant des compétences dans des champs taxonomiques différents incluant au moins les coléoptères saproxyliques ou les champignons saproxyliques, le deuxième expert étant préférentiellement un phytoécologue ;
- l'**ambiance micro-climatique** des sites a été mise en évidence comme ayant une influence sur la richesse spécifique différentielle entre certains taxons (notamment champignons et coléoptères). Elle sera évaluée par l'exposition dominante du site, sa pente moyenne, son niveau de confinement et le degré de fermeture du couvert ;
- le **niveau de maturité forestière** des sites a été identifié comme un paramètre important pour qualifier une vieille forêt et il sera évalué par 3 notations :

- . la **présence des dryades naturelles** (ou des essences de maturation si un blocage stationnel aux essences nomades peut être mis en évidence sur le site) : hêtre et chêne sessile à l'étage collinéen moyen, hêtre à l'étage collinéen supérieur, hêtre et sapin pectiné à l'étage montagnard, sapin pectiné à l'étage subalpin inférieur, pin à crochets à l'étage subalpin supérieur. La notation indique le pourcentage de présence des essences attendues dans l'étage bioclimatique considéré.
 - . la **présence d'essences arborescentes non dryades** dans l'étage bioclimatique considéré : chêne pubescent, chêne pédonculé, ... à l'étage collinéen, chêne sessile et pin sylvestre (sauf stations particulières) à l'étage montagnard, pin à crochets à l'étage subalpin inférieur, ... La notation indique le pourcentage de présence des essences non dryades présentes dans l'étage bioclimatique considéré.
 - . la **densité de TGB vivants** (C > 220 cm). Pour tenir compte de la faible vitesse de croissance dans l'étage subalpin, on notera la densité des GB et des TGB vivants (C > 140 cm).
- les niveaux d'abondance et de diversité des habitats liés au bois mort et aux arbres sénescents ont été mis en évidence comme des variables majeures pour expliquer la richesse spécifique de certains taxons (en particulier les champignons et les coléoptères saproxyliques) et ils seront évalués par 10 notations :
- . la **densité de GB et de TGB morts sur pied** (C > 120 cm). Pour tenir compte de la faible vitesse de croissance dans l'étage subalpin, on notera la densité de BM, GB et TGB morts sur pied (C > 90 cm).
 - . la **densité de GB et de TGB morts au sol** (C > 120 cm). Pour tenir compte de la faible vitesse de croissance dans l'étage subalpin, on notera la densité de BM, GB et TGB morts sur pied (C > 90 cm).
 - . la **densité de cavités de tronc à terreau ou bois carié** (cavités remplies de terreau et bois cariés au stade de saproxylation 3 et plus), de diamètre de l'orifice supérieur à 3 cm
 - . la **densité de cavités de tronc vides**, de diamètre de l'orifice supérieur à 3 cm
 - . la **densité de fentes** susceptibles d'abriter des chauves-souris : ouvertures dans le tronc de plus de 1 cm de diamètre (sans seuil de longueur) et écorces décollées, situées à plus d'1 m du sol
 - . la **densité de carpophores** de champignons saproxyliques coriaces ou charnus **sur bois vivant**
 - . la **densité d'arbres porteurs de bois mort dans le houppier** (les individus pris en compte comportent plus de 20 % du houppier mort)
 - . la **diversité des micro-habitats** : outre la présence de cavités de tronc (vides et à terreau), de fentes, de carpophores de champignons saproxyliques sur arbres vivants et d'arbres porteurs de bois mort dans le houppier, déjà relevés, on notera également la présence (mais pas le nombre) :
 - . de **cavités de pied**, de diamètre de l'orifice supérieur à 3 cm,
 - . de **zones de bois dur apparent** (bois dur apparent au stade de saproxylation 1 ou 2), d'une taille minimale de 100 cm²,
 - . de **coulées de sève** actives (coulées de résine exclues), de longueur supérieure à 10 cm,
 - . de **dendrotelmes**,
 - . de **carpophores de champignons saproxyliques sur bois mort debout**,

- . de **carpophores de champignons saproxyliques sur bois mort au sol**,
- . d'**arbres porteurs de plantes épiphytes** (lianes dont *Hedera helix*), si elles recouvrent plus d'1/3 de la surface du tronc ou du houppier de l'arbre.

Chaque type de micro-habitat vaut 1 point (soit un maximum de 12 points possibles), mais ce point n'est acquis que si chacune des placettes de notation du site évalué porte ce micro-habitat (pas de compensation entre placette).

- la **présence de traces d'exploitation** : coupes, charbonnières, ...
- les **menaces potentielles sur le site** : la distance à la route forestière la plus proche, la possibilité d'implantation d'une desserte nouvelle, d'un câble, ...
- les **protections objectives** dont le site peut bénéficier et qui limitent les possibilités d'implantation de desserte : la pente moyenne, la présence de ressauts ou de barres rocheuses, l'existence de terrains instables, ...
- le **potentiel d'accueil** du site, pour les taxons maîtisés par l'équipe d'experts qui réalise le relevé.

L'ensemble de ces informations sera saisi en base de données reliée sous SIG à une cartographie précise des sites évalués. Ces informations seront ensuite traitées statistiquement afin de réaliser une typologie des sites. Une hiérarchisation de ces sites sera ensuite effectuée, *a posteriori*, type forestier par type forestier et vallée par vallée, afin de tenir compte du potentiel d'accueil d'espèces propre à chaque essence et à chaque étage bioclimatique, et pour prendre en compte le contexte particulier de chaque vallée. Cette démarche aboutira à la mise en évidence de la qualité environnementale des forêts évaluées, réparties en « hot spots » et en sites d'importance secondaire.

