



Biodiversité floristique, entomologique et ornithologique des vallées alluviales de Champagne-Ardenne

Rôle de l'antécédent historique et de l'intensité des entretiens
des peupleraies, en interaction avec la station et en référence
aux habitats forestiers et prairiaux subnaturels

PROGRAMME DE RECHERCHE

« BIODIVERSITÉ ET GESTION FORESTIÈRE »

Rapport Scientifique Final (février 2009)

Convention de Recherche MEDAD N° CV 05000155

Responsable du projet :

Alain Berthelot
FCBA Station Nord-Est
60, route de Bonnencontre
21170 Charrey-sur-Saône
Tél. 03.80.36.36.20 / Fax 03.80.36.36.44
E-mail : alain.berthelot@fcba.fr

Responsables des tâches du projet :

Flore	Richard Chevalier	Cemagref
Carabiques	Emmanuelle Dauffy-Richard	Cemagref
Avifaune	Frédéric Archaux	Cemagref,
Itinéraires techniques	Pierre Gonin	IDF / CNPPF
Prospection	Sylvain Gaudin	CRPF Champagne Ardenne
Photo-interprétation	Marianne Duprez	IFN

REMERCIEMENTS

De nombreuses personnes ont activement participé à la mise en œuvre de ce projet, nous les remercions pour leur participation, leur accueil et l'intérêt qu'elles ont manifesté :

Pierre **Beudesson** (IDF/CNPPF), Laurent **Bergès** (Cemagref), Emma **Bichot** (GFM), Ingrid **Bonhême** (ECOFOR), Bernard **Bouchet** (CRPF), Christophe **Bouget** (Cemagref), Jean-Guy **Boureau** (IFN), Valérie **Boutley** (IFN), Nicolas **Bretonneau** (CRPF), Yohann **Brouillard** (CPNCA), Jessica **Bruggeman** (CRPF), Laurence **Carnnot-Millard** (CFPPA Crogny), Sandrine **Costa** (LEF), Jacques **Coulon** (spécialiste systématique carabiques), Marie-Josèphe **Dany** (IFN), Yves **Dehoche** (CRPF), Christine **Deleuze** (FCBA), Olivier **Denux** (Cemagref - Entomotec), Luis **De Sousa** (ONF), Lydie **Duchemin** (Cemagref), Françoise **Dumas** (Cemagref), Gérard **Dumé** (IFN), Virginie **Eder** (IFN), Zoltan **Elek** (Cemagref), Bruno **Faivre** (Université de Bourgogne), Sébastien **Figoni** (CRPF), Damien **François** (FBE), Maxime **Galland** (Cemagref), Christian **Gauberville** (IDF/CNPPF), Hélène **Gaudin** (DIREN), Christophe **Genin** (GFM), Vincent **Godreau** (ONF), Frédéric **Gosselin** (Cemagref), Marion **Gosselin** (Cemagref), Gérald **Goujon** (Cemagref), Claudine **Hirsch** (IFN), Louis-Adrien **Lagneau** (Cemagref), Patrice **Maine** (FCBA), Nicolas **Marchand** (ONF), Sébastien **Marie** (Cemagref), Hilaire **Martin** (Cemagref), Claude **Mathis** (IFN), Roland **Mermet** (F & BE), Antoine **Metelli** (Cemagref), Carl **Moliard** (Cemagref), Françoise **Morgan** (CBNBP), Benoît **Nusillard** (Cemagref), Eric **Paillassa** (IDF/CNPPF), Yoan **Paillet** (Cemagref), Céline **Perrier** (CFPPA Crogny), Christophe **Pichery** (Groupement Champenois), Xavier **Pineau** (Entomotec), Marc **Tétard** (CA 51), Patrice **Tillet** (FBE).

Ainsi que toutes les personnes qui ont représenté leur structure ou organisme au comité de Pilotage du volet technico-économique (Agence de l'Eau Seine-Normandie, Association Champardennaise de Certification Forestière, Cellule d'Assistance Technique à l'Entretien des Rivières - Marne, Chambre Départementale d'Agriculture de la Marne, Conseil Régional Champagne-Ardenne, Conseil Supérieur de la Pêche Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace, Conservatoire Botanique National du Bassin Parisien - délégation Champagne-Ardenne, Conservatoire du Patrimoine Naturel de Champagne-Ardenne - antenne Aube, Haute-Marne, DDE Marne, DDEA Aube, DIREN Champagne-Ardenne, DRAF-DDAF SFB Champagne-Ardenne, Entente interdépartementale pour l'aménagement de la rivière Marne, Forêts et Bois de l'Est - Agence de Troyes, GIP Ecofor, Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, Groupement Champenois de Développement et de Gestion Forestière, Groupement de Gestion et de Développement Forestier de la Marne, Institution interdépartementale des barrages-réservoirs du bassin de la Seine, LPO, ONF - Direction territoriale Bourgogne-Champagne-Ardenne, Union des Sylviculteurs de la Marne, Syndicat des propriétaires forestiers de l'Aube.

Nous remercions également **les différents spécialistes extérieurs à la région Champagne-Ardenne** qui ont été consultés, en particulier les Ingénieurs environnement des CRPF.

Enfin, nous remercions **tous les propriétaires forestiers** qui nous ont permis de réaliser les relevés.

SOMMAIRE

1 - Rappel succinct des objectifs	4
2 - Déroulement du projet et réorientation des travaux	5
3 - Matériel et méthodes	7
4 - Résultats - Discussion	16
5 - Répercussion des résultats pour la gestion	28
6 - Les itinéraires techniques	30
7 - Conclusion et perspectives	35
Bibliographie	38
Résumé	43

1 - RAPPEL SUCCINCT DES OBJECTIFS

Le projet cherche à améliorer les connaissances sur la biodiversité des peupleraies comparativement aux forêts et aux prairies subnaturelles occupant les mêmes espaces. Il s'inscrit dans l'axe 1 de l'APR BGF ECOFOR, 2005 : « Approfondir les connaissances sur la relation entre fonctionnement des écosystèmes forestiers, biodiversité et gestion ».

1.1 - Objectif général du projet

Afin d'identifier les facteurs-clés pour conserver la biodiversité alluviale et départager notamment les rôles respectifs des facteurs anthropiques et des facteurs environnementaux naturels, nous évaluons et confrontons l'effet de variables impliquées *a priori* dans la structuration de la biodiversité alluviale (cf. ci-dessous). Nous cherchons notamment à tester empiriquement l'importance des processus historiques dans les règles d'assemblage des communautés par rapport aux caractéristiques locales et actuelles de l'habitat. Par ailleurs, suite aux recommandations du Conseil Scientifique et en accord avec le MEDD et le GIP Ecofor, la notion d'échelle est abordée de façon prospective, à travers l'observation de l'avifaune et de l'entomofaune carabique des habitats alluviaux situés dans des contextes paysagers variés.

L'étude simultanée de l'ensemble de ces facteurs permettra de comprendre leurs interactions mutuelles et les processus écologiques sous-jacents. Ainsi, selon les résultats, nous pourrions soit vérifier la généralité de la réponse des communautés à ces gradients, soit, au contraire, décliner, par modalité de facteurs, des scénarios de gestion en faveur de la biodiversité alluviale. Enfin, dans l'hypothèse d'un effet bénéfique de certains itinéraires (par rapport à la populiculture traditionnelle) sur la biodiversité, nous estimerons les coûts de gestion supplémentaires (ou le manque à gagner) liés à leur mise en œuvre.

1.2 - Les facteurs étudiés

Les facteurs pris en compte dans la constitution de l'échantillonnage peuvent être classés en trois catégories, selon l'échelle spatiale et temporelle de leur incidence :

- les facteurs locaux actuels : usage actuel du sol, maturité de la peupleraie, intensité de la populiculture ou de la sylviculture, humidité du sol,
- les facteurs locaux historiques : antécédent culturel, occupation ancienne,
- les facteurs paysagers actuels : part relative des compartiments agricole-peupleraie-forêt dans le paysage environnant.

La plupart de ces facteurs ont une origine anthropique, notamment à travers les choix d'usage du sol et d'intensité de gestion, tout au long de l'histoire et à toutes les échelles spatiales, alors que d'autres dépendent essentiellement des conditions naturelles, comme l'humidité du sol ou la maturité des peuplements.

1.3 - Les groupes étudiés

La biodiversité alluviale est étudiée à travers trois groupes biologiques : **(1) la flore vasculaire**, du fait de la forte réponse de ce groupe aux facteurs environnementaux locaux (ressources en eau, en nutriments et en énergie lumineuse) et de son utilisation usuelle par les gestionnaires pour diagnostiquer les types d'habitats et les types de stations, **(2) les coléoptères carabiques**, un groupe d'insectes diversifié et assez bien connu sur le plan taxonomique et écologique, important sur le plan fonctionnel en milieux agricoles et forestiers, sensible notamment aux variations d'humidité du sol et aux perturbations de l'habitat, et reconnu, à ce titre, comme sensible à la gestion forestière, **(3) les oiseaux**, utilisant l'espace à une autre échelle que la flore et les carabiques, et qui sont influencés par la structure du paysage.

1.4 - Articulation du projet en trois volets scientifiques

- 1) Volet flore : réponse de la flore vasculaire à tous les facteurs mentionnés en § 1.2¹ (344 placettes prévues²).
- 2) Volet carabiques : réponse des Coléoptères carabiques à l'âge et à l'antécédent des peupleraies, en référence à des prairies et des forêts subnaturelles (68 placettes envisagées).
- 3) Volet avifaune : réponse de l'avifaune au contexte paysager de peupleraies et de forêts subnaturelles.

¹ Bien que non prévue initialement (AFOCEL et al., 2005), l'influence du paysage environnant sur la flore a été traitée de façon simultanée avec les carabiques.

² Et non 414, comme prévu dans le projet initial (AFOCEL et al., 2005) en raison de redondances dans le plan d'échantillonnage.

1.5 - Et un volet technico-économique

Valorisation directe des travaux de recherche pour le gestionnaire, ce volet consiste à proposer des itinéraires techniques popuicoles et sylvicoles alternatifs, visant à préserver et à améliorer la biodiversité des peupleraies et des forêts alluviales, et à en évaluer le coût.

2 - DÉROULEMENT DU PROJET ET RÉORIENTATION DES TRAVAUX

Le séminaire « Biodiversité et gestion forestière » organisé, à Paris, par le GIP ECOFOR les 30 et 31 janvier 2006 a marqué le départ officiel du projet. Le déroulement détaillé des campagnes de terrain et les difficultés rencontrées ont été exposés par Berthelot et *al.* (2007). Nous en présentons ici les principales lignes.

2.1 - Volet flore

Quatre équipes (Cemagref, FCBA, CRPF et CFPPA) ont été constituées et se sont partagé les 9 secteurs issus du découpage de la zone d'étude. Comme prévu, la réalisation de l'échantillonnage s'est étalée de mai à août 2006, avec la réalisation de 315 relevés.

Les équipes ont été confrontées à plusieurs difficultés :

- faible variation d'humidité du sol induisant un sous-échantillonnage des milieux les plus humides et les plus secs,
- les véritables prairies subnaturelles sont rares et nous avons dû retenir des prairies assez artificialisées, voire des jachères, en compensation,
- les forêts subnaturelles sont très peu gérées et très peu de coupes y ont été détectées,
- les peuplements forestiers jeunes sont peu fréquents,
- la gamme d'intensité de popuiculture pratiquée sur la zone d'étude n'a permis d'échantillonner que 2 des 3 intensités envisagées,
- les premières analyses de données (Marie, 2006, Galland, 2007) ont mis en évidence la forte variabilité de l'ancienneté de l'état boisé et la très faible représentation des forêts anciennes.

Cela nous a conduit à **(1) abandonner certaines modalités du plan d'échantillonnage initial** (AFOCEL et *al.*, 2005) telles que « sylviculture modale » et « intensive » en forêt pour ne conserver que « sylviculture extensive », ainsi que la modalité « popuiculture intensive » pour ne conserver que 2 modalités requalifiées de « classique » (sans sous-étage) et « à sous-étage », **(2) programmer une deuxième campagne de relevés en 2007**, pour un échantillonnage ciblé sur les sols les plus humides et les plus secs, les véritables prairies de fauche et les forêts anciennes.

Ainsi, 99 relevés complémentaires³ ont été réalisés de mai à août 2007 par le Cemagref (25 dans les prairies, 31 dans les forêts et 43 dans les peupleraies). Suite à ce complément, les prairies de fauche et les forêts anciennes sont prises en compte de façon satisfaisante. En revanche, les jeunes peuplements forestiers ainsi que les sols les plus humides et les plus secs n'ont été que très imparfaitement complétés. Le faible nombre de jeunes peuplements forestiers est sans grande conséquence car ces peuplements ne présentent que de très faibles différences de biodiversité floristique par rapport aux peuplements plus âgés⁴. Nous avons donc conservé une modalité unique d'âge qui exclue les jeunes peuplements forestiers. En revanche, nous ne pourrions que très partiellement prendre en compte les 3 niveaux d'humidité prévus initialement pour nous concentrer le plus souvent d'une large gamme excluant les relevés les plus humides et les plus secs.

Malgré ces difficultés, **sur les 26 hypothèses du projet initial** (regroupées en 9 groupes H1 à H9) **qui intéressent la flore** et qui sont formulées dans les Tableaux 5, 8, 10 et 12, **seulement 4⁵ ne sont qu'insuffisamment ou non traitées**, ce qui paraît acceptable compte tenu de la complexité du questionnement et des difficultés d'échantillonnage liées aux réalités du terrain.

2.2 - Volet carabiques

Le léger retard au lancement du projet⁶ s'est répercuté sur les phases de prospection préalables à la constitution du dispositif carabiques. Par ailleurs plusieurs contraintes sont survenues telles que :

³ Parmi ces relevés, figurent les relevés carabiques qui ne correspondent pas à des relevés flore de 2006.

⁴ Ces résultats ne seront pas présentés dans le présent rapport.

⁵ Principalement en rapport avec la variabilité stationnelle.

⁶ Janvier 2006 au lieu d'octobre 2005 (AFOCEL et *al.*, 2005).

- la complexité de la constitution de l'échantillon en raison des nombreux allers-retours entre les phases de terrain (CRPF), les phases de photo-interprétation (IFN) et la décision (Cemagref),
- les délais et difficultés pour contacter les propriétaires et recueillir leur autorisation, dans un contexte de fragmentation prononcée du parcellaire⁷,
- la rareté de certaines modalités recherchées telles que les prairies de fauche et, pour les peupleraies, les antécédents forestiers et (dans une moindre mesure) prairiaux. Le problème était ici plus accentué que pour le volet floristique, du fait de la nécessité de disposer d'un grand nombre de points potentiels, afin d'anticiper l'éventuel refus d'une partie des propriétaires.

En conséquence, le plan d'échantillonnage n'a pas pu être constitué à temps pour démarrer la campagne de piégeage des carabiques début avril 2006. Celle-ci a donc été repoussée à 2007, ce qui a permis de s'appuyer sur le dispositif flore qui ne nécessitait pas de prospection préalable, les antécédents étant cependant constatés *a posteriori*.

Dès l'automne 2006, les caractéristiques des 315 relevés du dispositif flore 2006 ont été examinées. Il est vite apparu qu'il allait être très délicat de constituer le dispositif carabiques, tel que conçu initialement (AFOCEL et *al.*, 2005). Outre la rareté des véritables prairies de fauche, **la quasi absence de peupleraies à antécédent forestier**, couplée aux faits que (1) les caractéristiques d'éligibilité des parcelles (surface, forme, humidité) sont plus strictes pour le dispositif carabiques que pour la flore, et que (2) le filtre imposé par l'accord des propriétaires nécessitait de disposer d'une réserve importante de points adéquats, **ont conduit à abandonner la stratification du plan d'échantillonnage sur le facteur historique** (*cf.* § 3.2). Le volet carabiques a alors été **réorienté vers l'étude de l'effet de la composition du paysage sur les communautés observées localement**. Le plan d'échantillonnage a donc été constitué de manière à **comparer les peupleraies jeunes et âgées, en paysage à dominante agricole d'une part, et en paysage à dominante populicole d'autre part**. La modalité "paysage à dominante forestière" a été écartée pour cause d'incompatibilité avec les situations constatées dans les grandes vallées de Champagne.

Par ailleurs, suite aux réponses négatives de certains propriétaires, **la modalité "prairies subnaturelles" a dû être remplacée par un échantillon de jachères**. Des compléments d'échantillonnage par rapport aux points extraits du dispositif flore, ainsi qu'une caractérisation de la composition paysagère par photo-interprétation sur SIG, ont été nécessaires pour aboutir au dispositif final de 63 placettes⁸ (*cf.* § 3.2) :

- 12 jachères,
- 20 peupleraies jeunes, dont 4 en contexte agricole, 6 en contexte populicole et 10 en contexte varié,
- 20 peupleraies âgées, dont 5 en contexte agricole, 5 en contexte populicole, et 10 en contexte varié,
- 11 forêts âgées d'aspect subnaturel mais dont l'ancienneté n'est pas garantie.

Cela a eu pour conséquence de remplacer, pour le dispositif carabiques, les 6 hypothèses relatives à l'usage passé du sol (groupes H4 et H5, *cf.* Tableau 8) par 5 hypothèses relatives au paysage environnant (groupes H8 et H9, *cf.* Tableau 14).

Les 7 autres hypothèses relatives à l'usage local et actuel du sol (H1) et à l'âge de la peupleraie (H2) peuvent être traitées, même si les habitats de référence sont plus artificialisés qu'initialement prévu (jachères au lieu des prairies subnaturelles, forêts de petite surface).

Cependant, le décalage d'un an de la campagne de piégeage a retardé d'autant les tâches ultérieures. La version définitive du jeu de données n'était acquise qu'à la fin octobre 2008, ce qui a engendré un retard relatif dans les analyses et publications pour ce volet.

2.3 - Volet avifaune

Le volet avifaune a été rajouté au projet, en remplacement du volet écophysiological, à la demande du Conseil scientifique du programme Biodiversité et Gestion Forestière. Les moyens déployés pour ce volet taxonomique étant environ trois fois moins élevés que ceux affectés à chacun des deux autres groupes, il était convenu de mener une approche prospective prenant en compte la biodiversité à une échelle locale qui intègre les éléments paysagers proches, plus propice à l'étude des communautés d'oiseaux en paysage fragmenté. Le territoire des passereaux nicheurs (typiquement de l'ordre de l'ha) dépasse généralement la peupleraie ou la forêt dans laquelle ils sont détectés lors des points d'écoute.

Il a donc fallu **limiter la zone d'étude et essayer de se rattacher du mieux possible aux hypothèses testées pour la flore et les carabiques**. Les communautés aviennes des peupleraies, en comparaison avec les milieux prairiaux et forestiers, ont déjà été étudiées par Godreau (1998). Cependant, l'effet négatif de la peupleraie, constaté sur l'avifaune forestière, est en partie confondu avec un effet de fragmentation de l'habitat, ce qui empêche de conclure définitivement.

⁷ Temps d'identification du propriétaire au cadastre + recherche coordonnées + contact + réponse ou relances téléphoniques.

⁸ Le dispositif initial en prévoyait 68.

Il a alors été décidé de **compléter ces résultats dans un contexte paysager dominé par les peupleraies, mais contenant des parties en forêt, et une occupation agricole non négligeable** (champs, prairies, jachères). Les questions posées peuvent se résumer ainsi :

- à quelle échelle spatiale le paysage entourant le point rend-il le mieux compte des variations locales des communautés d'oiseaux ?
- retrouve-t-on une avifaune forestière dans un massif populier ?
- le caractère forestier évolue-t-il en fonction de la quantité de la forêt dans le paysage ?
- l'avifaune des milieux ouverts ou semi-ouverts disparaît-elle progressivement vers le cœur du massif ou avec la fermeture du paysage ?
- l'âge et le couvert du sous-étage influencent-ils effectivement les communautés ?

Ces questions se positionnent à mi-chemin entre les hypothèses exprimées à l'échelle locale (groupes H1 à H7) et celles d'ordre paysager (H8 et H9), du fait que les échelles de caractérisation de l'avifaune sont très différentes de celles de la flore et des carabiques. Cependant, il a été tenté un rapprochement des résultats obtenus sur l'avifaune à un maximum d'hypothèses : groupes d'hypothèses H1, H2, H3 et H7 (Tableaux 5 et 12). Les hypothèses faisant intervenir des facteurs historiques et stationnels (groupes H4, H5 et H6) ne pourront être abordées.

2.4 - Volet technico-économique

Cette tâche est en partie dépendante de l'avancement des trois « études de terrain ». Elle a notamment été contrainte par le retard pris par le volet carabiques. Son avancement et la démarche méthodologique adoptée sont présentés au § 3.3.4.

3 - MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 - Description de la zone d'étude

La zone d'étude s'étend sur environ 95 000 ha, le long de la Seine, de l'Aube et de la Marne et de leurs principaux affluents dans les départements de la Marne et de l'Aube, ce qui correspond à la région naturelle IFN « Vallée de la Marne, Seine et affluents » (cf. Figure 1).