BIBLIOGRAPHIE

- ADMAČIK S., CHRISTENSEN M., HEILMANN-CLAUSEN J., WALLEYN R., 2007 – Fungal diversity in the Poloniny National Park with emphasis on indicator species of conservation value of beech forests in Europe ; *Czech Mycol.*, 95(1) : 37-81.
- AINSWORTH, A.M. 2004. — *Developing tools for assessing fungal interest in habitat. 1: beech woodland saprotrophs*. English nature reports, 597, p. 1-75.
- ANDERSSON LI, HYTTEBORN H, 1991. Bryophytes and decaying wood : a comparison between managed and natural forest. *Holarctic Ecology*, 14, 121-130
- ANGERS, V.A., MESSIER, C., BEAUDET, M., LEDUC, A., 2005. Comparing composition and structure in old-growth and harvested (selection and diameter-limit cuts) northern hardwood stand in Quebec, *Forest Ecology and Management*, 217, 2-3,
- ASTRIE, G., PECHIN, A., 1987. Incidence de la non exploitation sur le devenir de divers types de forêts pyrénéennes. Mémoire de fin d'études ENITEF, CEMAGREF Grenoble, 96 p.
- BADER P., S. JANSSON & B. G. JONSSON. 1995. — Wood-inhabiting fungi and substratum decline in selectively logged boreal spruce forests. *Biological Conservation*, 72(3) : 355-362.
- BARDAT J, HAUGUEL JC, 2002. Synopsis bryosociologique pour la France. *Cryptogamie, Bryologie* 23: 279-343
- BARTHOD, C., 1997. *La protection des forêts dans la politique forestière française. Cas particulier des réserves intégrales*. Communication orale, Colloque Naturalité et forêts d'Europe, Conseil de l'Europe, Strasbourg.
- BARTOLI M. 2007 - "Lombardi à Arudy !" Images de l'exploitation forestière dans les Pyrénées françaises de 1916 à 1975. *Revue forestière française*, 1, 85-92.
- BARTOLI M. 2010 - Les archives forestières, une clé pour comprendre une partie de la biodiversité d'aujourd'hui. *Actes du colloque 3èmes rencontres naturalistes de Midi-Pyrénées*, 91-94
- BAUHUS J., K. PUETTMANN & C. MESSIER. 2009. — Silviculture for old-growth attributes. *Forest Ecology and Management*, 258(4) : 525-537.
- BERG Å., U. GÄRDENFORS, T. HALLINGBAÄCK & M. NORÉN. 2002. — Habitat preferences of red-listed fungi and bryophytes in woodland key habitats in southern Sweden – analyses of data from a national survey. *Biodiversity and conservation*, 11 : 1479-1503.
- BERGAMINI A., STOFER S., BOLLIGER J. et SCHEIDEGGER C., 2007 - Evaluating macrolichens and environmental variables as predictors of the diversity of epiphytic microlichens. *Lichenologist*, 39(5) : 475-489.
- BERGERON, J.F., BOUCHARD, R., VILLENEUVE, N., 1997. Les écosystèmes forestiers exceptionnels du Québec, éléments-clés de la biodiversité. *L'Aubelle*, 117, 8-11
- BERGLUND, H. & B.G. JONSSON. 2003. Nested plant and fungal communities; the importance of area and habitat quality in maximizing species capture in boreal old-growth forests. *Biological Conservation* 112 : 319-328.
- BLASI C, MARCHETTE M, CHIAVETTE U, ALEFFI M, AUDIOSIO P, AZZELLA MM, BRUNIALTI G, CAPOTORTI G, DEL VICO E, LATTANZI E, PERSIANI AM, RAVERA S, TILIA A, BURRASCANO S, 2010. Multi-taxon and forest structure sampling for identification of indicators and monitoring of old-growth forest. *Plant Biosystems*, 144, 1, 160-170

- BOBIEC A, GUTOWSKY JM, LAUDENSLAYER WL, PAWLACZYK P., ZUB K., 2005. The afterlife of a tree. WWF Poland, Warszawa
- BONHOTE, J & VERNET, JL (1988) La mémoire des charbonnières. Essai de reconstitution des milieux forestiers dans une vallée marquée par la métallurgie (Aston, haute Ariège). *Rev for fr* 3, 197-212
- BOUGET, C., H. BRUSTEL & L.-M. NAGELEISEN. 2005. — Nomenclature des groupes écologiques d'insectes liés au bois mort : synthèse et mise au point sémantique. *C. R. Biologies*, 328 : 936-948.
- BOUGET C., BRUSTEL H., 2010. Continuité des micro-habitats dans l'espace et dans le temps et conservation de l'entomofaune saproxylique. *In*: Vallauri et al. (Coord.). Biodiversité, naturalité, humanité, Chapitre 5. Lavoisier Tec & Doc, Paris : 51-58.
- 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, 1, 221-233
- BRUSTEL H., 2009. *Anthrodia* spp., Polypores hôtes de rares *Quilnus* spp. (Heteroptera Aradidae) et de *Calytis scabra* (Coleoptera Trogositidae) et révélation d'un haut lieu entomologique dans les Pyrénées : la vallée du Rioumajou. *L'Entomologiste*, 65 (5) : 227-232.
- BRUSTEL H. (2004). Coléoptères saproxyliques et valeur biologiques des forêts françaises. Office National de Forêts, Collection dossiers forestiers, N°13, février 2004, 297 p.
- BRUSTEL H., SOLDATI F., 2009. Redécouverte de *Bius thoracicus* (Fabricius, 1792) après 150 ans d'absence d'observation (Coleoptera, Tenebrionidae). *Bull. Soc. Ent. de France*, 114 (1) : 5-9.
- BRUSTEL, H., VALLADARES, L., VAN MEER, C., 2004. Contribution à la connaissance de Coléoptères saproxyliques remarquables des Pyrénées et des régions voisines. *Bull. Soc. Ent. de France*, 109 (4) : 413-424.
- CARBIENER, D., 1996. Pour une gestion écologique des forêts européennes. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 29, 19-38
- COST (European cooperation in the field of scientific and technical research) Action E4, 2000. *Forest reserves research network*. European Commission.
- CHRISTENSEN M., K. HAHN, E. P. MOUNTFORD, P. ÓDOR, T. STANDÓVAR, D. ROZENBERGAR, J. DIACI, S. WIJDEVEN, P. MEYER, S. WINTER & T. VRSKA. 2005. — Dead wood in European beech (*Fagus sylvatica*) forest reserves. *Forest Ecology and Management* 210 : 267-282.
- CHRISTENSEN, M., J. HEILMANN-CLAUSEN, R. WALLEYN & S. ADAMCIK. 2004. — Wood-inhabiting Fungi as Indicators of nature value in European beech forests. In Marchetti M. (ed.), *Monitoring and indicators of forest biodiversity in Europe – from ideas to operationality*, European Forestry Institute Proceedings, 51, p. 229-237, Saarijärvi.
- CORRIOL, G & J. VIVANT. 2010. — Évaluation patrimoniale des Génies de Saint-Pé-de-Bigorre (Hautes-Pyrénées) sur des bases mycologiques. *Bull. Soc. mycol. Béarn*, 115, à paraître.
- CORRIOL, G. & C. HANNOIRE. 2007. — Inventaire mycologique de la Réserve naturelle de la Massane (Pyrénées orientales). Synthèse des informations disponibles et première contribution. *Réserve naturelle de la Massane Travaux*, 79, p. 1-43.
- CORRIOL, G. & P.-A. MOREAU. 2007. — *Agaricus (Annularia) fenzi* redécouvert dans les Pyrénées. Notes sur le genre *Chamaeota* en Europe. *Pearsonia* 19(2), p. 233-250 .
- CORRIOL, G. 2005 (publié 2006). — Un *Gymnopilus* remarquable des vieilles sapinières pyrénéennes. *Revista catalana de micologia.*, 27, p. 49-54.
- CORRIOL, G., I. OLARIAGA, E. CANGINI & C. HANNOIRE. 2008 (publié 2010). — *Floccularia decorosa* : un champignon au bord de l'extinction en France. *Bull. Soc. mycol. France*, 124(3-4) : 169-186.