Le climat est de type atlantique dégradé. En référence à la période 1951-1980 (Kessler et Chambraud, 1990), la température moyenne annuelle est de 10,3°C pour la vallée de la Marne (Châlons-en-Champagne et Épernay), et de 10,1°C pour l'Aube (Troyes) et la Seine (Romilly-sur-Seine). Le nombre de jours de gelée s'élève à près de 80 par an, ce qui traduit un climat plutôt frais. Les précipitations sont modérées sur la plus grande partie de la zone d'étude (600 à 650 mm/an pour les vallées de la Seine et de l'Aube, 630 à 680 mm pour la Marne en aval de Vitry-le-François) et un peu plus élevées dans le Perthois (700 à 750 mm en amont de Vitry-le-François).

Pour limiter le risque d'inondation en région parisienne, de grands lacs réservoirs ont été installés en amont des secteurs d'étude sur la Seine (1966), la Marne (1974) et l'Aube (1987) ce qui a considérablement modifié le régime hydrologique des rivières. Les deux secteurs étudiés continuent cependant d'être régulièrement inondés. Le lit des trois rivières a peu varié depuis 1830 probablement du fait que les rivières sont relativement encaissées et s'écoulent lentement.

La zone d'étude correspond au lit majeur des grandes vallées, d'une largeur de 2 km (Marne) à 5 km (Seine). La formation géologique correspond presque exclusivement aux alluvions actuelles ou subactuelles (Fz) établies sur une partie de la basse terrasse (alluvions anciennes, Fy) érodée par la divagation des rivières. Les alluvions actuelles (Fz) sont constituées de limons, d'argiles et de sables calcaires d'épaisseur variant entre 0 et 5 m, reposant sur des alluvions anciennes (Fy) composées de graves calcaires issues de formations jurassiques (épaisseur de 3 à 8 m), reposant elles-mêmes sur les formations crayeuses en place (Barthélemy, 1965, Caudron et al., 1973, Pomerol, 1996, Pomerol et Hatrival, 1992).

La variabilité des sols, presque toujours carbonatés, est directement liée à la variabilité des alluvions actuelles (principalement épaisseur, charge en éléments grossiers) et au niveau d'humidité (profondeur et fluctuation de la nappe).

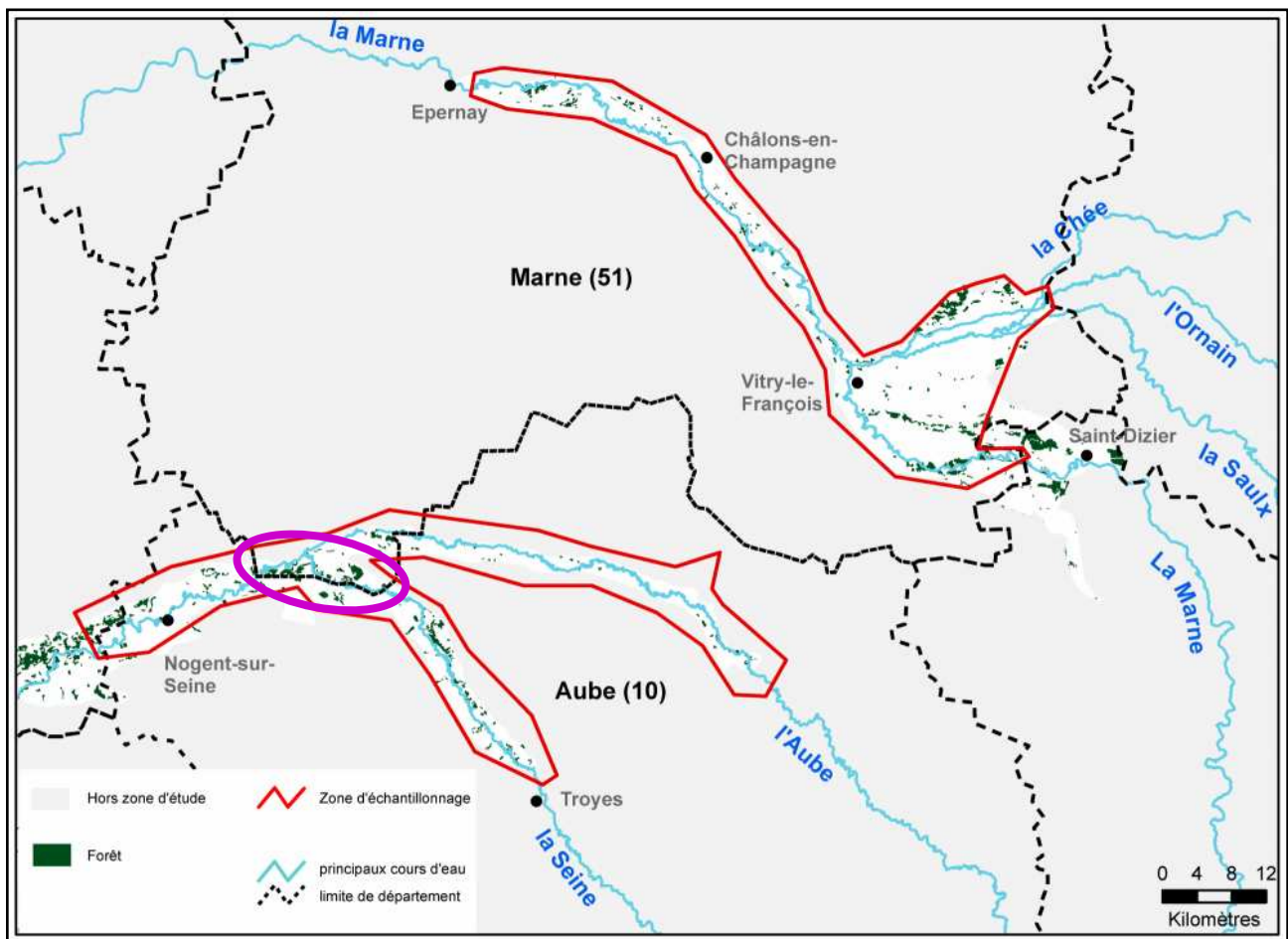


Figure 1 : Délimitation de la zone d'échantillonnage de la flore et des carabiques (enveloppe rouge), et de l'avifaune (enveloppe violette). Cartographie IFN, BD Carthage.

D'après les données de l'Inventaire Forestier National (1999, 2001), la forêt (hors peupleraie) ne représentait que 7,4 % de la surface totale dans les années 1990 (5,5 % dans le secteur Seine-Aube et 8,5% dans le secteur Marne). Contrairement à la tendance nationale, 27 % de la surface forestière a disparu entre les années 1970 et 1990 (53 % dans le secteur Seine-Aube et 8 % dans le secteur Marne) au profit de divers usages (agriculture, urbanisation, gravières, populiculture).

Avec un taux de 8,4 % dans les années 1990, les peupleraies occupent une surface légèrement supérieure à celle de la forêt (11 % du secteur Seine-Aube et 7 % du secteur Marne) et sont globalement en légère diminution depuis les années 1970, sans que l'on puisse préciser le détail par secteur. Le reste de la surface des vallées est dédié aux cultures (essentiellement céréalières), aux jachères, aux prairies pâturées ou de fauche et aux zones urbanisées (essentiellement en marge des vallées).

3.2 - Plans d'échantillonnage

Nous devons tout d'abord préciser que les points d'échantillonnage pour la flore et les carabiques ont été positionnés sur les mêmes bases : en zone homogène pour la station et le peuplement, sur des sols très majoritairement carbonatés et d'une profondeur d'au moins 40 cm (apparition de la grave calcaire). Les points avifaune ont été positionnés sans contrôle de l'homogénéité, le point d'écoute réalisé correspondant plutôt à un complexe d'usages. Par ailleurs, les conditions stationnelles n'ont pas été contrôlées et les caractérisations dendrométriques ont été moins abouties que pour les dispositifs flore et carabiques.

Tableau 1 : Types d'habitats actuels constitutifs des plans d'échantillonnage flore et carabiques, nombre de relevés correspondants⁹ et proportions sur le secteur d'étude du dispositif avifaune

Flore (344 relevés)									
Carabiques (63 points)									
Avifaune (124 points)									
Usage local actuel	Culture	Jachère	Prairie sub-naturelle	Peupleraie jeune classique	Peupleraie âgée classique	Peupleraie âgée à sous-étage	Forêt récente	Forêt ancienne	

Le Tableau 1 présente les principales catégories constitutives du plan d'échantillonnage pour les 3 groupes taxonomiques ainsi que le nombre de relevés correspondants¹⁰ :

- **Culture** : champ.
- **Jachère** : jachère spontanée ou ensemencée en féтуque roseau, ou prairie artificialisée.
- **Prairie subnaturelle** : prairies généralement fauchée ayant les caractères subnaturels les plus marqués pour la zone d'étude¹¹.
- **Peupleraie jeune classique** : peupleraie de 2 à 6 ans répondant aux pratiques locales les plus répandues, c'est-à-dire « entretenue » et sans sous-étage pour cette tranche d'âge.
- **Peupleraie âgée classique** : peupleraie de 11 à 21 ans issue d'une peupleraie jeune classique et dont le sous-étage ligneux (hauteur 2 à 8 m) représente moins de 15 % en couvert.
- **Peupleraie âgée à sous-étage** : peupleraie de 11 à 21 ans dont le couvert du sous-étage est supérieur à 25 %.
- **Forêt récente** : peuplement forestier avec une surface terrière supérieure à 20 m² ou avec une proportion de bois d'œuvre¹² supérieure à 1/3 et ne correspondant pas à une forêt en place en 1830¹³ mais dont l'état boisé est antérieur à 1971-1975¹⁴.
- **Forêt ancienne** : idem à la Forêt récente mais dont l'état boisé est antérieur à 1830.

Le Tableau 1 montre que les effectifs par type d'usage sont assez élevés pour le dispositif flore, ce qui offre la possibilité de contrôler certains facteurs de variation par purge de certains relevés, tout en conservant une puissance statistique satisfaisante. Le dispositif carabiques met en œuvre moins de points par catégorie et les possibilités de contrôle des facteurs de variation seront réduites. Par ailleurs, toujours pour les carabiques, les références de milieu ouvert sont des jachères et non de véritables prairies de fauche, et les forêts sont majoritairement récentes. Les points du dispositif avifaune sont rattachés approximativement aux caractéristiques des dispositifs flore et carabiques. Ce dispositif ne permet pas de distinguer les trois catégories de milieux ouverts, ni les deux catégories d'ancienneté de la forêt mais distingue jeune forêt et forêt mature.

Les antécédents ont pu être définis au niveau de chaque point d'observation suite **(1)** à la photo-interprétation de plusieurs séries de photos aériennes, par l'IFN, dont les plus anciennes remontent à 1971¹⁵ et **(2)** à la cartointerprétation, par le Cemagref, sur la carte d'État-major dans sa version originale en couleur au 1/40 000^{ème} (Chevalier et al., à paraître 2009). Trois catégories d'antécédent seront utilisées dans le présent rapport pour les peupleraies classiques, avec un fort déséquilibre de représentation :

- **Antécédent prairie** : l'antécédent immédiat de la peupleraie est une surface enherbée qui, dans près de 80 % des cas, s'est maintenue depuis 1971-1975 (11 relevés en peupleraies jeunes et 9 pour les âgées).

⁹ Pour la flore, ce tableau ne prend en compte que les relevés utilisés jusqu'à présent : 70 relevés ont été écartés pour des raisons de contrôle de certains facteurs historiques, stationnels ou sylvicoles.

¹⁰ Pour chaque groupe taxonomique, chaque catégorie est séparée par une marque noire verticale.

¹¹ D'après les informations fournies par différents ouvrages (Bournerias et al., 2001, Bardat et al., 2004, Royer et al., 2006), notre échantillon de prairies subnaturelles relève de plusieurs groupements végétaux et syntaxons phytosociologiques. Nous avons principalement à faire à l'*Arrhenatherion elatioris*. Le groupement « 45 - Végétation des prairies mésophiles de fauche (*Centaureo jaceae - Arrhenatherion elatioris*) » prédomine pour les situations les moins fraîches, alors que le groupement « 43 - Végétation des prairies fraîches (mésohygrophiles) de fauche, à *Colchique* et *Silaüs* des prés (*Colchico autumnalis - Arrhenatherion elatioris*) » est mieux représenté en conditions plus fraîches. Par ailleurs, les situations les plus humides relèvent du *Bromion racemosi*, avec le groupement « 42 - Végétation des prairies basiclines sur alluvions minérales soumises à l'inondation hivernale ».

¹² Arbres dont le diamètre à 1,30 m \geq 22,5 cm sur écorce.

¹³ Constaté sur carte d'État-major (Chevalier et al., à paraître 2009).

¹⁴ Suivant les séries de photos aériennes.

¹⁵ Année de prise de vue des photographies aériennes : 1971, 1980, 1990 et 1999 pour l'Aube ; 1975, 1984, 1995, 2000 et 2004 pour la Marne.

- **Antécédent peupleraie** : il s'agit au moins de la 2^{ème} génération de peuplier, voire de la 3^{ème} génération pour la majorité des peupleraies jeunes (60 relevés en peupleraies jeunes et 49 pour les âgées).
- **Antécédent forêt** : l'antécédent immédiat est une forêt constatée sur les photos aériennes (après 1970). Près des 2/3 des situations sont en fait un retour à l'état forestier entre deux générations de peuplier ou bien des peuplements mélangés forêt/peuplier. Il est alors délicat de considérer la situation comme un réel antécédent forestier. Nous conservons cet antécédent en le renommant **Antécédent forêt-peupleraie** pour éviter toute confusion (10 relevés en peupleraie jeune et 7 en peupleraie âgée).

Pour le dispositif carabiques, la composition du paysage, autour de chaque point de peupleraie classique, a été évaluée par le Cemagref, en cartographiant, à partir de photos aériennes récentes, les habitats dans un rayon de 500 m, selon la typologie suivante : forêt, peupleraie (et leurs différents stades), milieux agricoles, milieux aquatiques, boisements épars (haies, prés-bois), zones urbanisées, axes de circulation, sols nus. Les proportions de surface couverte par ces différentes catégories d'habitat (quantifiées sous SIG, ArcGIS 9) ont permis de définir trois types d'environnement paysager :

- **Paysage à dominante agricole** : au moins la moitié de la surface est couverte par les cultures et les surfaces enherbées (4 points pour les peupleraies jeunes et 5 pour les âgées).
- **Paysage à dominante populicole** : au moins la moitié de la surface est couverte par des peupleraies (6 points pour les peupleraies jeunes et 5 pour les âgées).
- **Paysage varié** : aucune des catégories d'habitat ne couvre plus de 50 % de la surface (10 points pour les peupleraies jeunes et 10 pour les âgées).

Pour l'avifaune, c'est l'ensemble de la zone d'étude (6 000 ha), fortement touché par la tempête de 1999, qui a été cartographié à partir de photos aériennes (ArcGIS 9), avec vérification systématique sur le terrain, en distinguant 8 catégories (**jeune peupleraie** : $d_{1,30\text{ m}} < 20\text{ cm}$; **peupleraie d'âge moyen** : $d_{1,30\text{ m}} 20\text{ à }30\text{ cm}$; **peupleraie âgée** : $d_{1,30\text{ m}} > 30\text{ cm}$; **forêt jeune** : accrus après tempête de 1999 ; **forêt âgée** : autres forêts ; **milieux agricoles** : cultures et surfaces enherbées ; **milieux urbains** ; **milieux aquatiques**).

3.3 - Méthodes de quantification et considérations préliminaires aux résultats

3.3.1 - Volet flore

La réalisation des relevés de terrain est décrite de façon détaillée par Cemagref et al. (2006a), et dans la fiche de mesure (Cemagref et al., 2006b). Pour résumer, le centre du relevé unitaire devait présenter une homogénéité stationnelle et dendrométrique dans un rayon d'au moins 15 m. Le **relevé a été réalisé en 1 seul passage** (mai à août 2006 ou 2007), **avec un effort de recherche chronométré de 25 à 35 minutes**¹⁶, **sur une surface** circulaire standardisée **de 201 m²**¹⁷, avec notation du couvert des espèces **en CAD** (coefficients d'abondance dominance +, 1, 2, 3, 4, 5 ; cf. Delpech et al., 1985) pour les strates 0-2 m, 2-8 m, 8-16 m et > 16 m. Seule **la flore du sous-bois** (fusion des **strates 0-2 m et 2-8 m**)¹⁸ sera utilisée dans le présent rapport.

Le fait de ne réaliser qu'un seul passage pour une campagne de terrain s'étalant de mai à août est critiquable en raison de la saisonnalité prononcée des communautés végétales¹⁹ des milieux ouverts. Cependant, la progression de la campagne de terrain s'est faite de façon continue, en équilibrant les différentes modalités au fur et à mesure ; elle est donc susceptible de générer un bruit de fond plutôt qu'un biais. Nous avons donc préféré réduire les déséquilibres du plan d'échantillonnage par la réalisation de nouveaux relevés en 2007²⁰. De même, la surface de 201 m² peut paraître faible, tout particulièrement en forêt, mais nous la justifions par **(1)** la volonté d'avoir une surface unique, **(2)** le fait que nous nous intéressons à la végétation du sous-bois et **(3)** que des travaux précédents ont montré que cette surface était suffisamment représentative d'une communauté végétale en forêt (Archaux et al., 2005).

Au total, sur les **414 relevés**, **420 espèces** ont été rencontrées, dont **21 que nous estimons patrimoniales** et qui sont essentiellement liées aux milieux les plus humides de notre échantillonnage :

- **2 protégées au niveau national**²¹ : *Gratiola officinalis* (1 relevé en prairie de fauche), *Viola elatior* (1 relevé en peupleraie).

¹⁶ 25 à 35 minutes (30 minutes) à une personne, ou 15 à 25 minutes (20 minutes) à 2 personnes. Le chronomètre est arrêté dès que la recherche des espèces et leur notation sur la fiche sont stoppées (consultation des flores ...).

¹⁷ Rayon de 8 m délimité au télémètre multidirectionnel.

¹⁸ Généralement, la flore du sous-bois correspond à la strate 0-2 m en forêt, mais nous l'avons étendue à 0-8 m en raison de la croissance rapide de la végétation ligneuse sur les sols fertiles de la zone d'étude.

¹⁹ Initialement, il était prévu de réaliser 2 passages pour les relevés communs avec le dispositif carabiques, mais cette intention a été contrariée par le décalage de 1 an de la campagne de terrain des carabiques.

²⁰ D'autant plus que le nombre de relevés réalisés (414) est largement supérieur à la prévision (344).

²¹ Arrêté du 20 janvier 1982 modifié par Arrêté du 31 août 1995, relatif à la liste des espèces végétales protégées sur l'ensemble du territoire national.

- **5 protégées en Région Champagne-Ardenne**²² : *Allium angulosum* (1 relevé en prairie artificielle), *Lathyrus palustris* (1 relevé en prairie subnaturelle et 1 relevé en prairie artificielle), *Sonchus palustris* (1 relevé en jachère), *Teucrium scordium* (1 relevé en prairie artificielle), *Thelypteris palustris* (1 relevé en forêt ancienne et 1 relevé en forêt récente).
- **9 espèces de la Liste rouge de Champagne-Ardenne** (Behr et al., 2007) : *Crepis pulchra* (2 relevés), *Cynoglossum germanicum* (1 relevé), *Dactylorhiza incarnata* (1 relevé), *Euphorbia palustris* (25 relevés préférentiellement en peupleraie), *Ophioglossum vulgatum* (1 relevé), *Orobanche minor* (1 relevé), *Ulmus laevis* (6 relevés préférentiellement en forêt), *Verbascum blattaria* (4 relevés), *Sisymbrella aspera* (1 relevé).
- **5 espèces protégées dans une région limitrophe**²³ à un des deux départements : *Galium boreale* (1 relevé), *Prunus padus* (2 relevés), *Sanguisorba officinalis* (2 relevés), *Senecio paludosus* (22 relevés préférentiellement en peupleraie), *Veronica scutellata* (1 relevé).

A partir des données récoltées, de multiples **indices de biodiversité** ont été calculés **à l'échelle locale**²⁴ (α : moyenne des relevés d'une catégorie) basés sur la valeur indicatrice, la richesse spécifique relative et absolue, l'abondance de différents groupes d'espèces à signification patrimoniale, biologique, écologique ou d'habitats.

Ces indices ont permis d'obtenir de nombreux résultats significatifs²⁵ que nous ne pouvons tous présenter ici. Nous nous intéresserons donc majoritairement **(1)** à des **valeurs indicatrices** à signification écologique²⁶ (VI) et **(2)** à la **richesse spécifique absolue** (que nous appellerons Richesse ou **S**), qui est la plus usuelle, et que nous utiliserons principalement pour des groupes d'espèces par grands types d'habitats :

- **VI d'humidité** du sol F d'Ellenberg et al. (1992)²⁷, pour contrôler les variations d'humidités du sol,
- **VI d'eutrophisation** N d'Ellenberg, qui rend surtout compte de la nutrition du sol en anions azotés,
- **Richesse totale** : nombre total d'espèces, l'indice le plus connu et utilisé ; ce n'est pas le plus intéressant car il mélange les espèces et ne permet pas de comprendre les mécanismes (420 espèces),
- **Richesse en espèces des cultures** : espèces signalées comme assez communes à très communes en France dans l'ouvrage « Flore des champs cultivés » de Jauzein (1995) (82 espèces),
- **Richesse en espèces prairiales** des prairies humides et mésophiles d'après Julve (2007) (88 espèces),
- **Richesse en espèces forestières** : qualifiées de semi-ombre et d'ombre dans la « Flore forestière française » (Rameau et al., 1989) (62 espèces),
- **Richesse en espèces des forêts anciennes** : citées au moins 3 fois en tant que telle dans les 22 publications étudiées par Hermy et al. (1999) (31 espèces),
- **Richesse en espèces des mégaphorbiaies** riveraines et des lisières (espèces « indicatrices » des habitats 6430-1, 4, 6 et 7 selon Bensettiti et al. (2002) (56 espèces).