- CORRIOL, G., J. FOURNIER & B. DUHEM. 2006. — *Gestion de l'habitat du grand tétras et bénéfice escompté sur la biodiversité forestière. Partie mycologique de l'étude*. Rapport final. Convention CBN de Midi-Pyrénées – Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage. 17 p. + annexes.
- CORRIOL, G., N. DE MUNNIK, N. LEBLOND, N. LAVAUPOT & S. LAY. 2004. — *État des lieux sur les bryophytes et les champignons en Midi-Pyrénées*. Rapport final. Conservatoire botanique national de Midi-Pyrénées. 255 p.
- COURTECUISE R. 2008. — Systématique des champignons macromycètes et pratique de la mycologie sur le terrain. *Journal de botanique* 41 : pp 21-25.
- DAHLBERG A. & H. CRONEBORG. 2003. — *The distribution, status and habitat requirements of the 33 fungal candidates for listing in Appendix I of the Bern Convention*. Swedish Environment Protection Agency & European Council for Conservation of Fungi, 82 p.
- DAHLBERG A., D. R. GENNEY & J. HEILMANN-CLAUSEN. 2010. — Developing a comprehensive strategy for fungal conservation in Europe: current status and future needs. *Fungal Ecology*, sous-presse.
- DAJOZ, R., 1971 - Sur trois coléoptères du Massif du Néouvielle (Hautes-Pyrénées). Cahiers des Naturalistes, Bull.N.P., n.s. 27 : 13 -20.
- DAJOZ, R., 1977 - Les biocénoses de coléoptères de la Haute Vallée d'Aure et du Massif de Néouvielle (Hautes - Pyrénées). Cahiers des Naturalistes, Bulletin des Naturalistes Parisiens 31 (1) : 40 p.
- DECONCHAT, C., J.-P. MERAL & J.-P. VIDONNE. 2007. — Les champignons des réserves biologiques intégrales de la forêt de Fontainebleau. Les champignons sans lames. Première et deuxième parties. *Bull. Ass. natur. vallée Loing*, 83(1), p. 1-48 et 83(2) , p. 49-96.
- DUPOUEY J.L., SCIAMA D., KOERNER W., DAMBRINE E., RAMEAU J.C., 2002. La végétation des forêts anciennes. *Revue Forestière Française*, LIV – 6, 521-532
- DEPERIERS-ROBBE S, 2000. Etude préalable à l'établissement du Livre Rouge des Bryophytes menacées de France métropolitaine. Ministère de l'Environnement, DNP. Laboratoire de Phytogéographie, Université de Caen. 176 p.
- DIERSSEN K. 2000. Geographical distribution and ecological niches of European bryophytes. *Bibliotheca Lichenologica* 75: 433-444
- DULIN M.V., 2008. Rare liverworts in Komi Republic (Russia). *Folia Cryptog. Estonica*, 44, 23–31
- FALINSKI, J.B., 1986. *Vegetation dynamics in temperate lowland primeval forests*. Dr. W. Junk Publishers, GoeBotany, 8.
- FRITZ R., GUSTAFSSON L. et LARSON K., 2007 - Does forest continuity matter in conservation ? A study of epiphytic lichens and bryophytes of southern Sweden. *Biological Conservation*, 141(3) : 655-668.
- FROIDOUR L. (de), 1670. Avis pour le règlement des coupes et usages assignés sur les forêts de la maîtrise de Foix. *Arch.dép. Haute-Garonne*, 1 A 14, f° 358 à 381
- GJERDE I, SAETERSDAL M, BLOM HH, 2007. Complementary Hotspot Inventory – A method for identification of important areas for biodiversity at the forest stand level. *Biological Conservation*, 137, 4, 549-557
- GONIN-REINA P., 1988. *Contribution à l'étude de l'évolution des forêts non exploitées dans les Pyrénées*. Association Forêts pyrénéennes, Saint-Gaudens, 44 p. + ann.
- GUSTAFSSON L, HALLINGBÄCK T, 1988. Bryophyte flora and vegetation of managed and virgin coniferous forests in South-West Sweden. *Biological Conservation*, 44, 4, 283-300