Nous avons utilisé une démarche d'investigation *a priori* (Gilbert, 1996) en comparant les catégories constitutives de notre échantillon au sein de dispositifs constitués pour répondre à chaque hypothèse. Nous avons cherché à contrôler les facteurs d'explication non désirés en purgeant une partie des relevés. Cela a surtout concerné le contrôle de l'humidité du sol avec la VI F correspondante ; l'humidité du sol est un facteur prépondérant dans l'organisation des communautés végétales en zone alluviale (Leyer, 2005). Nous avons utilisé des tests statistiques usuels d'analyse de variance (Anova) à un facteur, de comparaisons de moyennes test t avec correction de Bonferroni et non paramétrique de moyennes de rang de Kruskal-Wallis (KW). L'objectif est de dégager rapidement des résultats utilisables pour alimenter la réflexion sur les itinéraires techniques, des analyses de données plus complexes sont en cours pour une valorisation scientifique (cf. Annexe 3).

²² Arrêté du 8 février 1988, relatif à la liste des espèces végétales protégées en région Champagne-Ardenne complétant la liste nationale.

²³ Arrêté du 3 janvier 1994 relatif à la liste des espèces végétales protégées en région Lorraine. Arrêté du 27 mars 1992 relatif à la liste des espèces végétales protégées en région Bourgogne. Arrêté du 11 mars 1991 relatif à la liste des espèces végétales protégées en région Ile-de-France. Arrêté du 17 août 1989 relatif à la liste des espèces végétales protégées en région Picardie complétant la liste nationale.

²⁴ Nous ne présenterons pas de résultats à l'échelle globale (γ : cumul des espèces d'un ensemble de relevés), car les premiers résultats obtenus par Marie, 2006, ont montré une forte redondance avec les résultats obtenus à l'échelle locale.

²⁵ A l'exception des groupes à signification patrimoniale où très peu de résultats significatifs sont obtenus en raison de la très faible occurrence des espèces qui les composent.

²⁶ Les valeurs indicatrices écologiques ne sont pas de véritables indices de biodiversité, ils renseignent juste sur les conditions écologiques qui conditionnent la flore observée. Ils sont calculés en moyennant les valeurs indicatrices individuelles des espèces qui composent un relevé.

²⁷ Les cotations autoécologiques semi-quantitatives d'Ellenberg, propres à chaque espèce, s'échelonnent sur une échelle de 1 à 9 (sauf pour l'indice F d'humidité qui va exceptionnellement jusqu'à 12 pour les milieux aquatiques) ont été utilisées avec succès même loin de leur zone de validité d'origine. La cotation est croissante en fonction de l'intitulé du facteur considéré.

3.3.2 - Volet carabiques

La méthodologie d'acquisition des données est détaillée plus précisément dans Berthelot *et al.* (2007). Le plan d'échantillonnage de **63 placettes**, stratifié sur l'usage du sol et, pour les peupleraies, sur l'âge de la plantation et la dominante paysagère (*cf.* Tableau 1 et § 2.2), s'étend sur la même zone d'étude que la flore (*cf.* Figure 1). Sur chaque placette, cinq pièges à fosse disposés en croix, à 15 m du piège central, ont été activés au printemps (du 16 avril au 29 juin en 2 périodes de 5 semaines) puis à l'automne 2007 (du 10 septembre au 5 octobre), afin de représenter les 2 pics saisonniers d'activité des Coléoptères Carabidae. Pour chacune des périodes, **3 pièges** sur 5 ont été triés par placette, soit 567 échantillons. Les carabiques extraits ont été identifiés à l'espèce (Jeannel, 1941, 1942 ; Hurka, 1996 ; Coulon, 2003, 2004a, 2004b), les déterminations les plus délicates étant soumises à la validation de spécialistes (Entomotec, J. Coulon).

L'ensemble des placettes a été caractérisé d'un point de vue floristique, pédologique, dendrométrique et historique au sein du volet floristique, ainsi que sous l'angle micro-environnemental et microclimatique au cours de la campagne de piégeage. Par ailleurs, outre la caractérisation visuelle de la dominante paysagère autour des points prospectés lors de la préparation du plan d'échantillonnage, une cartographie détaillée des patchs d'habitats et de linéaires (routes et chemins) a été réalisée sur des disques de rayon 500 m (*cf.* Barbaro *et al.*, 2005), centrés sur chacune des placettes retenues (*cf.* § 3.2). Les surfaces couvertes par les différents types d'habitats ont ensuite été calculées pour des disques emboîtés de rayons croissants (8 rayons de 25 à 500 m), autour de chacun des points. Sur l'ensemble des échantillons considérés, **110 espèces, dont seulement 22 forestières pour 54 des milieux ouverts**, ont été recensées pour **un total de 11 155 individus** (*cf.* Tableau 2). Ces espèces ont en majorité des ailes développées (macroptères), ce qui leur confère *a priori* une meilleure capacité de dispersion qu'aux espèces ayant des ailes atrophiées (brachyptères).

Dans un premier temps, toutes les données faunistiques ont été agrégées au niveau de la placette, mais une analyse par période de piégeage et par piège pourra être envisagée par la suite pour faire le lien avec les caractéristiques micro-environnementales et prendre en compte une interaction du type d'habitat avec la saison. En outre, les données d'abondance n'ont été utilisées qu'au niveau spécifique et jamais sommées entre espèces (abondance totale ou par groupe). En effet, du fait de la différence de capturabilité entre espèces, la comparaison, ou la somme, des abondances piégées entre espèces sont fortement biaisées en faveur des espèces les mieux capturées (*cf.* Turin *et al.*, 1991 ; Dufrêne et Legendre, 1997).

Pour permettre la comparaison des résultats avec ceux obtenu pour la flore, nous avons suivi la même démarche d'analyse de données (*cf.* § 3.3.1), en travaillant principalement sur les variables de réponse suivantes :

- **occurrence et abondance moyenne** par placette des espèces présentes sur au moins 5 placettes (soit 59 espèces sur les 110 recensées),
- **richesse spécifique locale totale** par placette,
- **richesse spécifique locale par groupe écologique** : *cf.* Tableau 2.

Tableau 2 : Nombre d'espèces de carabiques par groupe écologique considéré (d'après les catalogues faunistiques de Desender *et al.*, 2008 ; Coulon *et al.*, 2000 ; Hurka, 1996)

		Capacité de dispersion			Total
		peu dispersives (brachyptères)	Intermédiaire (di-polymorphiques)	dispersives (macroptères)	
preferendum d'habitat	milieux ouverts	2	7	45	54
	généralistes	2	10	22	34
	forestières	9	2	11	22
	Total	13	19	78	110

Cependant, afin de corriger d'éventuelles sources de biais ou de bruit dans les données lors de la détermination des profils de réponse, nous avons parallèlement **(1)** utilisé des modèles linéaires à effets mixtes prenant en compte la répartition géographique des relevés (sous forme d'effet aléatoire), **(2)** comparé les modèles concurrents par AICc²⁸ dans le cas d'effets potentiellement confondants (*cf.* manuscrit en préparation, Annexe 4).

²⁸ Le Critère d'Information d'Akaike (AIC) permet de comparer la pertinence de différents modèles statistiques, basés sur divers ensembles de variables explicatives, en assurant un compromis entre adéquation du modèle aux données et parcimonie en paramètres estimés. L'AICc (utilisé ici pour les carabiques) est une variante de l'AIC (utilisé ici pour l'avifaune), adaptée aux échantillons de faible taille (Anderson *et al.*, 2000).

Ces analyses, qui sont actuellement en cours, ont été complétées par un test de la spécificité des espèces par rapport aux modalités du plan d'échantillonnage (d'après Dufrêne et Legendre, 1997). Par ailleurs, outre l'examen de la concordance ou discordance des résultats entre taxons et le test simultané, pour la flore et les carabiques, des effets structurant le plan d'échantillonnage commun, l'aspect multi-taxinomique de l'étude a été abordé **(1)** en faisant séparément les ordinations des relevés floristiques et entomologiques, basées sur la similarité inter-placettes de leur composition en espèces²⁹ ; puis, **(2)** en testant la corrélation entre les patrons de répartition des placettes, obtenus d'après leur composition floristique ou entomologique³⁰ (d'après Legendre et Legendre, 1998).

3.3.3 - Volet avifaune

La zone d'étude s'étend sur 20 km le long de la Seine entre Romilly-sur-Seine et Méry-sur-Seine. A cet endroit (confluence entre la Seine et l'Aube), la plaine alluviale est large de 2 à 3 km ; elle est dominée par le peuplier (massif populicole) mais avec également des zones agricoles intra-massif et des lambeaux de chênaie-frênaie (cf. Figure 2). La zone a été cartographiée à partir de photographies aériennes de l'IGN avec vérification systématique sur le terrain de l'ensemble des 1933 polygones couvrant environ 6 000 ha suivant 8 catégories (cf. § 3.2).

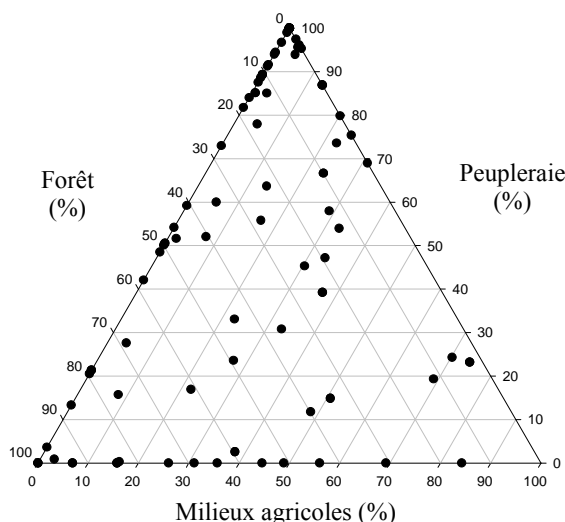


Figure 2 : Distribution des 104 points retenus pour l'analyse en fonction du % respectif de milieux agricoles, peupleraies et forêts dans un rayon de 100 m.

Les **124 points d'écoute** ont été localisés sur l'ensemble de la zone **avec une distance d'environ 400 m** entre les points. Ceux-ci sont situés **pour l'essentiel sur des chemins** (deux sont en bord de route goudronnée) pour des raisons d'efficacité et de discrétion. Chaque point a fait l'objet de **deux relevés de 5 minutes** (premier passage entre le 16 et 27 avril 2007 et second passage entre le 30 mai et le 8 juin 2007). **Les oiseaux** ont été **localisés spatialement** lors des points d'écoute (sur une photographie aérienne centrée sur le point), en indiquant au second passage s'il s'agissait (probablement) d'un individu déjà repéré au premier passage. Le fort mitage de l'espace rend plus aisée cette spatialisaiton. Seulement pour les peupleraies localisées à proximité immédiate, le recouvrement total des strates basses (1-4 m et 4-8 m) et le diamètre moyen des peupliers ont été notés.

Les 2 482 individus localisés ont été intégrés au SIG. Soixante-quatre espèces ont été contactées, pour la très grande majorité il s'agit d'espèces communes en France ; parmi les plus patrimoniales, on peut citer la pie-grièche écorcheur (en très faible densité) et la locustelle tachetée, présentes dans les très jeunes peupleraies, et la mésange boréale qui semble apprécier les mosaïques de vieilles peupleraies.

Les indices utilisés sont :

²⁹ Projection NMDS (Non-Metric Multidimensional Scaling) des placettes, à partir des matrices de similarité calculées avec l'indice de Bray-Curtis, et analyse de similarité entre modalités du plan d'échantillonnage (test ANOSIM, Clarke, 1993), conduits avec les packages MASS et Vegan sous R.2.8.0.

³⁰ Test de Mantel entre 2 matrices de dissimilarité inter-relevés (Legendre et Legendre, 1998), conduit avec le package Vegan sous R.2.8.0.

- **la densité** : nombre de chanteurs par ha, toutes espèces³¹,
- **un index de spécialisation** de la communauté présente au point (Julliard et *al.*, 2006 ; Devictor et *al.*, 2008),
- **un indice du caractère forestier**, sur le même principe que le précédent, il rend compte de la préférence pour les vieux peuplements de chênaie, à partir des travaux de Muller (1985).

Ces indices ont été mis en relation avec la proportion respective des différents habitats (milieux agricoles, peupleraies, forêts) autour des points, calculée pour des distances de 100, 250 et 500 m. La surface moyenne des peupleraies et des fragments forestiers, la longueur de chemins et de routes ont également été calculées sur ces mêmes disques grâce au SIG. Une sélection de modèles basée sur l'AIC a alors permis de mettre en évidence l'importance relative des différentes variables décrivant le paysage environnant le point et à quelle échelle ces variables sont les plus « explicatives ». L'approche n'est pas celle classiquement utilisée en écologie du paysage (qui correspondrait plutôt à celle utilisée pour les carabiques), même si certains indices typiques de cette discipline ont été utilisés dans les analyses. L'importance des strates basses en peupleraie mature a été testée en ne gardant que les plus grandes peupleraies situées à proximité immédiate des points (28 peupleraies) et ainsi limiter les effets confondants de lisière.

Les résultats présentés sur l'avifaune dans ce rapport sont tirés de Archaux et Martin (2009), publication jointe en Annexe 1 : le lecteur y trouvera plus de détails sur les méthodes, les résultats et les références bibliographiques.

3.3.4 - Volet technico-économique

Les itinéraires populicoles et sylvicoles permettant d'améliorer la biodiversité ont été élaborés à partir :

- des résultats des volets flore, carabiques³² et avifaune de l'étude scientifique menée dans les grandes vallées de Champagne,
- des connaissances sur les liens entre gestion et biodiversité, tirées de la bibliographie,
- des résultats d'une enquête auprès des organismes régionaux travaillant dans le domaine de la forêt, de l'eau et de l'environnement,
- de la consultation d'experts extérieurs à la région Champagne-Ardenne.

Ces itinéraires ont été définis par un **groupe de travail** réunissant les partenaires du projet sous la coordination de l'IDF. Ils ont été discutés au sein d'un **comité de pilotage**, associant gestionnaires, institutionnels et scientifiques, afin d'avoir une validation régionale des préconisations (*cf.* Figure 3). Des **experts** extérieurs à la région ont également consultés.

Plusieurs **étapes** ont composé ce volet :

- **constitution du groupe de travail** et 1^{ère} réunion (18/10/06) pour définir la méthode de travail et la composition du comité de pilotage ;
- **enquête**, par contacts téléphoniques ou rendez-vous, auprès des gestionnaires locaux (neuf organismes consultés), ce qui a permis de dresser l'inventaire des pratiques populicoles et sylvicoles les plus courantes dans la région ;
- **1^{ère} réunion du comité de pilotage** (24/05/07) afin de présenter l'étude et son état d'avancement, exposer les premiers résultats des relevés floristiques et soumettre aux participants les résultats de l'enquête sur les itinéraires techniques classiques ;
- **élaboration des itinéraires alternatifs** en vue d'améliorer la biodiversité, par le groupe de travail, avec de nombreux échanges, en particulier lors de la réunion du 13/02/08 ; il en est résulté une première version des préconisations ;
- **présentation de l'étude** aux ingénieurs environnements de CRPF, avec visite sur le terrain (22 et 23/05/08) ; cet échange sur les itinéraires techniques a permis de recueillir l'avis des spécialistes d'autres régions, confrontés à des problématiques similaires, et ainsi de finaliser les propositions d'itinéraires alternatifs ;
- **2^{ème} réunion du comité de pilotage** (14/11/08) pour présenter les résultats en cours du volet scientifique et échanger sur les préconisations de gestion favorisant la biodiversité, afin de pouvoir établir des itinéraires techniques alternatifs validés par le comité de pilotage ;
- **rédaction des itinéraires techniques** alternatifs et évaluation de leur impact économique ;
- **réalisation d'une maquette de fiche de vulgarisation** à destination des propriétaires forestiers ; intégration des résultats au guide des stations forestières des vallées de Champagne-Ardenne.

³¹ Le nombre de chanteurs étant corrigé pour le fait qu'un certain nombre d'oiseaux ont pu être ratés aux deux passages ; cette correction a été réalisée via l'estimateur de Jackknife 1 basé sur le nombre total d'individus des deux passages confondus et le nombre d'individus détectés à seulement un passage : plus ce nombre est élevé, plus le nombre d'individus ratés aux deux passages doit être grand.

³² Les résultats du volet carabiques n'ont pu être intégrés que de façon partielle en raison du retard pris pour ce volet.

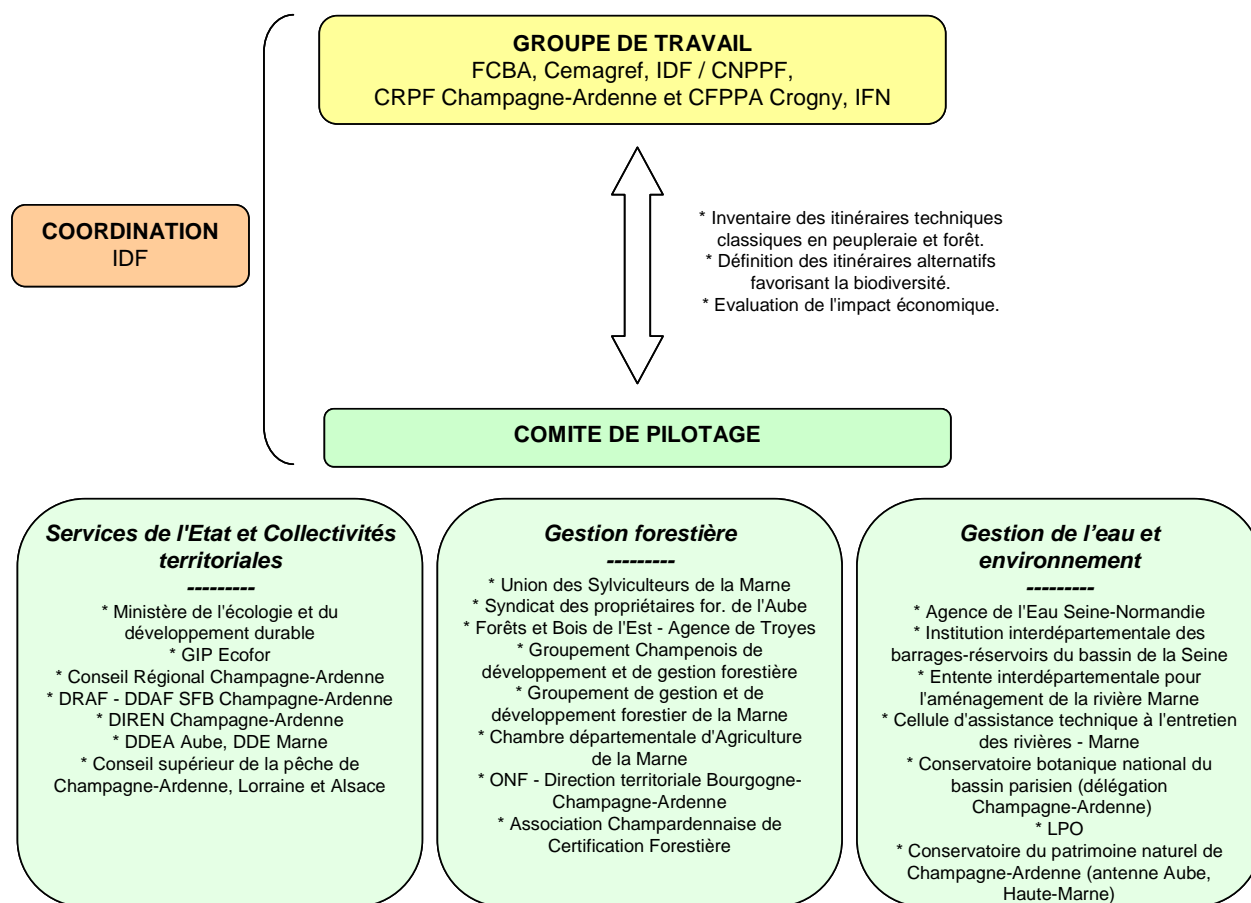


Figure 3 : Organisation de la concertation sur les itinéraires techniques et composition du groupe de travail et du comité de pilotage

Les méthodes d'évaluation du coût des préconisations en faveur de la biodiversité méritent d'être détaillées.

Les itinéraires techniques incluant les préconisations en faveur de la biodiversité sont comparés à l'itinéraire de référence pratiqué dans les vallées de Champagne (cf. § 6.1, CRPF Champagne-Ardenne, 2007).