- HANNOIRE C. 2006. — Compléments et validation de l'inventaire mycologique de Midi-Pyrénées, réflexion sur les méthodes de travail : rapport de stage de Master Ecologie, Biodiversité, Evolution. Orsay : Université Paris Sud XI, 60p.
- HEILMANN-CLAUSEN J., 2001. — A gradient analysis of communities of macrofungi and slimemoulds on decaying beech logs ; *Mycol. Research* 105(5) : 575-596.
- HEILMANN-CLAUSEN, J. & M. CHRISTENSEN. 2003. — Fungal diversity on decaying beech logs – implications for sustainable forestry. *Biodiversity and conservation*, 12, p. 953-973.
- HEILMANN-CLAUSEN, J. & M. CHRISTENSEN. 2004. — Does size matter?: On the importance of various dead wood fractions for fungal diversity in Danish beech forests. *Forest Ecology and Management*, 201(1) : 105-117.
- HEILMANN-CLAUSEN, J. & M. CHRISTENSEN. 2005. — Wood-inhabiting macrofungi in Danish beech-forests – conflicting diversity patterns and their implications in a conservation perspective. *Biological Conservation*, 122(4) : 633-642.
- HEILMANN-CLAUSEN, J., E. AUDE & M. CHRISTENSEN. 2004. Cryptogam communities on decaying deciduous wood – does tree species diversity matter? *Biodiversity and conservation*, 14(9) : 2061-2078.
- HEILMANN-CLAUSEN, J. & R. WALLEYN. 2007. — Some records of wood-inhabiting Fungi on *Fagus sylvatica* in northern Spain. *Revista Catalana Mycologia.*, 29, p. 67-80.
- HERAS PEREZ P, INFANTE SANCHEZ M, 2002. Musgos y hepáticas recolectadas por emilio Guinea en el País Vasco y conservadas en el Real Jardín Botánico de Madrid. *Naturzale* 17: 79-96
- HOLEKSA J., M. SANIGA, J. SZWAGRZYK, M. CZERNIAK, K. STASZYŃSKA & P. KAPUSTA. 2009. — A giant tree stand in the West Carpathians-An exception or a relic of formerly widespread mountain European forests ? *Forest Ecology and Management*, 257 : 1577-1585.
- JALUT G, METAILIE JP et al. (1991) La forêt charbonnée. Histoire des forêts et impact de la métallurgie dans les Pyrénées ariègeoises au cours des deux derniers millénaires. Rapport final PIREN-CNRS, CIMA-Univ Toulouse-Le Mirail, 220 p.
- JAMES P. W., HAWSWORTH D. L. et ROSE F., 1977 - Lichen communities in the British Isles : a preliminary conspectus. *Lichen Ecology, Academic Press London* : 295-413.
- KEMPF, C., 1997. *Bialowieza, forêt vierge d'Europe*. Setec, Bialystok.
- KOOP, H., 1989. *Forest dynamics. Silvistar : a comprehensive monitoring system*. Springer-Verlag, Berlin, 229 p.
- KOOP, H. & P. HILGEN. 1987. — Forest dynamics and regeneration mosaic shifts in unexploited beech (*Fagus sylvatica*) stands at Fontainebleau (France). *For. Ecol. Managem.*, 20, p.135-150.
- KUCERA, J. 1996. Bryofloristic characteristics of some notable vegetation types in Bohemian forest. *Silva Gabreta* 1: 83-88
- LARRIEU, L., H. BRUSTEL, A. CABANETTES, G. CORRIOL, A. DELARUE, M. HAREL, J.-N. LOIREAU & J.-P. SARTHOU. 2009. — Impact de l'anthropisation ancienne sur la biodiversité d'un habitat de hêtraie-sapinière montagnarde. *Rev. for. française*, 61(4), p. 351-368.
- LARRIEU L., GONIN P., 2009. L'indice de Biodiversité Potentielle (IBP) : une méthode simple et rapide pour évaluer la biodiversité potentielle des peuplements forestiers. *Rev. For. Fr.* 06, 727-748
- LESEIGNEUR, L., 1972 – Coléoptères Elatérides de la faune de France occidentale et de Corse. *Suppl. Bull. Mens. Soc. Linn. de Lyon*, 378 p.
- LONDSALE D., M. PAUTASSO & O. HOLDENRIEDER. 2008. — Wood-decaying fungi in the forest: conservation needs and management options. *European Journal of Forest Research*, 36 : 1-22.

- LORBER D., 2006 - Les forêts anciennes de Méditerranée : Contribution à la mise en place d'une méthodologie d'analyse de la naturalité. *Master 2 Professionnel "Biosciences de l'environnement"* : 1-84.
- ŁUSZCZYŃSKI J. 2003. — Relict fungi of primeval forests in the Świętokrzyskie mountains (central Poland). *Botanica Lithuanica*, 9 : 243-251.
- MAKSIMOV AI, POTEKIN AD, HOKKANEN TJ, MAKSIMOVA TA, 2003. Bryophytes of fragmented old-growth spruce forest stands of the north Karelian biosphere reserve and adjacent areas of Finland. *Arctoa* 12: 9-23
- MC GEOCH M.A., SCHROEDER M., EKBOM B., LARSSON S., 2007. Saproxyllic beetle diversity in a managed boreal forest : importance of stand characteristics and forestry conservation measures. *Divers. Distrib.* 13: 418–429.
- NASCIMBENE J., CANIGLIA G., NICLI M. et VEDOVE D., 2006 - Populations of *Lobaria pulmonaria* in the Cansiglio Regional Forest (Veneto, Pre-Alps, north-east Italy) : distribution, diversity and conservation issues. *Plant Biosystems*, vol. 140(1) : 34-42.
- NILSSON, S.G., M. NIKLASSON, J. HEDIN, G. ARONSON, J. M. GUTOWSKI, P. LINDER, H. LJUNGBERG, G. MIKUSIŃSKI & T. RANIUS. 2002. — Densities of large living and dead trees in old-growth temperate and boreal forests. *Forest Ecology and Management* 161 : 189-204.
- NITARE, J. (ed). 2000. — *Signalarter. Indikatorer på skyddsvärd skog. Flora över kryptogamer.* Skogsstyrelsen. 392 p.
- NIEMELÄ, T., J. KINNUNEN & H. KOTIRANTA. 2005. — *Pisavaaran luonnonpuiston ja Korouoman-Jäniskairan suojelueen käävaät.* Metsähallitus luonnonsuojelujulkaisu. Sarja A 150. 51 p.
- NORDIN A., PALTTO H., GÖTMARK F. et WALLIN K., 2007 - Indicators of biodiversity, what do they indicate ? Lessons for conservation of cryptogams in oak-rich forest. *Biological Conservation*, 135 : 369-379.
- ÓDOR P., HEILMANN-CLAUSEN J., CHRISTENSEN M., AUDE E., VAN DORT K.W., PILTAVER A., SILLER I., VEERKAMP M.T., WALLEYN R., STAANDOVÁR T., VAN HEES A.F.M., KOSEC J., MATOČEC N., KRAIGHER H., GREBENC T. 2006. — Diversity of dead wood inhabiting fungi and bryophytes in semi-natural beech forests in Europe. *Biological Conservation*, tome 131 ; pp. 58-71.
- OHEIMB G. (VON), C. WESTPHAL, H. TEMPEL & W. HÄRDTLE. 2005. — Structural pattern of a near-natural beech forest (*Fagus sylvatica*) (Serrahn, North-east Germany). *Forest Ecology and Management* 212 : 253-263.
- PALTTO H., NORDEN B. et GÖTMARK F., 2008 - Partial cutting as a conservation alternative for oak (*Quercus* spp.) forest-Response of bryophytes and lichens on dead wood. *Forest ecology and management*, 256 : 536-547.
- PATON JA, 1999. The liverwort flora of the British Isles. Colchester : Harley Books. 626 pp.
- PENTTILÄ, R., J. SIITONEN & M. KUUSINEN. 2004. — Polypore diversity in managed old-growth boreal *Picea abies* forests in southern Finland. *Biological Conservation*, 117, p. 271-283.
- PENTTILÄ, R., M. LINDGREN, O. MIETTINEN, H. RITA & I. HANSKI. 2006. — Consequences of woodland fragmentation for polyporous fungi at two spatial scales. *OIKOS*, 114 : 225-240.
- PETERKEN, G., 1996. *Natural Woodland. Ecology and conservation in northern temperate regions.* Cambridge University Press.
- RAMEAU J.C., CHEVALLIER H., BARTOLI M., 2001. Cahiers d'habitats NATURA 2000. Habitats forestiers. La Documentation Française, tome 1 : 339p, tome 2 : 423p.