Deux méthodes sont utilisées :

- pour deux itinéraires d'âge d'exploitabilité identique : comparaison du bénéfice actualisé (BA) et de l'annuité constante équivalente (ACE),
- pour deux itinéraires d'âge d'exploitabilité différent : comparaison du bénéfice actualisé de la séquence infinie (BASI) et de l'annuité constante équivalente (ACE).

Le même taux d'actualisation est utilisé pour les deux itinéraires comparés, sa valeur étant fixée selon les deux méthodes possibles (Peyron, 2005, Chevalier, 2008) :

- en recherchant la valeur du taux qui permet au BASI d'être égal à la valeur du fonds forestier, ce qui donne un taux respectivement égal à 4,71 % et 4,10 % pour les 2 fertilités retenues (exploitation à 17 ou 19 ans) dans l'itinéraire de référence,
- en choisissant le taux conseillé dans le cas d'investissement court, soit 4 % (S. Costa, *comm. pers.*), ce qui correspond à une valeur du fonds supérieure (3 665 et 2 405 €/ha pour les fertilités 1 et 2).

L'année de référence pour le calcul du bénéfice actualisé est l'année de plantation. Les calculs ont été réalisés sur une feuille Excel mise au point pour le peuplier par E. Paillassa (IDF).

Les chiffres issus de ces comparaisons doivent être considérés comme des ordres de grandeur, car ils sont liés aux hypothèses de calcul qui ne couvrent pas toutes les situations rencontrées dans la réalité. Afin d'en étudier l'incidence, une analyse de sensibilité a été conduite sur la fertilité avec deux âges d'exploitabilité.

Données et hypothèses de calcul

Frais fixes : frais de gestion (impôts, assurance responsabilité civile, maîtrise d'œuvre...) = 35 €/ha/an en peupleraie, 15 €/ha/an en absence de gestion (îlots de sénescence, lisière...).

Valeur du fonds forestier = 2200 €/ha ; l'achat du fonds en début d'itinéraire, puis sa revente à la fin, n'est pas inclus dans les calculs économiques.

Itinéraire technique de référence (cf. § 6.1) : replantation de peupliers, intermédiaire entre les itinéraires extensifs et ceux qui nécessitent des travaux de préparation et d'entretien importants (CRPF Champagne-Ardenne, 2007).

Densité = 204 tiges/ha

Tableau 3 : Itinéraire technique peuplier retenu pour les calculs économiques

année		opérations	prix unitaire (€/ha ou /plant)	dépenses (€/ha)
n (plantation)	1	Préparation du terrain (gyrobroyeur)	450	450 €
		fourniture et installation des plants, protection contre le chevreuil	8,0	1 632 €
		entretien mécanique au cover-crop entre les lignes ou chimique sur la ligne	150	150 €
n+1	2	entretien mécanique au cover-crop entre les lignes	180	180 €
		+ entretien chimique localisé	150	150 €
		égourmandage + taille	1,0	204 €
n+2	3	entretien mécanique au cover-crop entre les lignes	180	180 €
n+3	4	entretien chimique localisé	150	150 €
		élagage à 3 m + taille	1,2	245 €
n+5	6	élagage à 4,5 m	1,3	265 €
n+7	8	entretien mécanique au gyrobroyeur 1 ligne / 2	180	180 €
		élagage à 6 m	1,7	347 €
sous-total plantation				2 082 €
sous-total entretien				990 €
sous-total élagage taille				1 061 €
total				4 133 €

Récolte et recettes :

- âges d'exploitabilité : 17 et 19 ans, correspondant à 2 stations de fertilité différente,
- prix de vente sur pied : 42 €/m³,

Volume récolté pour des cultivars de type euraméricain I-214 ou Koster :

- hauteur découpe bois d'œuvre = 16 m et circonférence d'exploitabilité = 140 cm,
- calcul du volume unitaire à l'aide du tarif Chaudé n°12 : $v = 1,404 \text{ m}^3$,
- mortalité de 6 %.

Tableau 4 : Recettes pour l'itinéraire technique peuplier retenu pour les calculs économiques

âge d'exploitabilité (ans)	vol. unitaire (m ³)	vol. récolté (m ³ /ha)	Recettes (€/ha)
17 ou 19 ans	1,404	269	11 298

4 - RÉSULTATS - DISCUSSION

Le projet initial, dont certains objectifs ont été réorientés (cf. § 2), est à ce jour articulé autour de 9 groupes d'hypothèses (H1 à H9), constitués de 26 hypothèses, elles-mêmes divisées en 47 sous-hypothèses. Les Tableaux 5, 8, 10, 12 et 14 font état de la nature des tests de chaque sous-hypothèse. Nous les discuterons globalement à travers 5 ensembles de questions traitant (4.2) de l'influence de l'usage local et de l'âge de la peupleraie, (4.3) de l'antécédent de la peupleraie, (4.4) de la station, (4.5) de l'influence du sous-étage en peupleraie et (4.6) de l'environnement paysager.

4.1 - Contenu des tableaux du test des hypothèses

Les tableaux 5, 8, 10, 12 et 14 présentent, pour chaque hypothèse et pour chacun des 3 groupes biologiques, le résultat du test des hypothèses. Dans les colonnes Flore, Carabiques et Avifaune figurent :

- **OUI** l'hypothèse est totalement ou très majoritairement acceptée,
- **Partiel** l'hypothèse est partiellement acceptée,
- **Très partiel** l'hypothèse est acceptée pour une infime partie,
- **NON** l'hypothèse ne peut être acceptée, sans que l'on puisse préciser si l'hypothèse est non pertinente ou si le manque de puissance statistique ne permet pas de la valider. **(Non)** signifie que l'hypothèse n'est pas acceptée mais que le test n'a pas pu être réalisé dans de bonnes conditions,
- **Contraire** non seulement l'hypothèse n'est pas acceptée mais nous pouvons accepter son contraire,
- **Sans objet** l'hypothèse n'a pas d'intérêt pour le groupe biologique considéré,
- **Non testé** l'hypothèse n'a pas été testée, soit qu'elle n'était pas prévue pour le groupe biologique considéré³³, soit que les données récoltées n'aient pas permis de constituer le dispositif pour la tester.

Dans la colonne « Observations », sont mentionnées les particularités de certains résultats (test Partiel, Très partiel ou *Sans objet*), les problèmes rendant précaires les résultats (test (Non)) ou les raisons pour lesquelles le test prévu n'a pas été effectué.

4.2 - Influence de l'usage local et de l'âge de la peupleraie

Ce questionnement concerne **les 3 groupes biologiques** et les groupes d'hypothèses **H1, H2 et H3**. Nous les avons regroupées dans la même section car les peupleraies jeunes et les peupleraies âgées présentent de fortes différences qui rendent parfois inadaptée leur agrégation.

Le **Tableau 5** rend compte du **test de chaque sous-hypothèse**. Il révèle globalement une assez forte acceptation des hypothèses ainsi qu'une convergence des résultats pour les trois groupes³⁴. Les principales différences portent sur les hypothèses :

- H1.3.3 : les peupleraies présentent nettement des espèces spécifiques pour la flore et les carabiques alors que cela est plus discutable pour les oiseaux,
- H2.3.0 : la succession en peupleraie est de type décalée pour les carabiques et l'avifaune, alors qu'elle est emboîtée décroissante pour la flore.

Le **Tableau 6** présente les **résultats** pour la **flore** obtenus avec le **dispositif flore** où de **nombreux facteurs** de variations sont **contrôlés**. Il compare des prairies subnaturelles, des forêts anciennes et des peupleraies classiques sans sous-étage, chaque modalité ayant un antécédent d'usage constant. Les peupleraies sont divisées en 2 catégories : peupleraies jeunes et peupleraies âgées. Par ailleurs, le dispositif a été rééquilibré³⁵ pour réduire le biais stationnel (contrôle de la VI d'humidité du sol).



Photos 1 : Les 4 types d'usage local du dispositif carabiques : jachère, peupleraie classique jeune et âgée, forêt récente (Photos R. Chevalier)

Le **Tableau 7** présente les **résultats** pour la **flore et les carabiques** obtenus avec le **dispositif carabiques**. Les modalités comparées sont : jachère, peupleraie jeune classique, peupleraie âgée classique, forêt principalement récente (cf. Photos 1). L'antécédent d'usage n'est pas autant contrôlé que dans le Tableau 6, ni la variation d'humidité du sol. Les **résultats** sont donc **susceptibles de comporter**, plus que pour le dispositif flore, **certaines effets confondants** en cours d'approfondissement.

³³ Après réorientation de l'échantillonnage (cf. § 2)

³⁴ En vert dans les 3 colonnes pour une même sous-hypothèse.

³⁵ Par purge de certains relevés.

Tableau 5 : Synthèse du test des groupes d'hypothèses H1, H2 et H3 relatives à l'usage local et à l'âge de la peupleraie

Hypothèse	Flore	Carabiq.	Avifaune	Observations
Groupe H1 - Réponse de la biodiversité à l'usage du sol local et actuel				
H1.1.1 La richesse locale et la composition des communautés diffèrent selon le type d'usage du sol étudié.	Partiel	Partiel	OUI	/
H1.1.2 La composition des communautés des peupleraies est intermédiaire entre celle des milieux ouverts et des forêts.	Partiel	Partiel	Partiel	/
H1.2.1 L'abondance et/ou la richesse des espèces de milieu ouvert ou héliophiles décroissent le long du gradient "milieux ouverts - peupleraies - forêts".	OUI	OUI	OUI	/
H1.2.2 L'abondance et/ou la richesse des espèces forestières ou sciaphiles croissent le long de ce gradient.	OUI	OUI	OUI	/
H1.2.3 L'abondance et/ou la richesse des espèces généralistes ne varient pas le long de ce gradient.	Sans objet	Contraire	Sans objet	Flore et avifaune : généralistes absentes à ce niveau de comparaison
H1.3.1 Des espèces sont spécifiques des milieux ouverts.	OUI	OUI	OUI	/
H1.3.2 Des espèces sont spécifiques des forêts.	OUI	OUI	OUI	/
H1.3.3 Aucune espèce n'est spécifique des peupleraies.	Contraire	Contraire	Partiel	/
H1.4.0 La peupleraie héberge des espèces patrimoniales en forte régression.	Partiel	Non testé	OUI	Flore : sur sols les plus humides
Groupe H2 - Réponse de la biodiversité à l'âge de la peupleraie				
H2.1.0 La richesse et la composition des communautés varient selon l'âge de la peupleraie.	OUI	Partiel	OUI	/
H2.2.1 L'abondance et/ou la richesse des espèces de milieu ouvert et héliophiles décroissent avec l'âge de la peupleraie.	OUI	OUI	OUI	/
H2.2.2 L'abondance et/ou la richesse des espèces forestières et sciaphiles croissent avec l'âge de la peupleraie.	Très partiel	OUI	OUI	/
H2.3.0 Les patrons de réponse des espèces à l'âge de la peupleraie miment des profils successionnels décalés.	Contraire	OUI	OUI	Flore : succession emboîtée décroissante
Groupe H3 - Réponse de la biodiversité à l'usage du sol actuel, suivant l'âge de la peupleraie ou du peuplement				
H3.1.1 Les jeunes peupleraies ont une composition plus proche des milieux ouverts que des forêts.	OUI	OUI	Très partiel	/
H3.1.2 Les peupleraies adultes ont une composition plus proche des forêts que des milieux ouverts.	Partiel	Partiel	OUI	/
H3.1.3 De plus, ces peupleraies âgées ont une similarité plus forte avec les peuplements forestiers jeunes qu'âgés.	Non testé	Non testé	Partiel	Flore : manque peuplements jeunes
H3.2.1 L'abondance et/ou la richesse des espèces des milieux ouverts ou héliophiles sont plus fortes dans les milieux ouverts que dans les peupleraies jeunes.	Partiel	NON	Partiel	/
H3.2.2 L'abondance et/ou la richesse des espèces forestières ou sciaphiles sont plus fortes dans les forêts que dans les peupleraies âgées.	OUI	Partiel	OUI	/

Tout d'abord, les résultats concernant la flore sont de même nature pour les deux dispositifs, les valeurs plutôt faibles (cases rouge et orange) et les plus élevées (cases vert foncé et vert clair) sont conservées pour les deux Tableaux 6 et 7. **Le biais stationnel n'est donc pas de nature à changer l'agencement des résultats pour la flore**, et les infléchit légèrement. Nous ne pouvons cependant pas valider, pour l'instant, cette tendance pour les carabiques.

La principale différence entre la flore et les carabiques concerne le type de succession lors du cycle de peupleraie. Celle-ci est de type **décalée pour les carabiques** (comme pour l'avifaune) où les espèces se remplacent au cours de la succession³⁶, avec certaines espèces spécifiques des stades jeunes et d'autres spécifiques des stades adultes, alors qu'elle est de type **emboîtée pour la flore** avec le maximum d'espèces en début de cycle ("Relay succession" versus "Initial floristics" de Egler, 1954). Pour la flore, la perte d'espèces correspond essentiellement aux espèces de milieu ouvert (cultures, prairiales, mégaphorbiaies). Pour les carabiques, l'augmentation de la richesse en espèces forestières au cours du cycle concerne essentiellement les espèces dispersives.

³⁶ Avec un chevauchement plus ou moins prononcé, pouvant être total pour les espèces généralistes.

Les espèces carabiques de milieu ouvert qui arrivent en début de cycle ont elles aussi de bonnes capacités de dispersion. Le cycle populicole pourrait donc s'avérer trop rapide pour permettre aux espèces peu dispersives de s'installer dans les peupleraies avant que l'habitat n'ait à nouveau changé.

Tableau 6 : Lien entre l'usage local et les indices de biodiversité floristique pour le dispositif flore

Usage local Dispositif Flore		Prairie sub-naturelle	Peupleraie jeune	Peupleraie âgée	Forêt ancienne	Anova	KW
<i>n</i>		15	20	18	13		
Flore	VI d'humidité	6,35	6,40	6,59	6,31	NS	NS
	VI d'eutrophisation	6,02	6,51	6,74	6,27	#	★★★
	S totale	23,0	37,2	24,1	25,2	#	★★★
	S cultures	6,9 (b)	10,4 (c)	5,0 (b)	2,6 (a)	★★★	★★★
	S prairiales	12,5 (c)	6,2 (b)	2,1 (a)	0,9 (a)	★★★	★★★
	S forestières	1,2	5,3	5,3	7,9	#	★★★
	S forêts anciennes	0,0	1,8	2,3	5,9	#	★★★
	S mégaphorbiaies	7,0 (a)	15,8 (b)	13,6 (b)	8,5 (a)	★★★	★★★

Tableau 7 : Lien entre l'usage local et les indices de biodiversité floristique et carabiques pour le dispositif carabiques

Usage local Dispositif Carabiques		Jachère	Peupleraie jeune	Peupleraie âgée	Forêt récente	Anova	KW
<i>n</i>		12	20	20	11		
Flore	VI d'humidité	5,85 (a)	6,45 (b)	6,69 (b)	5,81 (a)	★★★	★★★
	VI d'eutrophisation	5,87 (a)	6,43 (b)	6,63 (b)	6,04 (a)	★★★	★★★
	S totale	29,2 (a)	40,2 (b)	21,8 (a)	20,6 (a)	★★★	★★★
	S cultures	11,2 (c)	11,0 (c)	4,8 (b)	2,1 (a)	★★★	★★★
	S prairiales	11,7 (c)	6,9 (b)	2,5 (a)	1,0 (a)	★★★	★★★
	S forestières	1,8 (a)	6,8 (b)	4,7 (b)	7,4 (b)	★★★	★★★
	S forêts anciennes	0,2 (a)	2,3 (b)	1,9 (b)	5,3 (c)	★★★	★★★
	S mégaphorbiaies	7,5 (ab)	17,7 (c)	11,5 (b)	5,2 (a)	★★★	★★★
Carabiques	S totale	16,4 (ab)	21,1 (b)	17,5 (ab)	14,4 (a)	★	Tend
	S milieux ouverts	7,1 (b)	8,7 (b)	3,9 (a)	2,6 (a)	★★★	★★★
	S forestières	1,9 (a)	2,4 (a)	4,0 (b)	5,3 (b)	★★★	★★★
	S spécialistes forestières	0,6 (a)	0,7 (a)	1,6 (b)	2,5 (b)	★★★	★★
	S Généralistes	7,4 (ab)	10,0 (b)	9,7 (ab)	6,5 (a)	★	★
	<i>S peu dispersives</i>	1,1	1,4	1,8	2,1	NS	NS
	S milieux ouverts dispersives	5,7 (b)	7,2 (b)	2,6 (a)	2,1 (a)	★★★	★★★
	S milieux ouverts peu dispers.	0,3	0,6	0,8	0,4	Tend	Tend
	S forestières dispersives	1,0 (ab)	1,2 (b)	2,2 (ab)	2,6 (b)	★★	★★
<i>S forestières peu dispersives</i>	0,8	0,7	1,0	1,5	NS	NS	

Avec : ★★★ : Hautement significatif lorsque $p \leq 0,001$; ★★ : Très significatif lorsque $p \leq 0,01$; ★ : Significatif lorsque $p \leq 0,05$; Tend : Tendence lorsque $p \leq 0,10$; NS : Non significatif lorsque $p > 0,10$; # : Anova impossible (hétérogénéité des variances).

Ces patrons, assez classiques de succession emboîtée ou décalée, ont par exemple déjà été observés en futaie régulière feuillue sur des cycles beaucoup plus longs pour la flore vasculaire forestière (Didier et Royer, 1994 ; Chevalier, 2003), pour les carabiques (Du Bus de Warnaffe et Lebrun, 2004 ; Richard *et al.*, 2004) et pour l'avifaune (Frochot, 1971), mais aussi dans les peupleraies bourguignonnes pour la flore (Godreau, 1998) et picardes, voire italiennes, pour les carabiques (Allegro et Sciaky, 2003, Berthelot *et al.*, 2004 ; Denux *et al.*, 2007). L'étude du type de succession est essentiel pour comprendre la biodiversité et la gérer. Ainsi, dans le cas de la flore, la succession identifiée ne milite pas pour un rallongement du cycle de production³⁷ alors que, pour les carabiques et dans une moindre mesure l'avifaune, la succession décalée laisse penser qu'une augmentation de la durée du cycle permettra l'arrivée de nouvelles espèces.

En outre, si les peupleraies ont un caractère intermédiaire entre les milieux ouverts et les forêts (cf. Figure 4), s'y rajoute un cortège d'espèces spécifiques.

³⁷ Poursuite de l'érosion de la richesse spécifique avec l'augmentation de la durée du cycle.

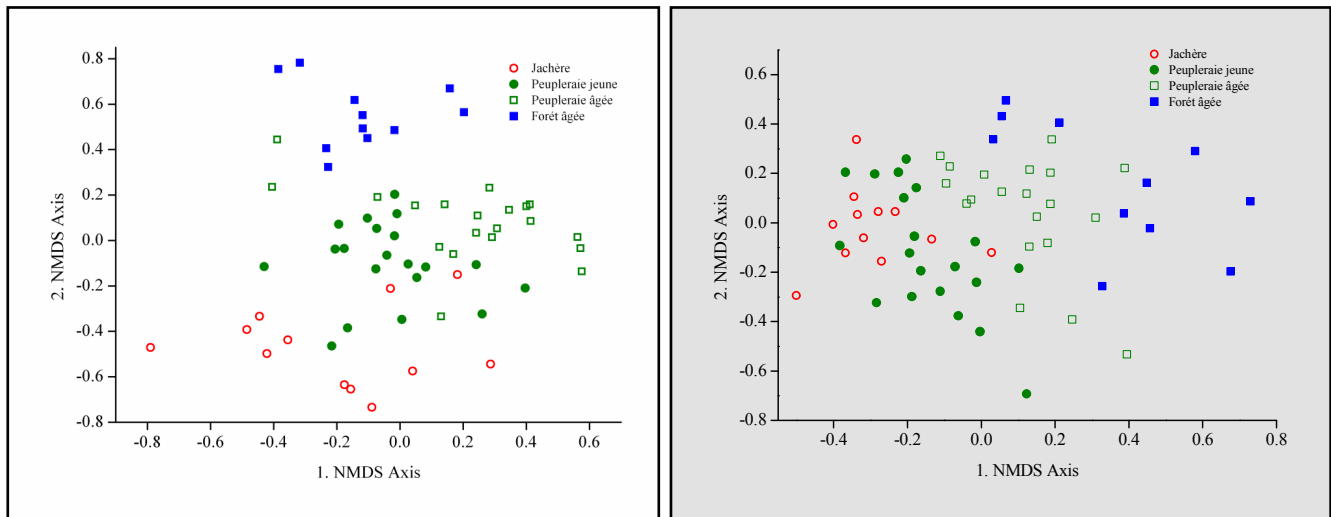


Figure 4 : Changement de composition en espèces en fonction du type d'habitats pour la flore (blanc à gauche) et les carabiques (gris à droite)

(Dispositif carabiques, 63 placettes, ordinations NMDS sur indice de similarité Bray-Curtis, tests ANOSIM ★★)

Pour la flore, nous avons identifié 31 espèces préférentielles des peupleraies (jeunes ou âgées) qui sont majoritairement des espèces de mégaphorbiaies. Cependant, 7 d'entre-elles sont des espèces forestières. La richesse des espèces de mégaphorbiaies est la plus élevée dans les peupleraies jeunes. Si l'on veut favoriser ces espèces exigeantes en lumière et en azote, la réduction du cycle populicole semble une piste intéressante. En revanche, la densité de plantation, généralement avancée comme favorable aux espèces de mégaphorbiaies (Bruel et Mirlyaz, 2002) n'a aucun effet pour notre échantillon de peupleraies classiques jeunes et âgées³⁸.

Pour les carabiques, contrairement aux résultats d'Ulrich *et al.* (2004), nous avons identifié 18 espèces préférentielles des peupleraies (jeunes ou âgées) qui sont majoritairement des espèces généralistes. Seule une espèce forestière est spécifique des peupleraies âgées. En outre, pour 6 des 18 espèces spécifiques de la peupleraie, cette préférence pourrait davantage s'expliquer par des effets confondants : humidité du sol pour 3 espèces et antécédent historique pour 3 espèces.

Pour les oiseaux, nous avons identifié deux espèces plus fréquentes en (jeune) peupleraie que dans tous les autres habitats : le pipit des arbres et la locustelle tachetée. Pourrait s'y ajouter le loriote pour la peupleraie âgée.

Par ailleurs, **des signes de banalisation de la biodiversité sont révélés pour les peupleraies**. Ainsi, avec la VI d'Eutrophisation, la flore révèle une plus forte eutrophisation, avec une tendance plus forte pour les peupleraies âgées alors que les peupleraies jeunes se distinguent par la plus forte richesse d'espèces assez communes à très communes des cultures, tout à fait banales pour la zone d'étude. Il est à noter que cette banalisation ne se fait pas au détriment des autres espèces du fait de la succession emboîtée. Pour les carabiques, les peupleraies ont une plus forte richesse en espèces généralistes, et les peupleraies jeunes comptent le plus d'espèces de milieux ouverts dispersives. A l'inverse, **les peupleraies hébergent l'avifaune la plus spécialisée dans les premières années suivant la plantation. A contrario, le degré de spécialisation de l'avifaune est minimal dans les forêts.**

Enfin, certaines espèces restent spécifiques aux habitats de référence. Pour les carabiques, 4 espèces sont préférentielles des jachères et 4 autres des forêts (*cf.* manuscrit en préparation, Annexe 4). Pour la flore, 20 (dont 5 originales) sont préférentielles des prairies subnaturelles et autant le sont des forêts anciennes. Pour les oiseaux, on peut également citer parmi les espèces typiques des forêts la sittelle torchepot, le grimpeur des jardins, le pigeon ramier et le pinson des arbres. Par contre, le secteur d'étude s'est avéré extrêmement pauvre en espèces des milieux ouverts, ce qui fait que l'on ne peut citer d'espèce d'oiseau préférentielle des champs cultivés, prairies et jachères.

Pour conclure d'un point de vue multi-taxinomique, la ressemblance apparente entre les ordinations basées sur la flore et les carabiques est confirmée par la corrélation significative, même si elle est assez faiblement positive, entre les matrices de similarité de la flore et des carabiques (test de Mantel significatif : $r = 0,18$ ***): lorsque 2 placettes ont des compositions floristiques similaires, elles ont aussi une composition similaire en espèces de carabiques.

³⁸ Densité de plantation des peupliers comprise entre 150 et 280 à l'hectare. Résultats non présentés dans le présent rapport.

4.3 - Influence de l'antécédent de la peupleraie

Ce questionnement concerne **seulement la flore** et les groupes d'hypothèses **H4 et H5**. Le **Tableau 8** rend compte du **test de chaque sous-hypothèse**. Le **Tableau 9** présente les **résultats** obtenus pour le **dispositif flore** qui compare, pour les peupleraies classiques, après contrôle des facteurs de variation non désirés, d'une part pour les peupleraies jeunes, d'autre part pour les peupleraies âgées, les antécédents prairie, peupleraie et forêt-peupleraie. Nous noterons que, en l'absence de véritables antécédents forestiers durables, nous avons dû nous rabattre vers un antécédent forêt-peupleraie³⁹ (cf. § 3.2)

Tableau 8 : Synthèse du test des groupes d'hypothèses H4 et H5 relatives à l'antécédent de la peupleraie

Hypothèse	Flore	Carabiq.	Avifaune	Observations
Groupe H4 - Réponse de la biodiversité à l'antécédent historique de la peupleraie				
H4.1.1 La richesse des différents groupes d'espèces et la composition des communautés des peupleraies varient selon l'antécédent d'usage du sol.	Partiel	Non testé	Non testé	/
H4.1.2 Les peupleraies issues de prairies ont une composition plus proche des prairies.	Partiel	Non testé	Non testé	/
H4.1.3 Les peupleraies issues de forêts ont une composition plus proche des forêts subnaturelles.	(Non)	Non testé	Non testé	Antécédent forêt = mélange forêt/peupleraie
H4.1.4 Les peupleraies issues de peupleraies sont appauvries.	Contraire	Non testé	Non testé	/
H4.2.1 L'abondance et la richesse des espèces de milieu ouvert ou héliophiles sont plus fortes dans les peupleraies issues de prairies que dans celles issues de peupleraie.	Très partiel	Non testé	Non testé	/
H4.2.2 L'abondance et la richesse des espèces forestières ou sciaphiles sont plus fortes dans les peupleraies issues de forêts que dans les peupleraies issues de peupleraies.	(Non)	Non testé	Non testé	Antécédent forêt = mélange forêt/peupleraie
H4.3.1 Contrairement aux peupleraies issues de cycles répétés, les peupleraies issues de prairies abritent des espèces spécifiques des prairies subnaturelles.	NON	Non testé	Non testé	/
H4.3.2 Les peupleraies issues de forêts abritent des espèces spécifiques des forêts alluviales subnaturelles.	(Non)	Non testé	Non testé	Antécédent forêt = mélange forêt/peupleraie
Groupe H5 - Réponse de la biodiversité à l'usage passé du sol, suivant l'âge actuel de la peupleraie				
H5.1.1 Les peupleraies issues de prairies ont une composition plus proche des prairies dans les stades jeunes que les peupleraies issues de cycles répétés.	Très partiel	Non testé	Non testé	/
H5.1.2 Dans les stades âgés, la composition des peupleraies issues de prairies converge vers celle des peupleraies issues de cycles répétés.	Partiel	Non testé	Non testé	Divergence pour les espèces prairiales
H5.2.1 La différence d'abondance et de richesse des espèces de milieu ouvert ou héliophiles entre peupleraies issues de prairies et peupleraies issues de peupleraie est liée aux stades jeunes.	Contraire	Non testé	Non testé	/
H5.2.2 La différence d'abondance et de richesse des espèces forestières ou sciaphiles entre peupleraies issues de forêts et peupleraies issues de peupleraies est liée aux stades âgés.	(Non)	Non testé	Non testé	Antécédent forêt = mélange forêt/peupleraie Quasi absence de différence.
H5.3.1 Les peupleraies jeunes issues de prairies abritent plus d'espèces prairiales.	NON	Non testé	Non testé	/
H5.3.2 Les peupleraies âgées issues de forêts abritent plus d'espèces forestières.	(Non)	Non testé	Non testé	Antécédent forêt = mélange forêt/peupleraie

Si certains tests significatifs sont obtenus, ceux-ci sont moins nombreux et proches du seuil "fatidique" de 5% (nombre élevé de cases jaunes dans le Tableau 8) que ceux obtenus avec l'usage local et l'âge de la peupleraie (cf. § 4.2). **En comparaison de l'âge, l'antécédent culturel de la peupleraie est un facteur secondaire pour la biodiversité floristique.** Cela ne nous empêche pas d'identifier 2 sous-hypothèses où le résultat obtenu est inverse à celui attendu. L'influence de l'antécédent est essentiellement visible pour les peupleraies jeunes (cf. Tableau 9) ; un seul indice varie selon l'antécédent pour les peupleraies âgées, il varie dans le même sens pour les peupleraies jeunes mais de façon très amoindrie. Par ailleurs nous n'observons aucune différence significative entre antécédent peupleraie et antécédent peupleraie-forêt (sans pouvoir distinguer les peupleraies qui auraient succédé à de véritables forêts anciennes).

³⁹ Près des 2/3 des situations sont en fait un retour à l'état forestier entre 2 générations de peuplier ou bien des peuplements mélangés forêt/peuplier.

Le Tableau 9 montre que **les jeunes peupleraies à antécédent prairie ont la plus faible richesse totale, sans que le nombre d'espèces prairiales y soit plus élevé (5 à 7)**. Celui-ci reste largement inférieur à celui observé dans les prairies subnaturelles ou les jachères (12 à 13 espèces). Au regard la théorie de la perturbation moyenne (Connel, 1978 *in* Begon *et al.*, 1996, et Morin, 1999), qui prédit que la diversité est maximale à un niveau de perturbation moyen, grâce à l'arrivée d'espèces favorisées par la perturbation, alliée au maintien des espèces qui y sont sensibles, l'installation d'une peupleraie sur une prairie constitue une perturbation majeure qui détruit en grande partie les communautés initiales. De ce point de vue, **si la peupleraie héberge des espèces prairiales fort ordinaires (telles que *Poa trivialis*), elle n'a un rôle de refuge que très marginal pour les espèces prairiales**.

Nous pouvons en revanche considérer que **le renouvellement de la peupleraie correspond bien à un niveau de perturbation moyen**⁴⁰ puisque les espèces forestières de la peupleraie âgée se maintiennent et les espèces de milieux ouverts réapparaissent (*cf.* § 4.2)

Tableau 9 : Lien entre l'antécédent et les indices de biodiversité floristique pour les peupleraies jeunes et âgées

Age peupleraie	Peupleraies jeunes					Peupleraies âgées					
	Antéc. prairie	Antéc. peupler.	Antéc. forêt-peupl.	Anova	KW	Antéc. prairie	Antéc. peupler.	Antéc. forêt-peupl.	Anova	KW	
<i>n</i>	7	10	8			7	20	7			
Flore	VI d'humidité	6,38	6,54	6,51	NS	NS	6,82	6,85	6,92	NS	NS
	VI d'eutrophisation	6,51	6,39	6,54	NS	NS	6,35 (a)	6,64 (ab)	6,77 (b)	★	★
	S totale	24,7 (a)	41,7 (b)	35,8 (b)	★★★	★★	25,0	24,6	22,3	NS	NS
	S cultures	7,9	9,9	8,3	NS	NS	5,6	5,1	3,7	NS	NS
	S prairiales	6,9	6,8	5,3	NS	NS	6,1 (b)	2,3 (a)	1,6 (a)	★★★	★★★
	S forestières	2,9 (a)	6,1 (ab)	7,3 (b)	★	★	4,0	4,3	3,9	NS	NS
	S forêts anciennes	0,0 (a)	2,3 (b)	2,3 (b)	★★	★★★	5,1	6,3	5,5	NS	NS
	S mégaphorbiaies	8,9 (a)	17,3 (b)	15,5 (b)	★★	★★	12,0	12,4	12,0	NS	NS

Avec : ★★★ : Hautement significatif lorsque $p \leq 0,001$; ★★ : Très significatif lorsque $p \leq 0,01$; ★ : Significatif lorsque $p \leq 0,05$; Tend : Tendance lorsque $p \leq 0,10$; NS : Non significatif lorsque $p > 0,10$; # : Anova impossible (hétérogénéité des variances).

La succession emboîtée de la flore, observée lors de la répétition des cycles populicoles, implique que les espèces en fin de succession ne disparaissent pas lors du renouvellement et que de nouvelles réapparaissent, grâce au maintien d'une partie de l'appareil végétatif aérien (ligneux) ou souterrain (rhizomes assez profonds d'espèces des mégaphorbiaies), ou suite à la germination de graines.

Sur la zone d'étude, le travail du sol se fait généralement par disquage peu profond sans dessouchage (arasage par opposition au labour profond), ce qui est propice au maintien des groupes d'espèces évoqués. Nous pouvons ensuite rappeler le caractère favorable de la perturbation du sol pour la germination des graines, quelles soient stockées dans le sol ou apportées à distance. On sait par exemple que les espèces herbacées typiquement forestières n'ont quasiment pas de banque de graine du sol et sont disséminées à très faible distance⁴¹ et que la banque de graines du sol s'épuise progressivement en forêt si le régime de perturbation est trop peu marqué sur une longue durée, comme par exemple en futaie régulière de chêne (Van Calster *et al.*, 2008). La faible durée du cycle populicole (environ 20 ans) constitue à cet effet un avantage certain. **Les itinéraires populicoles classiques pratiqués sur la zone d'étude ne conduisent pas à une érosion de la biodiversité floristique des peupleraies avec la répétition des cycles populicoles**. Par contre, les analyses en cours sur l'effet de l'usage ancien (d'après les cartes d'État-major 1830) montrent que **la flore des peupleraies ne présente aucun stigmate de l'usage ancien, contrairement à ce qui est observé en forêt**, probablement du fait de perturbations plus fréquentes (*cf.* projets d'articles Annexe 3).

Hors banque de graines du sol, nous avons quantifié le gain de richesse spécifique de différents groupes de dissémination (selon Julve, 2007). Nous avons remarqué que la plus forte richesse des jeunes peupleraies est principalement liée aux espèces anémochores (+ 4,5 espèces) mais aussi aux espèces barochores (+2,5 espèces), hydrochores (+1,9 espèces) et épizochores (+ 1,4 espèces). **La meilleure richesse spécifique des jeunes peupleraies est liée à de multiples sources d'approvisionnement de graines, même si l'apport par le vent est le plus important**.

⁴⁰ Au sein de l'« écosystème peupleraie ».

⁴¹ Progression de seulement 30 cm par an en moyenne selon Brunet et Von Oheimb (1998).

Curieusement, si nous n'observons pas de différence significative de richesse en espèces prairiales suivant l'antécédent des peupleraies jeunes, nous en observons dans les peupleraies âgées. Cela signifie que certaines espèces prairiales qui ont surmonté le cap de la perturbation d'installation de la peupleraie sur une prairie se maintiennent plus longtemps que dans une peupleraie à antécédent populier. A notre connaissance, cette étude est la première à tester l'influence de l'antécédent culturel sur la diversité des peupleraies (les travaux traitant des usages passés en contexte alluvial excluant les peupleraies, Hérault et Honnay, 2005, Graae et al., 2004).

Pour conclure, l'antécédent culturel de la peupleraie semble influencer l'organisation actuelle des communautés ainsi que les patrons successionnels au cours du cycle populier, conformément aux prédictions de certains modèles de règles d'assemblage des communautés prenant en compte les aspects historiques dans les interactions interspécifiques (effectifs initiaux des espèces en présence pour Yodzis, 1986 ; ordre d'arrivée des espèces pour Drake, 1990 ; ou simple effet de priorité pour Morin, 1999).

4.4 - Influence de la station

Ce questionnement concerne **seulement la flore** et le groupes d'hypothèses **H6**. Le **Tableau 10** rend compte du **test de chaque sous-hypothèse**. Le **Tableau 11** présente les **résultats** obtenus pour le **dispositif flore** qui compare, uniquement pour les peupleraies jeunes classiques à antécédent peupleraie, 3 types d'humidité du sol : très humide (VI F < 6), humide (VI F 6,5 à 7) et frais (VI F > 7,5).

Tableau 10 : Synthèse du test du groupe d'hypothèses H6 relatif aux conditions stationnelles

Hypothèse	Flore	Carabiq.	Avifaune	Observations
Groupe H6 - Réponse de la biodiversité aux conditions stationnelles				
H6.1.0 Les peupleraies en situation de forte productivité ont une biodiversité floristique moindre que celles où la productivité est contrainte par la station.	Partiel	Non testé	Non testé	Globalement oui mais contraire pour la richesse en espèces patrimoniales
H6.2.0 En conséquence de H2.1, le processus est plus prononcé dans les peupleraies âgées où l'allocation des ressources s'est accumulée avec le temps en faveur du peuplier.	(Non)	Non testé	Non testé	Manque de peupleraies âgées sur sols secs
H6.3.0 Les peupleraies en situation stationnelle limitante présentent plus de similitude avec les formations prairiales et forestières subnaturelles dans un même contexte stationnel que les peupleraies en situation de croissance optimale.	Non testé	Non testé	Non testé	Impossible de constituer le dispositif

Le groupe d'hypothèses H6 fait appel à des conditions stationnelles limitantes pour la croissance du peuplier de culture. Lévy (1990) a étudié la productivité du peuplier sur notre zone d'étude, en prenant pour indice de fertilité la hauteur atteinte à 20 ans. Celle-ci est la plus élevée pour le type très humide (26,4 m), suivi de près par le type humide (25,2 m), qui se détache du type frais (seulement 21,7 m). En tenant compte du fait que **seul le type frais** se distingue significativement des 2 autres, nous pouvons penser que c'est le seul qui **présente des contraintes pour la croissance du peuplier**.

Tableau 11 : Influence de l'humidité du sol sur la biodiversité floristique des jeunes peupleraies

	Humidité du sol peupleraies jeunes	Très humide	Humide	Frais	Anova	KW
	<i>n</i>	7	10	8		
Flore	VI d'humidité	7,77 (c)	6,69 (b)	5,70 (a)	***	***
	VI d'eutrophisation	6,67 (b)	6,63 (b)	6,27 (a)	**	*
	S totale	26,7 (a)	34,7 (a)	47,5 (b)	***	***
	S patrimoniale	0,78	0,10	0,25	Tend	Tend
	S cultures	4,9 (a)	8,6 (b)	14,4 (c)	***	***
	S prairiales	4,1 (a)	5,7 (a)	9,3 (b)	**	**
	S forestières	1,9 (a)	5,1 (b)	7,1 (b)	***	***
	S forêts anciennes	0,3 (a)	0,9 (a)	2,8 (b)	**	**
S mégaphorbiaies	13,9	16,7	17,0	NS	NS	

Avec : *** : Hautement significatif lorsque $p \leq 0,001$; ** : Très significatif lorsque $p \leq 0,01$; * : Significatif lorsque $p \leq 0,05$; **Tend** : Tendance lorsque $p \leq 0,10$; NS : Non significatif lorsque $p > 0,10$; # : Anova impossible (hétérogénéité des variances).

Le Tableau 11 nous conduirait à accepter la sous-hypothèse H6.1.0, qui avance que **la biodiversité diminue avec la productivité**, car la richesse totale et celle de la plupart des groupes augmente⁴² lorsque l'on passe du type le plus productif au moins productif. Cela irait dans le sens d'une baisse de la diversité floristique avec l'augmentation des ressources, leur allocation se faisant en faveur des espèces compétitives (Tilman, 1988). **Cependant, dans le Tableau 10, nous n'acceptons que partiellement cette hypothèse car les espèces patrimoniales ont une préférence pour les sols les plus humides** (différence presque significative). Cette tendance est confirmée par le fait que deux espèces patrimoniales, toutes les deux de mégaphorbiaie selon Julve (2007) (*Senecio paludosus* et *Euphorbia palustris*)⁴³ ont une préférence significative pour les sols très humides en peupleraie. Les espèces patrimoniales présentées au § 3.3.1 sont d'ailleurs bien souvent liées aux milieux les plus humides.

Ce résultat est d'autant plus important que, **parmi les nombreuses analyses effectuées, c'est la seule situation où nous avons mis en évidence un résultat significatif pour les espèces patrimoniales**. La richesse spécifique totale n'est pas l'indice de biodiversité le plus intéressant car le surplus est souvent lié à des espèces banales (principalement des espèces des cultures assez communes à très communes pour notre dispositif) alors que, par exemple, des relevés à forte valeur patrimoniale peuvent compter très peu d'espèces. Ainsi, les 2 relevés de notre étude qui comptent le plus d'espèces patrimoniales (3 espèces) ont une richesse totale de 27 et 14 espèces. Ces deux relevés ont été réalisés en prairie très humide (respectivement VI d'humidité de 7,6 et 8,6). En tenant compte du fait que, sur notre zone d'étude, les prairies subnaturelles et notamment les plus humides sont extrêmement rares, et en constante diminution depuis un siècle (Laurent, 1920, Didier et Royer, 1988, nos observations en 2006 et 2007), **il serait exagéré de conclure que les peupleraies sur les sols les plus humides favorisent les espèces patrimoniales**. Nous pouvons simplement affirmer que certaines d'entre elles réussissent à y subsister. Ces considérations manquent un peu d'argumentation statistique mais les espèces patrimoniales ont de trop faibles niveaux d'occurrence dans des études comme la nôtre pour affiner cette problématique majeure.

4.5 - Influence du sous-étage dans la peupleraie

Ce questionnement concerne seulement la **flore et l'avifaune** pour le groupe d'hypothèses **H7**. Le **Tableau 12** rend compte du **test de chaque sous-hypothèse**. Le **Tableau 13** présente les **résultats** obtenus pour le **dispositif flore** après contrôle de la variation d'humidité du sol. Nous comparons les modalités peupleraie âgée classique, peupleraie âgée à sous-étage⁴⁴, forêt récente et forêt ancienne.