- RASMUSSEN L, 1976. The bryophytic epiphyte vegetation in the forest Slotved Skov, Northern Jutland. *Lindbergia* 3: 15-38
- REMAURY, M., G. CORRIOL, G. LARGIER & S. FLIPO (coord.). 2004. — Modernisation de l'inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF) en Midi-Pyrénées. Listes préliminaires de la flore vasculaire, d'habitats et de fonge déterminants. Conservatoire botanique national de Midi-Pyrénées, DIREN Midi-Pyrénées, Union européenne, 58 p.
- RENVALL P. 1995. — Community structure and dynamics of wood-rotting Basidiomycetes on decomposing conifer trunks in northern Finland. *Karstenia* 35 : 1-51.
- ROSE F., 1974 - The epiphytes of oak. In *Morris, M. G. et Perring, F. H. (eds), the British Oak ; its history and natural history* : 250-273.
- SARTHOU JP, MONTEIL C, 2006. Données interactives sur les observations des espèces de DIPTERA SYRPHIDAE et MICRODONTIDAE en France. <http://syrfid.ensat.fr/>
- SARTHOU V., SARTHOU J.-P., 2007. Evaluation écologique d'écosystèmes forestiers de Réserves Naturelles de Haute Savoie à l'aide des Diptères Syrphidés. Zone Natura 2000 Arve-Giffre, Réserve Naturelle des Contamines-Montjoie, Réserve Naturelle des Aiguilles Rouges. Rapport d'études pour ASTERS, 93pp
- SARTHOU J.-P., SPEIGHT M.C.D., SARTHOU V., 2004. Des vieilles cavités aux sources sous canopée, la diversité des habitats forestiers fait la diversité des espèces forestières. Colloque « Bois mort et à cavités, une clé pour des forêts vivantes », Chambéry, France, 25-28 octobre 2004. (poster)
- SAVOIE, J.M., 1995. *Les types de stations forestières des Pyrénées centrales (Front pyrénéen et Haute chaîne)*. Office National des Forêts, Toulouse, 500 p.
- SCHNITZLER-LENOBLE, A., 2002. *Ecologie des forêts naturelles d'Europe. Biodiversité, sylvigénèse, valeur patrimoniale des forêts primaires*. Tec&Doc, 271 p.
- SIMILÄ M., KOUKI J., MARTIKAINEN P., 2003. Saproxylic beetles in managed and seminatural Scots pine forests: quality of dead wood matters. *For. Ecol. Manage.* 174: 365–381.
- SMITH C.W., APTROOT A., COPPINS B. J., FLETCHER A., GILBERT O. L., JAMES P. W. et WOLSELEY P. A., 2009 - Th lichens of Great Britain and Ireland. *British lichen society, London* : 1-1046.
- SPEIGHT M.C.D., 1989. Les invertébrés saproxyliques et leur protection. *Collection Sauvegarde de la nature, Conseil de l'Europe, Strasbourg, n°42* : 1-77.
- SPEIGHT M.C.D., CASTELLA E., SARTHOU J.P., MONTEIL C., 2010. Syrph the net on CD. *The database of european Syrphidae*. Syrph the Net publications, Dublin.
- STOCKLAND J., TOMTER S., SÖDERBERG U., 2004. Development of dead wood indicators for biodiversity monitoring: experiences from Scandinavia. Florence: EFI workshop, 12-15/11/2003.
- TIERNEY, G.L., FABER-LANGENDOEN, D.F., MITCHELL, B.R., SHRIVER, W.G., GIBBS, J.P., 2009. Monitoring and evaluating the ecological integrity of forest ecosystems. *Front Ecol Envir*, 7(6): 308-316
- TORTIĆ M. 1998. — An attempt to a list of indicator fungi (Aphyllophorales) for old forests of beech and fir in former Yugoslavia. *Folia Cryptog. Estonica*, 33, p. 139-146.
- TREGUBOV SS, 1941 – Les forêts vierges montagnardes des Alpes Dinariques. Etude botanique et forestière. Edition Causse, Graille et Castelnau, Montpellier
- VALLAURI D. & L. PONCET. 2003. — Un aperçu de la biodiversité des forêts françaises. Inventaires, enjeux et protection. in Vallauri, D. (coord.). Livre blanc sur la protection des forêts naturelles en France. France métropolitaine. Editions Tec & Doc, Paris, 261 pages.

- VALLAURI D., J. ANDRE, J. BLONDEL. 2003. — Le bois mort, une lacune des forêts gérées ; *Rev. forestière fr.*, 2 : 99-112.
- VAN MEER, C., 1999 - Données entomologiques sur une très vieille forêt de feuillus : la forêt de Sare. *Bulletin de la Société linnéenne de Bordeaux*, 27 (1) : 1-17.
- VAN MEER, C., 2002 - Premier complément aux données entomologiques de la forêt de Sare (Pyrénées Atlantiques) (Coléoptères). *Bulletin de la Société linnéenne de Bordeaux*, 30 (3) : 127-136.
- WHITMAN A. A. & J. M. HAGAN. 2007. — An index to identify late successional forest in temperate and boreal zones. *Forest Ecology and Management* 246 : 144-154.
- WINTER et al. 2005. — The importance of near-natural stand and structures for biocenosis of lowland beech forests ; *Forest Snow Landscape Res.* 79(1-2) : 127-144.
- WINTER S. & MÖLLER G. C. 2008. — Microhabitats in lowland beech forests as monitoring tool for nature conservation. *Forest Ecology and Management* 255 : 1251-1261.

TABLE DES MATIERES

1.	Rappel du contexte de l'étude et des objectifs	p. 5
2.	Résultats de l'étude	p. 7
2.1.	Liste hiérarchisée et cartographie des sites d'intérêt potentiel	p. 7
2.1.1.	Méthodologie	p. 7
2.1.2.	Résultats	p. 7
2.2.	Présentation des sites étudiés	p. 9
2.3.	Résultats des indicateurs	p. 11
2.3.1.	Les indicateurs « stationnels »	p. 11
2.3.1.a.	Méthodologie	p. 11
2.3.1.b.	Répartition des sites selon les étages bioclimatiques	p. 11
2.3.1.c.	Conditions microclimatiques des sites	p. 11
2.3.1.d.	Conditions hydriques et trophiques	p. 13
2.3.2.	La gestion antérieure des sites : un indicateur historique	p. 15
2.3.2.1.	Commentaire général	p. 15
2.3.2.2.	Fiches synthétiques des données d'archives	p. 16
2.3.3.	Les indicateurs structurels	p. 23
2.3.3.1.	Méthodologie	p. 23
2.3.3.2.	Le peuplement arborescent vivant	p. 27
2.3.3.2.a.	Composition dendrologique	p. 27
2.3.3.2.b.	Surface terrière	p. 28
2.3.3.2.c.	Répartition des classes de circonférence	p. 28
2.3.3.2.d.	Volume de bois vivant	p. 31
2.3.3.3.	Le bois mort	p. 32
2.3.3.3.a.	Volume de bois mort	p. 32
2.3.3.3.b.	Volume total de bois, mort et vivant, par site	p. 35
2.3.3.3.c.	Rapports entre catégories de bois mort et avec le bois vivant	p. 38
2.3.3.3.d.	Niveau de dégradation du bois mort	p. 39

2.3.3.4.	Les micro-habitats	p. 42
2.3.3.4.a.	Nombre de cavités	p. 42
2.3.3.4.b.	Nombre de fentes et de décollements d'écorce	p. 42
2.3.3.4.c.	Nombre de coulées de sève	p. 42
2.3.3.4.d.	Nombre de zones de bois dur apparent	p. 42
2.3.3.4.e.	Nombre de dendrotelmes	p. 42
2.3.3.4.f.	Nombre de carpophores de champignons saproxyliques coriaces ou charnus	p. 46
2.3.3.4.g.	Nombre d'arbres porteurs d'épiphytes	p. 46
2.3.3.4.h.	Nombre d'arbres porteurs de bois mort dans le houppier	p. 48
2.3.3.4.i.	Conclusion sur les micro-habitats	p. 48
2.3.3.5.	Synthèse : l'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP)	p. 54
2.3.3.5.a.	Objectifs de l'IBP	p. 54
2.3.3.5.b.	Calcul de l'IBP	p. 54
2.3.3.5.c.	Résultats	p. 54
2.3.4.	Indicateurs « espèces »	p. 57
2.3.4.1.	Flore vasculaire et mousses terricoles – Habitats forestiers	p. 57
2.3.4.1.a.	Méthodologie	p. 57
2.3.4.1.b.	Flore et les habitats	p. 57
2.3.4.1.c.	Intérêt patrimonial des habitats et de la flore	p. 59
2.3.4.1.d.	Flore indicatrice de l'ancienneté de l'état boisé	p. 61
2.3.4.1.e.	Dynamique de la végétation naturelle	p. 65
2.3.4.1.f.	Corrélation entre flore et caractéristiques des sites	p. 66
2.3.4.2.	Bryophytes saproxyliques (mousses et hépatiques)	p. 68
2.3.4.3.	Lichens corticoles, foliicoles ou lignicoles	p. 73
2.3.4.3.a.	Introduction	p. 73
2.3.4.3.b.	Matériel et méthode	p. 73
2.3.4.3.c.	Résultats	p. 74
2.3.4.3.d.	Conclusion	p. 79

2.3.4.4.	Champignons saproxyliques	p. 81
2.3.4.4.a.	Introduction	p. 81
2.3.4.4.b.	Matériel et méthode	p. 82
2.3.4.4.c.	Résultats et discussion	p. 84
2.3.4.4.d.	Conclusion	p. 93
2.3.4.5.	Syrphes	p. 94
2.3.4.5.a.	Introduction	p. 94
2.3.4.5.b.	Méthodologie	p. 94
2.3.4.5.c.	Résultats et discussion	p. 97
2.3.4.6.	Coléoptères saproxyliques	p. 105
2.3.4.6.a.	Introduction	p. 105
2.3.4.6.b.	Méthodologie	p. 105
2.3.4.6.c.	Résultats et discussion	p. 108
2.3.5.	Relations entre les taxons étudiés	p. 117
3.	Méthode d'évaluation des sites abritant potentiellement des forêts anciennes	p. 123
	Bibliographie	p. 127
	Liste des figures	p. 137
	Liste des tableaux	p. 141
	Annexes	p. 143