Tableau 12 : Synthèse du test du groupe d'hypothèses H7 relatif au sous-étage dans la peupleraie

Hypothèse	Flore	Carabiq.	Avifaune	Observations
Groupe H7 - Réponse de la biodiversité à l'intensité des entretiens de la peupleraie				
H7.1.1 Un arrêt précoce de la maîtrise de la végétation concurrente, entraînant l'installation d'un sous-étage, augmente la biodiversité des peupleraies.	NON	Non testé	Partiel	<i>Augmente la densité mais pas la richesse de l'avifaune</i>
H7.1.2 Un arrêt précoce de la maîtrise de la végétation concurrente, entraînant l'installation d'un sous-étage, rapproche les vieilles peupleraies des forêts adultes.	OUI	Non testé	NON	/
H7.2.0 Un arrêt précoce de la maîtrise de la végétation concurrente, favorise les espèces sciaphiles et permet le maintien des espèces forestières.	OUI	Non testé	Non testé	/
H7.3.0 Les processus avancés en H7.1 et H7.2 s'exercent de façon différenciée suivant la productivité de la station.	Non testé	Non testé	Non testé	/

Le Tableau 12 montre que les **résultats** sont **divergents pour la flore et l'avifaune**. Ainsi l'installation d'un sous-étage n'entraîne pas une évolution de la richesse spécifique totale ni du couvert total de la flore du sous-bois (0-8 m) alors que pour l'avifaune, si la richesse spécifique n'est pas changée, la densité est augmentée. La densité toutes espèces confondues passe de 2 à 6 couples/ha lorsque le couvert arbustif entre 1 et 4 m croît de 5 à 30% ; au-delà il ne semble plus y avoir d'effet supplémentaire du recouvrement arbustif.

⁴² De façon spectaculaire pour la richesse totale et des espèces des cultures.

⁴³ *Senecio paludosus* (protégé dans les régions limitrophes de Lorraine et Picardie) pour les peupleraies jeunes et *Euphorbia palustris* (Liste rouge de Champagne-Ardenne) pour les peupleraies âgées (analyses non présentées ici en raison du trop faible nombre de peupleraies âgées sur sols frais).

⁴⁴ Les peupleraies ont un antécédent peupleraie.

L'augmentation de la densité avec le couvert arbustif ne semble pas s'accompagner d'une augmentation de la richesse spécifique, conformément à ce qui a été trouvé par Godreau (1998). **La strate arbustive augmenterait la qualité de l'habitat en fournissant le gîte et le couvert**, sans pour autant constituer une nouvelle niche susceptible d'attirer de nouvelles espèces.

Tableau 13 : Influence du sous-étage sur la biodiversité des peupleraies âgées et comparaison à celle des forêts récentes et anciennes

	Sous-étage en peupleraie / Ancienneté de la forêt	Peupleraie âgée classique	Peupleraie. âgée à sous-étage.	Forêt récente	Forêt ancienne	Anova	KW
	n	13	21	21	10		
Flore	VI d'humidité	6,47	6,32	6,27	6,21	NS	NS
	VI d'eutrophisation	6,75	6,42	6,18	6,30	#	★★★
	S totale	23,6	24,8	21,1	24,5	NS	NS
	S cultures	5,2 (c)	3,7 (b)	2,1 (a)	2,7 (ab)	★★★	★★★
	S prairiales	2,2	1,7	1,2	0,8	NS	NS
	S forestières	5,5 (a)	7,7 (a)	6,1 (a)	8,8 (a)	★	★
	S forêts anciennes	2,2	4,1	3,8	5,9	#	★★
	S mégaphorbiaies	12,9 (c)	10,9 (bc)	6,5 (a)	8,2 (ab)	★★★	★★★

Avec : ★★★ : Hautement significatif lorsque $p \leq 0,001$; ★★ : Très significatif lorsque $p \leq 0,01$; ★ : Significatif lorsque $p \leq 0,05$; Tend : Tendance lorsque $p \leq 0,10$; NS : Non significatif lorsque $p > 0,10$; # : Anova impossible (hétérogénéité des variances).

Le sous-étage ne modifie pas la composition des communautés aviennes alors que le Tableau 13 montre, pour la flore, une modification importante de la composition. Ainsi, les **peupleraies classiques sans sous-étage** sont marquées par la **plus forte richesse d'espèces des cultures et de mégaphorbiaies**, la moindre richesse d'espèces forestières au sens large et les signes d'une plus forte eutrophisation du milieu.

Les peupleraies à sous-étage présentent :

- une forte similitude avec les peupleraies classiques pour la richesse des espèces de mégaphorbiaie,
- un caractère intermédiaire entre la peupleraie classique et les forêts pour la VI d'eutrophisation et la richesse des espèces des cultures,
- une forte similitude avec les forêts récentes, voire une plus forte richesse, pour les espèces forestières et de forêts anciennes.

Contrairement à nos prévisions, les espèces prairiales ne sont pas favorisées dans les peupleraies sans sous-étage, y compris en comparaison de la forêt ancienne. Nous n'avons pas pu tester la sous-hypothèse H7.3.0 qui prend en compte la variation stationnelle, mais le rapprochement avec les résultats présentés en § 4.4, nous incite à penser que la similitude avec la forêt sera d'autant plus prononcée que les sols sont plus secs, notamment vis-à-vis des espèces de forêts anciennes, tendance déjà mise en avant par Hermy et *al.* (1999).

Par ailleurs, les relevés dendrométriques ont révélé un nombre d'espèces d'arbres et d'arbustes similaire entre les peupleraies à sous-étage et les forêts, ce qui renforce la ressemblance, des peupleraies à sous-étage avec les forêts récentes, déjà constatée pour la flore du sous-bois⁴⁵.

Pour la flore, l'installation du sous-étage provoque donc une modification rapide des conditions écologiques qui se traduit à la fois par une rémanence des espèces des milieux ouverts et une installation rapide des espèces forestières, sans pour autant atteindre les conditions d'une forêt ancienne (*cf.* Chevalier et *al.*, à paraître 2009). Cette inflexion qualitative pour la flore est **accompagnée d'une augmentation quantitative de la capacité d'accueil pour l'avifaune nicheuse. Cela ouvre les voies vers des itinéraires populicoles respectant mieux certaines composantes de la biodiversité forestière**, notamment pour les sols les moins humides.

4.6 - Influence de l'environnement paysager de la peupleraie

Ce questionnement concerne **les 3 groupes biologiques**⁴⁶ et les groupes d'hypothèses **H8 et H9**. Le **Tableau 14** rend compte du **test de chaque sous-hypothèse**.

⁴⁵ Concerné les ligneux d'un D 1,30 m > 2,5 cm. Richesse dendrologique : 1,1 pour peupleraie âgée classique, 3,4 pour peupleraie âgée à sous-étage, 3,2 pour forêt récente, 3,9 pour forêt ancienne, p KW < 0,0001.

⁴⁶ Prévu pour le volet avifaune dès le projet initial, en remplacement des antécédents historiques pour le volet carabiques, non prévu mais traité de façon prospective pour la flore.

**Tableau 14 : Synthèse du test des groupes d'hypothèses H8 et H9
relatifs à l'environnement paysager de la peupleraie**

Hypothèse	Flore	Carabiq.	Avifaune	Observations
Groupe H8 - Réponse de la biodiversité à la composition du paysage autour de la peupleraie				
H8.1.0 La richesse des différents groupes d'espèces et la composition des communautés des peupleraies varient selon la composition du paysage environnant la peupleraie.	NON	Très partiel	<i>Non testé</i>	/
H8.2.1 L'abondance et/ou la richesse des espèces de milieu ouvert sont plus fortes dans les peupleraies entourées de parcelles agricoles que dans celles entourées d'autres peupleraies. Ce patron est amplifié pour les espèces de milieu ouvert peu dispersives.	NON	Très partiel	<i>Non testé</i>	/
H8.2.2 L'abondance et la richesse des espèces forestières sont plus fortes dans les peupleraies en paysage populicole que dans les peupleraies à paysage agricole.	NON	NON	<i>Non testé</i>	/
Groupe H9 - Réponse de la biodiversité à la composition du paysage autour de la peupleraie, suivant l'âge actuel de la peupleraie				
H9.1.1 Les jeunes peupleraies ont une composition d'autant plus proche de celle des surfaces enherbées que le paysage environnant est dominé par l'agriculture.	NON	NON	<i>Non testé</i>	
H9.1.2 Les peupleraies âgées ont une composition d'autant plus proche de celle des forêts que le paysage alentour est dominé par la peupleraie.	NON	NON	<i>Non testé</i>	
H9.2.1 La différence d'abondance et/ou de richesse des espèces de milieu ouvert ou héliophiles entre peupleraies jeunes et adultes est d'autant plus forte que le paysage environnant est à dominante agricole.	NON	Très partiel	<i>Non testé</i>	
H9.2.2 La différence d'abondance et/ou de richesse des espèces forestières ou sciaphiles entre peupleraies jeunes et adultes est d'autant plus forte que le paysage environnant est à dominante agricole	NON	NON	<i>Non testé</i>	
H9.3.0 Les peupleraies entourées de parcelles agricoles abritent davantage d'espèces précoces que les peupleraies entourées d'autres peupleraies.	<i>Non testé</i>	<i>Non testé</i>	<i>Non testé</i>	

L'approche utilisée pour l'**avifaune ne rentre pas dans ce cadre** puisqu'il était difficile de distinguer l'effet de l'usage local de celui des usages environnants dans un contexte paysager aussi morcelé : dans la majorité des cas, les territoires des espèces chevauchent plusieurs taches d'habitat, qui peuvent être autant d'usages différents. La communauté d'oiseaux a donc été caractérisée à l'échelle d'une fraction du paysage – que nous nommerons **buffer** - (seuls les individus détectés dans un rayon de 100 m autour du point sont pris en compte dans les analyses) et mise en relation avec des caractéristiques de ce **buffer** (ou de **buffers** de plus grand rayon, jusqu'à 500 m). Les modèles basés sur un **buffer de 100 m rendent mieux compte des variations des communautés** à 100 m que ceux basés sur des **buffers** de 250 ou 500 m. Néanmoins, certaines espèces semblent apprécier leur paysage à plus grande distance. Le morcellement parcellaire ne semble pas jouer un rôle prépondérant dans un contexte de forte connectivité entre taches forestières et populicoles. Par contre, la quantité de chemins autour du point joue un rôle favorable pour les espèces spécialistes (Archaux et Martin, 2009).

Le Tableau des résultats⁴⁷, obtenus pour la flore et les carabiques, avec le dispositif carabiques qui compare, pour les peupleraies classiques, d'une part en peupleraie jeune, d'autre part en peupleraie âgée, les trois contextes paysagers (agricole, varié, populicole), n'est pas présenté ici en raison de l'absence de différences significatives. Une petite tendance se dessine toutefois pour les carabiques avec une richesse totale⁴⁸ et en espèces généralistes⁴⁹ légèrement plus élevée pour les peupleraies en contexte varié, mais uniquement pour les peupleraies âgées.

Cette **absence d'effet de la dominante paysagère** pourrait s'expliquer par l'inadéquation de la caractérisation factorielle de la composition du paysage. En effet, après quantification fine du paysage autour des placettes, il s'est avéré qu'à l'échelle de 500 m, le plan d'échantillonnage, au lieu d'être stratifié de manière très contrastée sur le facteur de dominance paysagère (comme initialement prévu lors de la prospection), balaie, de manière relativement équilibrée entre peupleraies jeunes et âgées⁵⁰, un gradient

⁴⁷ Similaire au Tableau 7 en § 4.2.

⁴⁸ Richesse totale en espèces carabiques pour les peupleraies âgées : 14,6 en contexte agricole, 20,0 en contexte varié et 15,4 en contexte populicole (p compris entre 0,05 et 0,10).

⁴⁹ Richesse en espèces carabiques généralistes pour les peupleraies âgées : 7,8 en contexte agricole, 11,3 en contexte varié et 8,2 en contexte populicole (p compris entre 0,05 et 0,10).

⁵⁰ Pas de différence significative sur la proportion de milieux agricoles, populicoles ou forestiers entre peupleraies jeunes et âgées (test non paramétrique de Wilcoxon-Mann-Whitney).

continu de proportion de milieux agricoles (0 à 65%), lui-même inversement corrélé au gradient de proportion de milieux populicoles (5 à 95%) dans le même rayon de 500 m ($P < 0,0001$, $r = -0,78$). Par ailleurs, la proportion forestière du paysage balaie elle aussi un gradient de faible amplitude (0 à 28%) et indépendant du gradient de proportion agricole du paysage.

Par conséquent, nous avons utilisé une approche d'analyse de covariance sur les indices de réponse considérés (y), en conservant comme variables explicatives uniquement les variables de composition paysagère pertinentes pour la question et suffisamment indépendantes entre elles ($|r| < 0,3$) :

" $y \sim \text{stade.peupleraie} + \text{prop.agri} + \text{prop.forêt} + \text{stade.peupleraie:prop.agri} + \text{stade.peupleraie:prop.forêt}$ "⁵¹

Ainsi, les variations de proportion agricole du paysage représentent aussi, de manière opposée, les variations de proportion populicole du paysage.

Cette approche n'a pourtant pas permis non plus de déceler d'effets à l'échelle paysagère pour la flore, mise à part une légère tendance croissante de la richesse en espèces de forêts anciennes avec la proportion de surface forestière dans le paysage (cf. Tableau 15 ne retenant que les groupes pour lesquels un effet paysager était mis en évidence).

Tableau 15 : Lien entre la composition du paysage et les indices de biodiversité floristiques et carabiques pour les peupleraies classiques (40 placettes du dispositif carabiques)

	Echelle	locale		paysage		paysage		locale x paysage		locale x paysage		
		Effets	stade peupleraie		proportion milieux agricoles (pAG)		proportion forêt (pF)		interaction adulte:pAG		interaction adulte:pF	
			magnitude et significativité	différence (PA-PJ)	lme	Pente PJ	lme	pente PJ	lme	différence pente (PA-PJ)	lme	différence pente (PA-PJ)
flore	S forêts anciennes	0,1	NS	1,6	NS	8,7	Tend	2,0	NS	-10,8	Tend	
	S milieux ouverts	-5,5	★	4,9	NS	-22,6	★	-6,1	NS	24,7	★	
carabiques	S généralistes milieux ouverts	-2,4	★	4,3	★	-14,9	★★	-6,2	★	17,3	★★	
	S spécialistes forest.	0,9	NS	-1,4	NS	5,2	★	1,4	NS	-4,2	NS	
	S peu dispersives	0,5	NS	-0,2	NS	6,4	Tend	1,5	NS	-6,3	NS	
	S dispersives	-7,0	★	7,0	NS	-22,6	NS	-7,3	NS	37,1	★	
	S milieux ouverts dispersives	-5,4	★★★	5,0	NS	-22,7	★★	-6,0	NS	25,6	★	
	S généralistes milieux ouverts dispersives	-2,8	★★	4,1	★	-14,3	★★	-4,9	★	18,2	★★	
	S forestières peu dispersives	0,0	NS	-0,1	NS	4,5	Tend	1,4	NS	-2,0	NS	

Avec : ★★★ : Hautement significatif lorsque $p \leq 0,001$; ★★ : Très significatif lorsque $p \leq 0,01$; ★ : Significatif lorsque $p \leq 0,05$; Tend : Tendance lorsque $p \leq 0,10$; NS : Non significatif lorsque $p > 0,10$.

Pour les carabiques, la composition du paysage a un effet pour certains groupes écologiques, le plus souvent en interaction avec l'âge de la peupleraie. Mais, contrairement à nos attentes, c'est la proportion de surface forestière qui joue le plus souvent, alors que l'effet de la proportion de surface agricole (ou de surface populicole, par corrélation inverse) ne ressort que pour les espèces généralistes de milieux ouverts : leur richesse augmente avec la proportion de milieux agricoles en peupleraies jeunes, tandis qu'elle tend à diminuer, ou varie très peu, en peupleraie âgée. Pour aucun des autres groupes écologiques considérés, la richesse locale en espèces carabiques ne semble dépendre de la proportion de surface agricole (ou populicole) à l'échelle de 500 m. En revanche, malgré la faible amplitude de ce gradient, la proportion de surface forestière a un effet (1) positif sur la richesse en espèces spécialistes forestières⁵², (2) négatif sur la richesse en espèces de milieux ouverts (et généralistes des milieux ouverts)⁵³ en peupleraies jeunes⁵⁴. Ce dernier patron, mimant un possible effet "barrière" des milieux forestiers, est relativement étonnant compte-tenu de la faible surface forestière généralement observée (< 28%) et mérite donc d'être confronté à d'éventuels effets confondants pour vérification.

⁵¹ Modèle linéaire à effets mixtes, logiciel R. version 2.8.0, package nlme, cf. § 3.3.2.

⁵² Tendance similaire pour les espèces peu dispersives ainsi que pour les espèces forestières peu dispersives.

⁵³ Et parmi celles-ci, plus particulièrement pour les espèces dispersives.

⁵⁴ En peupleraies âgées, l'effet de la proportion de surface forestière est très faible ou légèrement positif pour ces mêmes groupes.

Les effets positifs des éléments boisés à l'échelle du paysage ont déjà été mis en évidence sur la composition en espèces de carabiques par Burel (1989) et Aviron *et al.* (2005) dans le bocage breton, tandis qu'en contexte forestier, Bouget (2004) a mis en évidence des effets de la densité forestière, négatifs pour les espèces à reproduction printanière et positifs pour les espèces communes ou à reproduction automnale. Dans cette dernière étude, les effets de la densité de milieux ouverts sur les espèces phytophages, de milieux ouverts ou macroptères dépendent de l'échelle spatiale : positifs à 1000 m et négatifs à 200 m. Par conséquent, de manière plus générale, les effets à l'échelle du paysage méritent d'être complétés et approfondis :

- en regroupant différemment les types d'habitats entre eux : par exemple, la distinction entre habitats ouverts et fermés est probablement plus pertinente pour les carabiques et la flore que la typologie simplement basée sur le type d'usage du sol (milieux agricoles, peupleraies et forêts),
- en confrontant les effets de la composition du paysage (proportion du type d'habitat donné) aux effets de la configuration du paysage (distance à l'habitat le plus proche, degré de fragmentation des habitats, connectivité entre patchs d'habitats de même qualité, etc.) (*cf.* Turner, 2005 ; Barbaro *et al.*, 2007),
- en déterminant quelle est l'échelle spatiale la plus pertinente pour expliquer l'organisation des communautés inventoriées, parmi toutes les échelles caractérisées dans un rayon \leq à 500 m (*cf.* Weibull et Ostman, 2003 ; Dauber *et al.*, 2005 ; Barbaro *et al.*, 2005 ; *cf.* § 3.3.2),
- en travaillant sur les profils de réponse des espèces aux variables paysagères,
- en adaptant les modèles linéaires à effets mixtes aux données de comptage avec de fréquents zéros, et en vérifiant que les patrons observés ne peuvent être attribués à d'éventuels effets confondants au niveau local (humidité, histoire, autres variables paysagères).

5 - RÉPERCUSSION DES RÉSULTATS POUR LA GESTION

Les résultats précédents ont été discutés principalement vis-à-vis du fonctionnement des écosystèmes forestiers. Les lignes qui suivent ont pour objectif d'énumérer et d'argumenter les préconisations de gestion qui en découlent.

5.1 - Préserver les prairies subnaturelles

La difficulté à échantillonner les prairies subnaturelles (*cf.* § 2.1) révèle l'extrême rareté de cet usage. Son déclin est déjà amorcé en 1900 (Laurent, 1920) et s'est poursuivi au point où Didier et Royer (1988), prédisent « une disparition quasi totale des prairies de fauche inondables à brève échéance ». Un effort de conservation a été réalisé depuis peu, entre autre avec la mise en œuvre de la Directive Habitats. Ainsi, sur la zone d'étude, deux sites d'Intérêt communautaire⁵⁵ occupent une superficie de près de 1 600 ha mais l'habitat « 6440 des prairies alluviales inondables du *Cnidion dubii* » n'y représente que 133 ha et celui « 6510 des prairies maigres de fauche de basse altitude (*Alopecurus pratensis*, *Sanguisorba officinalis*) » seulement 74 ha (Natura 2000, consultation 2009).

Il semblerait que la peupleraie ait en partie pris la place des prairies de fauche, mais la substitution est déjà ancienne (Laurent, 1920) et la peupleraie fait partie des usages locaux depuis très longtemps puisque figurant sur la carte d'État-major de 1830. **Nous devons préconiser la conservation des prairies subnaturelles des grandes vallées de Champagne et proscrire leur transformation.**

5.2 - Préserver les forêts et prioritairement les forêts anciennes

Nous avons mis en évidence qu'une partie des communautés végétales forestières des vallées de Champagne sont préférentielles des forêts anciennes (Chevalier *et al.*, à paraître 2009). Ceci est bien connu pour la flore vasculaire en France (Dupouey *et al.*, 2002), en Europe (Hermy *et al.*, 1999), y compris en contexte alluvial (Hérault et Honnay, 2005). Les connaissances concernant les autres groupes biologiques sont peu avancées mais il est fort probable que la conservation des forêts anciennes soit la mesure la plus efficace pour préserver les espèces animales et végétales forestières peu dispersives, qui sont potentiellement les plus menacées par les changements d'usage du territoire et environnementaux.