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Répartition géographique des sites étudiés	p. 10
Figure 2.	Répartition des sites selon l'altitude et l'exposition (étages bioclimatiques)	p. 12
Figure 3.	Position des sites étudiés sur un écogramme	p. 14
Figure 4.	Extrait des archives de Froidour : plan de la forêt de Marignac (site de Burat)	p. 16
Figure 5.	Types de micro-habitats représentés dans les sites étudiés	p.25
Figure 6.	Surface terrière (G), en m ² /ha, du peuplement arborescent des 10 sites étudiés	p. 30
Figure 7.	Répartition en pourcentage des classes de circonférence des arbres vivants des 10 sites étudiés	p. 30
Figure 8.	Circonférence maximum des arbres vivants et de tous les arbres (arbres vivants et arbres morts, debout ou au sol), des 10 sites étudiés	p. 30
Figure 9.	Volume moyen des arbres vivants des 10 sites étudiés	p. 31
Figure 10.	Volume moyen des arbres vivants en fonction du niveau de fertilité stationnel	p. 32
Figure 11.	Volume moyen des arbres vivants en fonction du stade de maturation du peuplement	p. 32
Figure 12.	Volume moyen de bois mort (en m ³ /ha) dans les 10 sites étudiés	p. 34
Figure 13.	Volume moyen de bois mort sur pied (m ³ /ha) - Répartition par essence	p. 34
Figure 14.	Volume moyen de bois mort au sol (en m ³ /ha) - Répartition par essence	p. 34
Figure 15.	Volume moyen de bois mort total par essence (en m ³ /ha)	p. 34
Figure 16.	Volume moyen (en m ³ /ha) de bois mort, de bois vivant et de bois total par site ; volume maximum de bois total observé sur les placettes des 10 sites étudiés	p. 35
Figure 17.	Pourcentage, en volume, entre bois mort debout, bois mort total et bois vivant	p. 35
Figure 18.	Volume moyen (en m ³ /ha) de bois total (mort et vivant) en fonction du niveau de fertilité stationnel	p. 37
Figure 19.	Volume moyen (en m ³ /ha) de bois total (mort et vivant) en fonction du stade de maturation du peuplement	p. 37
Figure 20.	Volumes moyen de bois (vivant + mort) par essence, en m ³ /ha	p. 37
Figure 21.	Pourcentage, en nombre d'individus, entre bois mort debout et bois vivant	p. 38
Figure 22.	Volume de bois mort (en m ³ /ha) aux différents stades de saproxylation	p. 40
Figure 23.	Nombre de pièces de bois mort aux différents stades de saproxylation	p. 41
Figure 24.	Nombre de cavités par hectare sur bois mort, bois vivant et total dans les sites étudiés	p. 43
Figure 25.	Nombre de cavités de tronc et de pied par hectare sur bois mort, bois vivant et total	p. 43
Figure 26.	Nombre de cavités par hectare par essence dans les sites étudiés	p. 43
Figure 27.	Nombre de fentes par hectare sur bois mort et bois vivant dans les sites étudiés	p. 44
Figure 28.	Nombre de fentes par hectare par essence dans les sites étudiés	p. 44

Figure 29.	Nombre de fentes par hectare en fonction du volume total de bois mort sur pied	p. 44
Figure 30.	Nombre de zones de bois dur apparent par hectare sur bois mort et bois vivant	p. 45
Figure 31.	Nombre de zones de bois dur apparent par hectare sur bois mort, sur tronc et sur pied d'arbres vivants dans les sites étudiés	p. 45
Figure 32.	Nombre de zones de bois dur apparent par hectare par essence dans les sites étudiés	p. 45
Figure 33.	Nombre total de dendrotelmes par hectare	p. 46
Figure 34.	Nombre de dendrotelmes par hectare selon leur position sur l'arbre	p. 46
Figure 35.	Nombre de carpophores de champignons saproxyliques par hectare	p. 47
Figure 36.	Nombre de carpophores de champignons saproxyliques par hectare par essence	p. 47
Figure 37.	Nombre d'arbres porteurs d'épiphytes par hectare	p.47
Figure 38.	Nombre d'arbres porteurs de bois mort dans le houppier par hectare	p. 48
Figure 39.	Nombre de micro-habitats de chaque type représentés dans les sites étudiés	p. 48
Figure 40.	Nombre total d'arbres porteurs de micro-habitats de chaque type dans les sites étudiés	p. 49
Figure 41.	Nombre total de micro-habitats (tous types confondus) par hectare dans les sites étudiés	p. 49
Figure 42.	Nombre total d'arbres porteurs de micro-habitats (tous types confondus) par hectare	p. 50
Figure 43.	Nombre de micro-habitats (tous types confondus) par essence et par hectare	p. 50
Figure 44.	Diversité et densité des micro-habitats dans les 10 sites étudiés	p. 52
Figure 45.	Diversité des habitats favorables aux organismes saproxyliques dans les sites étudiés	p. 53
Figure 46.	Relation entre le nombre total d'habitats liés au bois mort ou aux arbres sénescents et le niveau de maturité des sites	p. 54
Figure 47.	Indice de Biodiversité Potentielle des 10 sites étudiés	p. 56
Figure 48.	Nombre total d'espèces par site	p. 57
Figure 49.	Nombre moyen d'espèces par relevé et par site	p. 57
Figure 50.	Nombre moyen d'espèces par relevé et par essence dans les forêts des Pyrénées centrales (PC ; SAVOIE, 1995) et dans les sites étudiés (VFP)	p. 58
Figure 51.	Nombre moyen d'espèces de forêt ancienne par relevé pour chaque site (PC = relevés des Pyrénées centrales, SAVOIE, 1995 ; VFP = les 10 sites étudiés)	p. 63
Figure 52.	Pourcentage moyen d'espèces de forêt ancienne par relevé pour chaque site (PC = relevés des Pyrénées centrales, SAVOIE, 1995 ; VFP = les 10 sites étudiés)	p. 63
Figure 53.	Pourcentage d'espèces de forêt ancienne par relevé en fonction de la note d'ambiance micro-climatique des sites	p. 66
Figure 54.	Pourcentage d'espèces de forêt ancienne par relevé en fonction du niveau de maturité des sites	p. 67
Figure 55.	Nombre de taxons saproxyliques et Indice d'intérêt saproxylique dans les 10 sites	p. 70