Sur notre zone d'étude qui avoisine 100 000 ha, la forêt (hors peupleraies) occupe seulement 7,4 % et nous estimons que seulement 25 % est constitué de **forêts anciennes** (en place depuis au moins 170 ans), ce qui représente **moins de 2500 ha**. Contrairement à la tendance nationale, la superficie forestière de la zone d'étude a diminué pendant les dernières décennies (-27 % entre les années 1970 et 1990).

⁵⁵ FR2100296 - Prairies, marais et bois alluviaux de la Bassée et FR2100297 - Prairies et bois alluviaux de la basse vallée alluviale de l'Aube.

Par ailleurs, celle-ci est extrêmement morcelée. **Conserver les forêts anciennes**, en se référant à la carte d'État-major de 1830, **est une priorité pour la biodiversité forestière de la zone d'étude**. Nous pouvons même préconiser **(1)** de conserver aussi les forêts récentes connectées aux forêts anciennes et **(2)** de créer de nouvelles connexions en créant des éléments boisés nouveaux.

5.3 - Laisser se développer un sous-étage en peupleraie

Nous avons vu que les peupleraies à sous-étage étaient avantageuses pour la biodiversité forestière : **(1)** la densité de couples d'oiseaux nicheurs est augmentée, conformément à ce qui est généralement admis pour l'avifaune (Frochot, 1971), **(2)** la flore forestière, y compris celle des forêts anciennes, est enrichie, ce qui la met à un niveau équivalent à celui des forêts récentes (moins de 170 ans) et **(3)** nous n'avons pas étudié l'effet du sous-étage pour les carabiques mais, compte tenu de la similitude entre la peupleraie classique âgée sans sous-étage et la forêt récente (plus forte que pour la flore, cf. Tableau 7), l'effet du sous-étage ne peut que renforcer cette similitude.

La peupleraie à sous-étage est en mesure de remplir le rôle de reconstitution de la connexion entre forêts anciennes, au même titre que la forêt récente.

La question de la densité, de la hauteur et de la stratification du sous-étage en peupleraie, n'a pas été étudiée avec finesse pour l'instant. Le jeu de données floristique devrait permettre des analyses complémentaires orientées en ce sens (cf. projet d'article en Annexe 3).

5.4 - Favoriser les espèces de mégaphorbiaies sous peupleraie

Un des résultats les plus nets concernant la flore est la forte capacité de la peupleraie à héberger des espèces de mégaphorbiaies, en quantité bien plus importante que dans les prairies et les forêts. Ce phénomène a déjà été signalé par Bournérias et al. (2001), qui distingue un groupement végétal « 58 - Végétation des aulnaies-peupleraies à hautes herbes » très marqué par les espèces de mégaphorbiaies, alors que les Cahiers d'Habitats (Bensettiti et al., 2002) considèrent que les peupleraies nuisent au maintien des mégaphorbiaies riveraines.

Parmi les 4 types d'habitats élémentaires de mégaphorbiaie qui intéressent notre zone d'étude⁵⁶, le type « 6430-1 - Mégaphorbiaies mésotrophes collinéennes » est celui qui mérite le plus d'attention car le plus exposé à l'eutrophisation des milieux, les 3 autres étant qualifiés d'eutrophes ou de nitrophiles. Une analyse détaillée portant sur la richesse et l'abondance des espèces des 4 types⁵⁷ ne remet pas en cause les **résultats** obtenus avec les 4 types agrégés, présentés dans ce rapport, **qui s'appliquent aussi aux mégaphorbiaies mésotrophes.**

La richesse absolue en espèces de mégaphorbiaies est plus élevée dans les peupleraies jeunes classiques, elle diminue légèrement dans les peupleraies âgées classiques, elles mêmes légèrement supérieures aux peupleraies âgées à sous-étage. En revanche, la richesse relative (typicité) et l'abondance (couvert) sont plus élevées pour les peupleraies classiques âgées.

Du fait de la succession emboîtée, le renouvellement de la peupleraie ne porte pas atteinte à la richesse des espèces de mégaphorbiaie, mais au contraire permet le retour des espèces les plus exigeantes en lumière. En revanche le couvert maximum des espèces de mégaphorbiaie est observé, pour notre échantillon, dans les peupleraies classiques de 12-16 ans.

En conséquence, nous pouvons avancer que **la populiculture classique (sans sous-étage), telle que pratiquée sur la zone d'étude⁵⁸ conserve assez bien les espèces de mégaphorbiaies. La mégaphorbiaie sous peupleraie pourrait être encore optimisée** en réduisant l'ombrage porté par les peupliers **(1) en ne prolongeant pas la durée du cycle populicole et (2) en retardant l'installation du sous-étage.** Enfin, la mégaphorbiaie mérite d'être favorisée tout particulièrement dans les peupleraies les plus humides en raison de la présence d'espèces patrimoniales telles que *Senecio paludosus* et *Euphorbia palustris* (cf. § 4.4). La locustelle tachetée, espèce d'oiseau spécialiste, apprécie particulièrement ce type de milieu en contexte alluvial.

⁵⁶ 6430-1 Mégaphorbiaies mésotrophes collinéennes ; 6430-4 Mégaphorbiaies eutrophes des eaux douces ; 6430-6 Végétations des lisières forestières nitrophiles, hygroclines, héliophiles à semi-héliophiles ; 6430-7 Végétations des lisières forestières nitrophiles, hygroclines, semi-sciaphiles à sciaphiles.

⁵⁷ Non présentée dans ce rapport.

⁵⁸ Sans labour profond, avec entretiens mécaniques ou chimiques partiels.

5.5 - Essayer de diminuer l'eutrophisation

Nous avons constaté en § 4.2 et § 4.5, que la **valeur indicatrice d'eutrophisation était la plus élevée dans les peupleraies classiques sans sous-étage**. Le rôle de rétention d'azote et de phosphore des écosystèmes alluviaux a déjà été étudié (Piégay et *al.*, 2003). Le fort rôle de rétention en nutriments, principalement en azote et phosphate, des écosystèmes forestiers alluviaux est bien connu comme étant supérieur à celui des surfaces enherbées. Les auteurs s'accordent sur le fait que les forêts mélangées à forte structuration verticale sont les plus efficaces en ce sens mais mentionnent que la peupleraie peut aussi jouer un rôle important.

Si le rôle d'épuration des eaux par la forêt ou la peupleraie constitue un réel bénéfice écologique, une atteinte est alors portée à la biodiversité locale. Ainsi, le développement d'une flore eutrophile peut se faire aux dépens d'espèces moins compétitives. Si la richesse spécifique totale ne semble pas altérée, il s'ensuit pourtant une banalisation de la biodiversité floristique.

L'eutrophisation des écosystèmes alluviaux est une problématique de gestion du bassin-versant et dépend surtout du type d'agriculture pratiqué en amont. A l'échelle locale, nous ne pouvons préconiser que des mesures simples afin de ne pas rajouter des nutriments dans le système, voire d'en exporter :

- **Proscrire toute fertilisation ou amendement dans les peupleraies**, geste tout à fait inutile dans le contexte stationnel de la zone d'étude et dans la plupart des vallées alluviales de plaine.
- **Exploiter les peupliers en arbres entiers**⁵⁹. En effet, d'après les travaux de Klimo (1985) in Schnitzler-Lenoble et Carbiener (2007), menés dans les forêts à bois dur de la Morava en Europe centrale, les plus fortes concentrations en azote (et de phosphore en moindre mesure) se situent dans les parties jeunes de la végétation. Pour des peuplements à base de peupliers, Berthelot et *al.* (2000) et Piroche et Breton (2001) estiment que la cime et les branches, abandonnés sur coupe, qui représentent 25 % de la biomasse aérienne totale (hors feuilles), concentrent environ 40 à 45 % de l'azote et du phosphore. Cependant, une exploitation d'arbres entiers se fera au détriment des espèces saproxyliques liées aux petits bois morts, à moins d'agencer des mesures de compensation. Il serait souhaitable de mener une étude spécifique pour évaluer l'incidence globale d'une telle mesure.

5.6 - Essayer de diminuer la banalisation

Des signes de banalisation sont également constatés pour les carabiques : les peupleraies présentent une plus forte richesse en espèces généralistes. Les perturbations occasionnées lors du renouvellement de la peupleraie tendent probablement à rendre cette banalisation plus visible dans les jeunes peupleraies, notamment par la forte richesse d'espèces des cultures pour la flore et d'espèces de milieux ouverts dispersives pour les carabiques (*cf.* Tableaux 6 et 7).

Afin de réduire la banalisation des communautés floristiques, il serait souhaitable, lors du renouvellement et de l'entretien de la jeune peupleraie, de limiter les pratiques qui mettent à nu le terrain, telles que le travail du sol et le désherbage chimique, qui favorisent les espèces communes des cultures.

6 - LES ITINÉRAIRES TECHNIQUES

Dans un premier temps, les itinéraires techniques pratiqués dans les vallées de Champagne ont été inventoriés. Après avoir identifié les opérations pouvant être modifiées, en vue d'améliorer la biodiversité, les préconisations ont été élaborées et leur incidence évaluée.

6.1 - Les itinéraires populicoles

La populiculture, telle que préconisée par les organismes forestiers régionaux est assez **extensive** (CRPF Champagne-Ardenne, 2007), ce qui, à la vue des résultats précédents, limite les atteintes à la biodiversité :

- **Préparation du terrain :**
 - nettoyage des rémanents : passage d'un broyeur ou ramassage des rémanents puis brûlage. Le brûlage n'est pas fréquent car coûteux et contraignant (restriction de période...), limité aux sols peu porteurs ou aux quantités importantes de rémanents,
 - souches de peuplier : maintien le plus souvent avec conservation de l'espacement entre lignes,

⁵⁹ Notamment en valorisation biomasse des petits bois classiquement non utilisés et actuellement abandonnés sur la coupe avant d'être broyés ou brûlés.

- travail du sol peu fréquent (labour et sous-solage sur terre agricole si semelle de labour),
- drainage : non envisagé car inapproprié,
- fertilisation peu utile dans les stations aptes à la populiculture.

• **Suivi de la plantation pour favoriser la croissance et obtenir des arbres de qualité** (cf. Tableau 16):

- entretiens pour supprimer la végétation concurrente dans les jeunes plantations et, si nécessaire, suppression des arbustes dans les plantations âgées, pour faciliter l'accès aux arbres avant élagage,
- tailles de formation et élagages pour obtenir un tronc droit et sans nœuds sur 6-8 m,
- en cas d'attaques d'insectes défoliateurs au printemps (chrysomèle du peuplier...), dommageables dans les jeunes plantations, traitement localisé avec un insecticide homologué.

Tableau 16 : Itinéraire d'entretien, d'élagage et de taille de formation en peupleraie de Champagne
(cas d'une peupleraie coupée à 18 ans ; itinéraires à adapter aux stations, aux cultivars et aux moyens techniques, avec possibilité de décaler les opérations d'une année selon la vigueur de la végétation)

Année	Période	Itinéraire entretien type a (désherbage chimique dominant)	Itinéraire entretien type b (travail du sol dominant)	taille + élagage
n (plantation)	15 mai - 15 juin	entretien chimique localisé à n ou n+1 selon végétation	entretien mécanique au cover-crop entre les lignes selon la végétation concurrente	
	sept.			égourmandage
n+1	15 mai - 15 juin	entretien chimique localisé à n ou n+1 selon végétation	entretien mécanique au cover-crop entre les lignes + entretien chimique localisé	
	fin d'hiver (avant le 1 ^{er} mars)			taille (ou à n+2)
n+2	15 mai - 15 juin	entretien chimique localisé	entretien mécanique au cover-crop entre les lignes	
	fin d'hiver (avant le 1 ^{er} mars)			taille (ou à n+1)
n+3	15 mai - 15 juin	entretien mécanique au cover-crop entre les lignes	entretien chimique localisé	
	après le 1 ^{er} août et avant la fin d'hiver			élagage à 3m + taille
n+4	15 mai - 15 juin	(entretien chimique localisé)	entretien mécanique au cover-crop entre les lignes	
n+5 ou n+6	15 mai - 15 juin	(entretien mécanique au cover-crop entre les lignes)	(entretien mécanique au cover-crop entre les lignes)	
	après le 1 ^{er} août et avant la fin d'hiver (1 ^{er} mars)			élagage à 4,5m
n+7 ou n+8	après le 1 ^{er} août	entretien mécanique au gyrobroyeur 1 ligne /2 ou ouverture de layon	entretien mécanique au gyrobroyeur 1 ligne / 2 ou ouverture de layon	élagage à 6m

- **Exploitation** : âge variable selon les stations (17-20 ans avec les cultivars euraméricains), mais en évitant de retarder la date de la coupe. Exploitation réalisée pratiquement toute l'année, limitée par les inondations, avec le souci de préserver les sols et les zones humides ; si nécessaire avant l'exploitation, coupe du taillis (trituration ou bois de chauffage) ou broyage du sous-étage arbustif.

Cet itinéraire est donc légèrement plus extensif que celui présenté comme classique (sans sous-étage) dans l'étude scientifique.

Le coût d'une plantation est variable selon l'itinéraire suivi et les moyens utilisés. L'incidence économique des préconisations a été évaluée à partir du coût moyen par opération et pour l'itinéraire de référence, celui-ci est estimé à 4 133 €/ha, composé de 2 082 €/ha de plantation, 990 €/ha d'entretien et 1 061 €/ha de détail-élagage (cf. § 3.3.4).

Par rapport à cet itinéraire conseillé, les pratiques sont très variées, depuis l'itinéraire extensif sans entretien, jusqu'à celui très intensif plus rarement pratiqué (entretiens en plein ou prolongé au-delà de 8-10 ans), souvent en relation avec les attentes et les moyens du propriétaire.

6.2 - Les itinéraires en forêt

Trois principaux types de traitements peuvent être appliqués dans les peuplements feuillus, dont la description est détaillée dans différents documents techniques (CRPF Bourgogne, 1996, AFI, 1998, CRPF Champagne-Ardenne, 2006, Mozziconacci et Vanstaevel, 2007) :

- **traitement en taillis avec coupe rase à intervalle régulier** : traitement le plus fréquent en forêt privée,
- **conduite en futaie régulière avec éclaircies successives**, selon la méthode d'éclaircies en plein ou d'éclaircies par détournement,
- **conduite en futaie irrégulière** pratiquée dans les anciens taillis sous futaie, plus ou moins riches en réserves, mais également envisageable en futaie régulière au moment de la régénération.

La gestion des peuplements feuillus résiduels est cependant très variable, souvent peu intensive, en relation avec la prépondérance des petites propriétés privées. Des coupes de taillis ou de grumes sont réalisées sporadiquement, notamment en fonction de la conjoncture, tandis que les opérations de renouvellement par régénération naturelle ou plantation sont très rares. Pour améliorer la sylviculture actuelle, des enrichissements pourraient être proposés, apportant à terme une amélioration de la qualité des peuplements et une plus-value économique, avec un investissement limité.

6.3 - Les préconisations en faveur de la biodiversité

L'étude scientifique menée en Champagne-Ardenne a mis en évidence certains éléments de gestion permettant d'améliorer la biodiversité (cf. § 5). Ces données ont été complétées par une analyse bibliographique permettant de couvrir plus largement la biodiversité taxonomique pour compléter les mesures de gestion :

- mégaphorbiaie : rôle de la lumière et des entretiens (Bruel et *al.*, 2002, Rolland, 2003),
- essences forestières : potentiel biologique et cortèges associés (Gosselin et Laroussinie, 2004, Dufour, 2003 in Branquart et Liégeois, 2005),
- avifaune : caractéristiques de la nidification (Lefeuvre, 1999, Gosselin et *al.*, 2006),
- bois mort et arbres à microhabitats : rôle pour le maintien de nombreux taxons, en particulier saproxyliques (Dufour, 2003 in Branquart et Liégeois, 2005, Gosselin et *al.*, 2006, Bouget, 2007),
- milieux ouverts : importance pour de nombreux groupes taxonomiques (végétation, oiseaux, mammifères, insectes, reptiles, araignées...), mais dont l'extension ne doit pas se faire au détriment des milieux forestiers (Gosselin et *al.*, 2006, Gosselin, 2007),
- habitats aquatiques : rôle de l'écotone et modalités de gestion (DIREN, 2004, Gosselin et *al.*, 2006, CSPNB, 2008, Tachon, 2008).

A partir de ces résultats, des consultations d'experts et des discussions avec les acteurs régionaux, plusieurs préconisations favorisant la biodiversité ont été élaborées pour les boisements alluviaux (cf. fiches en Annexe 2b). Elles sont réparties en trois groupes :

- **recommandations générales** applicables aussi bien en forêt qu'en peupleraie, issues des données bibliographiques,
- **préconisations supplémentaires destinées aux peupleraies**, principalement déduites des résultats de l'étude (cf. § 5),
- **préconisations destinées aux forêts**, issues des données bibliographiques : ces boisements peu fréquents doivent être conservés, ce qui suppose de les valoriser économiquement pour éviter que les propriétaires soient tentés de les transformer. L'amélioration de la biodiversité passe essentiellement par la mise en œuvre des recommandations générales ; il convient également de conserver les essences locales et de développer la stratification de la végétation.

Pour les peupleraies, l'incidence économique des préconisations a été évaluée en tenant compte des coûts de travaux pratiqués dans la région (cf. § 3.3.4) et des répercussions sur la récolte, estimées en particulier à partir de résultats d'essais (Berthelot et *al.*, 2001). L'itinéraire populicole n°1 de référence (cf. 3.3.4) a été comparé avec trois itinéraires alternatifs favorisant la biodiversité :

- **Itinéraire populicole n°2 destiné à favoriser la mégaphorbiaie** (cf. fiche 2 en Annexe 2b) :
 - prolongement des entretiens mécaniques avec 3 passages supplémentaires du gyrobroyeur 1 ligne sur deux, effectués après le 15 août en années n+9, n+11 et n+13,
 - récolte et recettes inchangées,
 - le **surcoût est de 540 €/ha (+13 %)** qui se traduit par une **diminution du bénéfice actualisé de 326 à 352 €/ha** selon la fertilité et le taux d'actualisation, correspondant à une annuité d'environ **30 €/ha/an**. Cette baisse de revenu est un peu plus faible sur les meilleures stations, ainsi qu'avec le taux d'actualisation plus élevé de la méthode 1 (cf. Tableau 17).

- Cet itinéraire aura une incidence économique assez sensible sur le revenu, variable selon les entretiens supplémentaires qui seront effectivement réalisés.

Tableau 17 : Comparaison économique entre l'itinéraire de référence et l'itinéraire "mégaphorbiaie" selon la fertilité et le taux d'actualisation

		IT n°1 de référence	IT n°2 "mégaphorbiaie"	Coût = IT n°2 - n°1
Dépenses (€/ha) hors frais de gestion				
		4 133	4 673	540
Frais de gestion (fertilité 1/2)				
		595 / 665	595 / 665	0
Récolte (m3/ha)				
		269	269	0
Recettes (€/ha)				
		11 298	11 298	0
Bénéfice net (€/ha) (fertilité 1/2)				
		6 570 / 6 500	6 030 / 5 960	-540
Méthode 1 : taux d'actualisation obtenu avec un BASI égal à la valeur du fonds (4,71% pour la fertilité 1 ; 4,10% pour fertilité 2)				
Fertilité 1 Ae = 17 ans	BA (€/ha)	1 146	820	-326
	ACE (€/ha/an)	95	68	-27
Fertilité 2 Ae = 19 ans	BA (€/ha)	1 132	785	-347
	ACE (€/ha/an)	84	58	-26
Méthode 2 : taux d'actualisation = 4 %				
Fertilité 1 Ae = 17 ans	BA (€/ha)	1 708	1 357	-351
	ACE (€/ha/an)	135	107	-28
Fertilité 2 Ae = 19 ans	BA (€/ha)	1 218	866	-352
	ACE (€/ha/an)	89	63	-26

• **Itinéraire popicole n°3 destiné à réduire la ban alisation des communautés, favoriser les oiseaux et limiter l'utilisation de produits phytocides :**

- entretiens classiques pendant 2 ans, en mai - juin : mécanique entre les lignes la 1^{ère} année, chimique localisé la 2^{ème} année. Entretien extensif ensuite, avec 3 passages du gyrobroyeur 1 ligne sur 2, réalisés après le 1^{er} août, en année n+3, n+5 et n+7,
- même volume récolté, mais **coupe retardée de 3 ans** pour la fertilité 1, **4 ans** pour la fertilité 2,
- alors que le **coût d'entretien est réduit de 150 €/ha**, le retard de récolte entraîne une **diminution du bénéfice actualisé en séquence infinie de 1 220 à 1 520 €/ha**, correspondant à une annuité d'environ **60 €/ha/an**. Cette baisse de revenu est un peu plus faible sur les meilleures stations, ainsi qu'avec le taux d'actualisation plus élevé de la méthode 1 (cf. Tableau 18).

- Cette préconisation aura une incidence économique élevée sur le revenu ; la perte sera plus ou moins grande selon la baisse de croissance effectivement constatée, principalement en fonction de la concurrence pour l'alimentation en eau.