Figure 56.	Part des 4 catégories de taxons de Bryophytes saproxyliques dans la note globale	p. 70
Figure 57.	Quelques espèces de Bryophytes saproxyliques observées dans les sites étudiés	p. 71
Figure 58.	Répartition des espèces de lichens observées selon leur niveau de rareté	p. 74
Figure 59.	Index photographique de quelques espèces de lichens observés dans les sites étudiés	p. 76
Figure 60.	Indice d'intérêt du site et pourcentage de lichens indicateurs de continuité écologique	p. 77
Figure 61.	Part des 4 catégories de taxons de lichens dans la note globale de chaque site.	p. 77
Figure 62.	Lichens rares ou très rares, indicateurs et totaux observés dans chaque site	p. 77
Figure 63.	Pourcentage de lichens indicateurs de vieilles forêts en fonction du volume total de bois vivant et de bois mort par hectare	p. 79
Figure 64.	Biodiversité taxonomique en forêt feuillue tempérée : exemple des inventaires en forêt de Fontainebleau	p. 81
Figure 65.	Nombre de taxons saproxyliques observés dans chacun des 10 sites, et Indice d'intérêt saproxylique.	p. 85
Figure 66.	Part des 4 catégories de taxons saproxyliques indicateurs dans la note globale des sites	p. 85
Figure 67.	Quelques espèces de champignons saproxyliques sur sapin, indicatrices de vieille forêt, observées dans les 10 sites étudiés.	p. 88
Figure 68.	Nombre d'espèces de champignons saproxyliques en fonction de la diversité des habitats liés au bois mort et aux arbres sénescents	p. 91
Figure 69.	Nombre et pourcentage d'espèces remarquables indicatrices de vieilles forêts par site.	p. 92
Figure 70.	Pourcentage d'espèces indicatrices de vieilles forêts en fonction du volume total de bois mort (en m ³ /ha)	p. 92
Figure 71.	Pourcentage d'espèces indicatrices de vieilles forêts en fonction de la diversité du bois mort (stades de saproxylation 1 à 5).	p. 92
Figure 72.	Détail de la tente Malaise avec piège en place dans un couloir d'avalanche à Bugatet	p. 95
Figure 73.	Quelques espèces de syrphes observées dans les sites étudiés	p. 98
Figure 74.	Répartition des espèces capturées dans les 10 sites étudiés selon leur habitat au stade larvaire	p. 99
Figure 75.	Distribution de la richesse spécifique des Syrphes en fonction de leur abondance totale dans les 10 sites étudiés	p. 100
Figure 76.	Nombre d'espèces forestières, pourcentages d'espèces « au rendez-vous » et d'espèces indicatrices de vieilles forêts, et note d'intérêt de chaque site	p. 101
Figure 77.	Part des 4 catégories d'espèces de syrphes forestiers dans la note d'intérêt de chaque site	p. 101
Figure 78.	Relation entre le pourcentage d'espèces indicatrices de vieilles forêts et la diversité en habitats associés au bois mort et aux arbres sénescents	p. 104

Figure 79.	Schéma et photo du « Polytrap™ » ; piège en place sur une chandelle de sapin à Bugatet	p. 106
Figure 80.	Distribution de la richesse spécifique des coléoptères saproxyliques en fonction de leur abondance totale dans les 10 sites étudiés	p. 108
Figure 81.	Ordination par NMDS des 10 sites, basée sur les indices de similarités de Jaccard entre cortèges de coléoptères saproxyliques	p. 109
Figure 82.	Distribution des espèces de coléoptères saproxyliques selon leur niveau de rareté (Ip)	p. 110
Figure 83.	Répartition des espèces de coléoptères saproxyliques selon leur rareté et leur distribution (en nombre d'espèces)	p. 111
Figure 84.	Répartition des espèces de coléoptères saproxyliques selon leur rareté et leur distribution (en pourcentages)	p. 111
Figure 85.	Nombre d'espèces de coléoptères saproxyliques les plus rares (Ip = 3 ou 4)	p. 111
Figure 86.	Part des 4 catégories de taxons de coléoptères saproxyliques dans la note d'intérêt de chaque site	p. 112
Figure 87.	Relation entre le nombre d'espèces de coléoptères montagnards et la diversité en habitats liés au bois mort et aux arbres sénescents	p. 113
Figure 88.	Quelques espèces de coléoptères saproxyliques remarquables observées dans les sites étudiés	p. 114
Figure 89.	Relations entre la richesse spécifique en champignons saproxyliques (a), en syrphes indicateurs de vieilles forêts (b), en coléoptères saproxyliques montagnards (c) et la diversité en habitats liés au bois mort et aux arbres sénescents	p. 118
Figure 90.	Classement des sites selon leur richesse dans les différents taxons étudiés	p. 121

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Répartition des sites comportant potentiellement des forêts anciennes	p. 7
Tableau 2.	Répartition des sites abritant potentiellement des forêts anciennes	p. 8
Tableau 3.	Caractéristiques des sites étudiés	p. 9
Tableau 4.	Caractéristiques micro climatiques des sites étudiés	p. 12
Tableau 5.	Niveau de fertilité des sites étudiés	p. 14
Tableau 6.	Pourcentages de tiges par hectare d'essences secondaires et d'accompagnement dans les peuplements d'arbres vivants des sites étudiés	p. 27
Tableau 7.	Types de micro-habitats pris en compte pour évaluer leur diversité	p. 51
Tableau 8.	Facteurs pris en compte pour l'évaluation de l'IBP	p. 55
Tableau 9.	Syntaxonomie, habitats, rattachements Pal. Class. et Directive Habitats des groupements végétaux des 10 sites étudiés	p. 59
Tableau 10.	Liste des espèces déterminantes ZNIEFF observées sur les 10 sites étudiés	p. 59
Tableau 11.	Position syntaxonomique des associations observées dans les 10 sites étudiés	p. 60
Tableau 12.	Présence d'espèces de forêt ancienne dans le Luzulo-Fagion (sites étudiés et Pyrénées centrales)	p. 64
Tableau 13.	Présence d'espèces de forêt ancienne dans le Lysimachio-Fagetum (sites étudiés et Pyrénées centrales)	p. 64
Tableau 14.	Présence d'espèces de forêt ancienne dans le Scillo lilio-hyacinthi-Fagetum (sites étudiés et Pyrénées centrales)	p. 64
Tableau 15.	Présence d'espèces de forêt ancienne dans le Rhododendro-Abietetum (sites étudiés seulement et étage montagnard supérieur des Pyrénées centrales)	p. 64
Tableau 16.	Critères d'évaluation du niveau de maturité des sites étudiés	p. 65
Tableau 17.	Niveau de maturité (M) des peuplements forestiers des sites étudiés	p. 66
Tableau 18.	Liste des espèces de Bryophytes saproxyliques relevées dans les 10 sites étudiés	p. 68
Tableau 19.	Répartition des espèces de Bryophytes saproxyliques dans les 10 sites étudiés	p. 69
Tableau 20.	Matrice des distances de Jaccard. Résultats du test de Mantel (valeurs r et p associées)	p. 118
Tableau 21.	Classement des sites en fonction de leur richesse en champignons saproxyliques, en syrphes indicateurs de vieilles forêts et en coléoptères saproxyliques montagnards	p. 119
Tableau 22.	Classement des sites en fonction de leur richesse en plantes vasculaires (% d'espèces indicatrices de forêts anciennes), Bryophytes saproxyliques, lichens corticoles indicateurs de continuité forestière, champignons saproxyliques, syrphes indicateurs de vieilles forêts et coléoptères saproxyliques montagnards	p. 120