Tableau 18 : Comparaison économique entre l'itinéraire de référence et l'itinéraire avec "entretiens réduits" selon la fertilité et le taux d'actualisation

		IT n°1 de référence	IT n°3 "entretiens réduits"	Coût = Différence IT n°3 - n°1
Dépenses (€/ha) hors frais de gestion				
		4 133	3 983	-150
Frais de gestion (fertilité 1/2)				
		595 / 665	700 / 805	105 / 140
Récolte (m3/ha)				
		269	269	0
Recettes (€/ha)				
		11 298	11 298	0
Bénéfice net (€/ha) (fertilité 1/2)				
		6 570 / 6 500	6 615 / 6 510	-45 / -10
Méthode 1 : taux d'actualisation obtenu avec un BASI égal à la valeur du fonds (4,71% pour la fertilité 1 ; 4,10% pour fertilité 2)				
Fertilité 1 Ae = 17 → 20ans	BASI (€/ha)	2 200	975	-1 225
	ACE (€/ha/an)	104	46	-58
Fertilité 2 Ae = 19 → 23ans	BASI (€/ha)	2 200	718	-1 482
	ACE (€/ha/an)	90	29	-61
Méthode 2 : taux d'actualisation = 4 %				
Fertilité 1 Ae = 17 → 20ans	BASI (€/ha)	3 665	2 192	-1 473
	ACE (€/ha/an)	147	88	-59
Fertilité 2 Ae = 19 → 23ans	BASI (€/ha)	2 405	883	-1 522
	ACE (€/ha/an)	96	35	-61

• **Diminution de la surface des peupleraies, dans le cas de la création d'îlots de conservation ou de l'extension des milieux ouverts :**

- cas d'une zone de 0,5 ha créée après récolte de peupliers (perte de valeur des bois nulle), non suivie de plantation, sur les moins bonnes stations (fertilité 2),
- comparaison de l'itinéraire peuplier de référence et d'un itinéraire réduit aux dépenses de gestion (15 €/ha/an), répétés à l'infini (le BASI de l'itinéraire classique correspond à la valeur du fonds tandis que le BASI de la zone est lié aux frais supportés sur le terrain),
- la création de cette zone entraîne une **baisse de revenu net de 3 400 €** correspondant à une **perte de bénéfice actualisé en séquence infinie de 1 300 à 1 400 €** soit environ **55 €/an** (cf. Tableau 19). La perte serait supérieure avec la méthode à taux fixé à 4%, ainsi qu'en choisissant de meilleures stations.

➤ Cette préconisation a donc une incidence économique très élevée au niveau de la zone non replantée, puisqu'on abandonne toute idée de revenu. A l'échelle d'une propriété, ces pertes seront fonction de la surface totale, les îlots de conservation ne dépassant pas 2 %. Compte-tenu de la structure foncière extrêmement morcelée, cette mesure ne pourra que rarement être mise en œuvre et nécessitera d'être raisonnée à l'échelle de la vallée.

➤ Dans le cas d'un milieu ouvert, il faut rajouter les frais d'entretien.

Tableau 19 : Comparaison économique entre l'itinéraire de référence et l'itinéraire sans replantation selon la fertilité et le taux d'actualisation

		IT n°1 de référence	IT "sans replantation"	Coût = différence ITB - IT	
		sur 1 ha	sur 1 ha	sur 1 ha	sur 0,5 ha
Dépenses (€/ha) hors frais de gestion		4 133	0	-4 133	-2 066
Frais de gestion (fertilité 1/2)		595 / 665	255 / 285	-340 / -380	-170 / -190
Récolte (m3/ha)		269	0	-269	-134
Recettes (€/ha)		11 298	0	-11 298	-5 649
Bénéfice net (€/ha) (fertilité 1/2)		6 570 / 6 500	-255 / - 285	-6 825/-6 785	-3 413/-3 393
Méthode 1 : taux d'actualisation obtenu avec un BASI égal à la valeur du fonds (4,71% pour la fertilité 1 ; 4,10% pour fertilité 2)					
Fertilité 2 Ae = 19 ans	BASI (€/ha)	2 200	-395	-2 595	- 1 297
	ACE (€/ha/an)	90	-16	-106	-53
Fertilité 1 Ae = 17 ans	BASI (€/ha)	2 200	-347	-2 547	-1 274
	ACE (€/ha/an)	104	-16	-120	-60
Méthode 2 : taux d'actualisation = 4 %					
Fertilité 2 Ae = 19 ans	BASI (€/ha)	2 405	-405	-2 810	-1 405
	ACE (€/ha/an)	96	-16	-112	-56
Fertilité 1 Ae = 17 ans	BASI (€/ha)	3 665	-405	-4 070	-2 035
	ACE (€/ha/an)	147	-16	-163	-81

Ces calculs économiques donnent des ordres de grandeur du coût de l'assemblage de plusieurs préconisations. Les combinaisons sont multiples et nous avons fait le choix d'en présenter trois assez tranchées, qui entraînent des surcoûts parfois élevés par rapport à l'itinéraire de référence. Par ailleurs, ces calculs mettent en évidence la difficulté de choisir un taux d'actualisation en peupleraie, les taux calculés à partir du fonds étant assez élevés, traduction d'une potentialité forestière forte.

Cette analyse économique se place sous l'angle de la production forestière et n'intègre pas les **bénéfices au niveau de la biodiversité**, actuellement difficiles à quantifier. Ils ont cependant été évalués à dire d'expert en classant chaque préconisation dans 5 classes (bénéfice nul, faible, moyen, assez élevé, élevé, cf. Annexe 2b), mais sans faire de synthèse au niveau des itinéraires alternatifs. Cette évaluation combine l'efficacité de la préconisation vis-à-vis de l'objectif recherché (par ex. quelle baisse d'eutrophisation résulte d'une suppression de fertilisation) et la part occupée dans la biodiversité globale par les groupements favorisés par la mesure, non seulement au niveau quantitatif mais aussi fonctionnel. Cette évaluation ne se place pas sur les autres niveaux environnementaux (pollution, paysage...).

6.4 - Les itinéraires de transformation de peupleraie en forêt

(cf. en Annexe 2b la Fiche 3 : " Transformation de peupleraie en forêt")

Ces itinéraires sont destinés aux propriétaires qui souhaitent transformer leur peupleraie en forêt, notamment sur les stations les moins aptes à produire du peuplier, lorsque la rentabilité devient insuffisante. Ils sont aussi envisageables sur des sols mieux adaptés à la populiculture, lorsqu'on veut reconnecter des forêts anciennes (contribution à la trame verte). Les coûts sont très variables selon l'itinéraire retenu, le type de stations et la végétation qui se développe après la coupe.

6.5 - Valorisations des résultats

Les préconisations améliorant la biodiversité des boisements en vallées de Champagne seront valorisées au travers de deux documents :

- **pochette sur le peuplier en Champagne-Ardenne, éditée par le CRPF** : ce document regroupe des fiches thématiques, principalement destinés aux propriétaires forestiers : plantation, ennemis, environnement... Les trois fiches réalisées dans le cadre de cette étude (cf. Annexe 2b) compléteront cette pochette, après validation à venir par le comité de lecture, étape qui n'a pu être réalisée dans le temps imparti au projet.
- **guide des stations forestières des vallées de Champagne-Ardenne et des environs** : cet outil typologique déclinera la potentialité des stations vis-à-vis du peuplier et des essences spontanées. Ce document est en cours de rédaction, il comprendra un chapitre "biodiversité" incluant les fiches citées précédemment.

En plus des articles techniques à venir, ces documents permettront le transfert des résultats du présent projet aux propriétaires et gestionnaires forestiers.

7 - CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Etudier la biodiversité floristique, carabique et avifaunistique des prairies, des forêts et des peupleraies, en relation avec les facteurs historiques, paysagers, stationnels et d'intensité de gestion, sur une zone d'étude de près de 100 000 ha constituée presque essentiellement de propriétés privées morcelées, était un programme ambitieux.

La déclinaison du questionnement en 9 groupes d'hypothèses, constitués de 26 hypothèses, elles-mêmes divisées en 47 sous-hypothèses, situe l'ampleur de la tâche à accomplir. Face aux réalités du terrain, certaines tâches ont été contrariées. **C'est le volet carabiques qui a le plus souffert des difficultés survenues au cours du projet.** La difficulté à avoir accès à l'historique des pratiques, la rareté de certaines modalités envisagées et la difficulté pour obtenir l'autorisation des propriétaires, impérative en raison de manipulations répétées, nous ont conduit à abandonner l'étude des antécédents, à la remplacer par une étude paysagère, et à retarder la campagne de caractérisation d'un an pour le dispositif carabiques (63 points). Le déroulement du volet flore a commencé normalement mais une campagne de relevés complémentaire a dû être organisée en 2007 pour combler en partie les lacunes de réalisation du plan d'échantillonnage en 2006. Les 414 relevés réalisés ont permis de traiter presque toutes les hypothèses, celles concernant les variations stationnelles n'étant que très partiellement abordées. Le volet avifaune s'est déroulé sur une zone bien moins étendue (6000 ha) avec 124 points d'écoute, sans problème d'échantillonnage ; les problèmes rencontrés tiennent essentiellement à la difficulté d'étudier des communautés dans un contexte paysager très mité, qui mêle effets de lisière et d'usage.

L'originalité du projet est qu'il intègre un volet technico-économique dont la finalité est la production d'une plaquette de vulgarisation des préconisations en faveur de la biodiversité des vallées de Champagne. La chronologie des tâches a rendu ce travail compliqué car **il a fallu réfléchir** à des itinéraires techniques et constituer un comité de pilotage **avant même d'avoir obtenu les premiers résultats des études taxonomiques.** La définition des itinéraires alternatifs et l'acquisition des résultats scientifiques ont ensuite été menées de front, les préconisations ayant pu évoluer jusqu'au dernier moment, avec la sortie des derniers résultats. Cependant, cet exercice a permis de multiples rencontres entre chercheurs, vulgarisateurs et gestionnaires.

Nous avons alors réalisé à quel point l'objectif du chercheur était différent de celui du gestionnaire : (1) compréhension des mécanismes assez globaux pour le chercheur, (2) besoin de renseignements techniques précis et argumentés pour le gestionnaire. Les discussions animées et constructives ont ainsi débouché sur des recommandations et préconisations techniques à l'usage des gestionnaires (cf. Annexe 2b).

Les résultats d'ordre scientifique sont de portée variable suivant les hypothèses et les groupes taxonomiques. Nous nous accordons, pour les 3 groupes, à situer la peupleraie entre les milieux ouverts (prairies ou jachères) et la forêt (ancienne ou récente). **De très fortes différences existent entre les peupleraies jeunes et âgées**, signe d'une évolution très rapide répondant à une **succession emboîtée pour la flore et décalée pour les carabiques et l'avifaune**. Par ailleurs, **les peupleraies à sous-étage favorisent les communautés forestières** et rapprochent encore plus les peupleraies des forêts. Enfin, **les peupleraies favorisent la flore typique des mégaphorbiaies** qui constituent un type d'habitats Natura 2000.

Au final, si la peupleraie ne remplit qu'un rôle très limité de refuge pour la flore prairiale, **la populiculture classique majoritairement pratiquée sur la zone d'étude ne porte pas une atteinte irrémédiable à la biodiversité floristique forestière**. Toutefois, les résultats sont plus mitigés pour les oiseaux et les carabiques. Pour ces derniers notamment, nous avons constaté une faible présence des espèces forestières, qui n'ont souvent pas pu être prises en compte dans les analyses. La faible proportion de forêt dans le paysage, propre à la zone d'étude et sans doute à l'origine de ce phénomène, ne nous autorise pas à généraliser nos observations. Une populiculture avec sous-étage serait cependant en mesure de jouer un rôle important, dans le cadre de la mise en œuvre de la trame verte, pour reconnecter les forêts anciennes en fort déclin sur la zone d'étude.

En comparaison de l'influence du sous-étage et de l'âge de la peupleraie, l'influence de **l'antécédent culturel** est bien moindre **sur la flore**, et **celle du paysage environnant nulle pour la flore et réduite pour les carabiques**.

Ces résultats, conjugués aux éléments bibliographiques et de discussions, compilés dans le volet technico-économique, nous **ont conduit à formuler des recommandations et des préconisations pour préserver la biodiversité des forêts et des peupleraies des vallées de Champagne**. Nous avons même calculé le surcoût lié à deux itinéraires populicoles alternatifs, en comparaison de l'itinéraire de référence habituellement pratiqué. Nous avons alors constaté que **la prise en compte d'un ensemble de préconisations favorisant la biodiversité entraîne une perte de revenu conséquente pour le populteur**.

Les résultats de l'étude demeurent toutefois critiquables et perfectibles. Le fait qu'ils sont issus d'une **approche synchronique, donc corrélative, invite à la prudence vis-à-vis de biais d'échantillonnages susceptibles d'entraîner des effets confondants**. Si un effort particulier de contrôle des facteurs a été rendu possible pour la flore⁶⁰, cela n'a pas été le cas pour le dispositif carabiques où l'historique et la station sont moins bien contrôlés. Les analyses de données se poursuivent pour mieux contrôler les biais éventuels et affiner la part relative de chacun des facteurs de variation.

A cet effet de nouvelles variables et échelles paysagères vont être testées pour le dispositif carabiques. La valorisation de ce projet se poursuivra par des articles scientifiques et techniques (cf. Annexe 3).

Lors de la définition des itinéraires populicoles, s'est rapidement posée la question de la **technique et de la fréquence des entretiens** pour contrôler la végétation concurrente des peupliers, question à laquelle **cette étude n'a pas apporté de réponse**. Laquerbe (2000) observe au sein d'une peupleraie, en vallée de la Garonne, que la richesse floristique est maximale lorsque la fréquence et l'intensité des travaux du sol (disking) sont intermédiaires. Il nous paraît important de **poursuivre ces recherches** en intégrant d'autres méthodes de contrôle de la végétation, dans des contextes stationnels variés.

Un prolongement du projet est à l'étude pour valoriser les 414 relevés floristiques dans le cadre d'un approche mixte paysage/histoire, plus fouillée que la seule approche des antécédents de la peupleraie prévue dans le projet, en écho à plusieurs études récentes menées dans des forêts alluviales européennes (Graae et al., 2004 ; Hérault et Honnay, 2005). Il est également envisagé de poursuivre les analyses sur la gestion de la peupleraie en incluant notamment l'effet du clone, de la densité de plantation et des techniques de contrôle de la végétation concurrente.

Nous espérons que la plaquette de vulgarisation des préconisations techniques pourra être éditée rapidement. Elle prendra place dans un dossier régulièrement mis à jour par le CRPF Champagne-Ardenne, ce qui permettra d'éventuelles rééditions intégrant de nouvelles connaissances.

⁶⁰ En raison du nombre élevé de relevés autorisant une meilleure puissance statistique.

Enfin, il serait utile d'installer un réseau de placettes de démonstration (voire d'expérimentation) **et de suivi d'itinéraires populicoles** alternatifs, en comparaison de la populiculture classique menée dans les vallées de Champagne, ainsi que d'une populiculture bien plus intensive. Ce réseau permettrait de valider les résultats suivant une approche diachronique. Il serait aussi intéressant de **retourner faire des relevés floristiques sur un certain nombre de jeunes peupleraies** pour vérifier **(1)** si l'on retrouve effectivement la succession emboîtée suggérée par notre approche synchronique, **(2)** si le caractère neutrophile et hygrophile de la flore évolue au cours de la succession.

BIBLIOGRAPHIE

- AFI (1998) - *Du taillis-sous-futaie à la futaie irrégulière*. AFI, Besançon, 17 p.
- AFOCEL, CEMAGREF, CFPPA DE CROGNY, CRPF CHAMPAGNE-ARDENNE, CNPPF, IDF et IFN (2005) - *Biodiversité floristique, entomologique et ornithologique des vallées alluviales de Champagne-Ardenne. Rôle de l'antécédent historique et de l'intensité des entretiens des peupleraies, en interaction avec la station*. Réponse à l'Appel à propositions de recherche ECOFOR BGF. 34 p.
- ALLEGRO, G. et SCIAKY, R. (2003) - Assessing the potential role of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) as bioindicators in poplar stands, with a newly proposed ecological index (FAI). *Forest Ecology and Management*, **175** (1-3) : 275-284.
- ANDERSON, D.R., BURNHAM, K.P. et THOMPSON, W.L. (2000) - Null hypothesis testing: Problems, prevalence, and an alternative. *Journal of Wildlife Management*, **64** (4) : 912-923.
- ARCHAUX, F., GOSELIN, F., BERGÈS, L. et CHEVALIER, R. (2006) - Effects of sampling time, quadrat richness and observer on exhaustiveness of plant censuses. *Journal of Vegetation Science*, **17** : 299-306.
- ARCHAUX, F. et MARTIN, H. (2009) - Hybrid poplar plantations in a floodplain have balanced impacts on farmland and woodland birds. *Forest Ecology and Management*, **257** : 1474-1479.
- AVIRON, S., BUREL, F., BAUDRY, J. et SCHERMANN, N. (2005) - Carabid assemblages in agricultural landscapes: impacts of habitat features, landscape context at different spatial scales and farming intensity. *Agriculture Ecosystems & Environment*, **108** (3) : 205-217.
- BARBARO, L., PONTCHARRAUD, L., VETILLARD, F., GUYON, D. et JACTEL, H. (2005) - Comparative responses of bird, carabid, and spider assemblages to stand and landscape diversity in maritime pine plantation forests. *Ecoscience*, **12** (1) : 110-121.
- BARBARO, L., ROSSI, J.-P., VETILLARD, F., NEZAN, J. et JACTEL, H. (2007) - The spatial distribution of birds and carabid beetles in pine plantation forests: the role of landscape composition and structure. *Journal of Biogeography*, **34** (4) : 652-664.
- BARDAT, J., BIORET, F., BOTINEAU, M., BOULLET, V., DELPECH, R., GÉHU, J.M., HAURY, J., LACOSTE, A., RAMEAU, J.C., ROYER, J.M., ROUX, G. et TOUFFET, J. (2004) - *Prodrome des végétations de France*. M.N.H.N., Paris. 171 p.
- BARTHÉLEMY, R. (1965) - *Carte géologique de la Fance. n° 261. Romilly-sur-Seine*. Ministère de l'Industrie, Service de la carte géologique de la France, Paris.
- BEGON, M., HARPER, J.L. et TOWNSEND, C.R. (1996) - *Ecology: individuals, populations and communities*. Blackwell Scientific Editions, Oxford. 1068 p.
- BEHR, R., BIZOT, A., DIDIER, B., MISSET, C., MORGAN, F., LANFANT, P., ROYER, J.M., THEVENIN, S. et WORMS, C. (2007) - *Liste rouge de Champagne-Ardenne. Flore vasculaire*. Validé le 14 avril 2007. Avis n°2007-8 du CSRPN. 17 p.
- BENSETTITI, F., GAUDILLAT, V. et HAURY, J. (2002) - *Cahiers d'habitats Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 3. Habitats humides*. La Documentation Française, Paris. 457 p.
- BERTHELOT, A., CHEVALIER, R., DAUFFY-RICHARD, E., ARCHAUX, F., GAUDIN, S., GONIN, P. et DUPREZ, M. (2007) - *Biodiversité floristique, entomologique et ornithologique des vallées alluviales de Champagne-Ardenne : Rapport intermédiaire*. Rapport d'étape pour convention de projet de recherche (GIP-ecofor BGF, MEDAD). FCBA, Cemagref, CRPF-CFPPA Champagne-Ardenne, CNPPF, IFN, Charrey-sur-Saône. 29 p.
- BERTHELOT, A., DELEUZE, C., AUGUSTIN, S., DENUX, O., DECOCQ, G., AGUEZ, R., WATTEZ-FRANGER, A. et GODIN, J. (2004) - *Exploration de la variabilité des peupleraies en Picardie ; Troisième tranche : étude de la diversité*. Rapport final. AFOCEL, Convention DRAF Picardie/AFOCEL, Charrey-sur-Saône. 81 p.
- BERTHELOT, A., LANDEAU, S. et ROQUIER, S. (2001) - *Type d'entretien et diversité floristique sous peupleraie*. Revue Forestière Française, **LIII**, n° spécial 2001 : 334-336.
- BERTHELOT, A., PETIT, G., AUGUSTIN, S., DENUX, O., DECOCQ, G., SAGUEZ, R. et GODIN, J. (2001) - *Exploration de la variabilité des peupleraies en Picardie ; Première tranche : état des lieux*. Rapport final. AFOCEL, Convention DRAF Picardie/AFOCEL, Charrey-sur-Saône. 78 p.
- BERTHELOT, A., RANGER, J. et GELHAYE, D. (2000) - Nutrient uptake and immobilization in a short-rotation coppice stand of hybrid poplars in north-west France. *Forest Ecology and Management*, **128** : 167-179.

- BERTRAND, Ph., GONIN, P., NICOLAS, M.-L., PLATEL, N (2001) - *Préoccupations environnementales et gestion des boisements riverains de la Garonne*. CRPF Midi-Pyrénées, CETEF garonnais, Toulouse, 261 p.
- BOUGET, C. (2004) - *Chablis et diversité des coléoptères en forêt feuillue de plaine : impact à court terme de la trouée, de sa surface et de son contexte paysager*. Thèse de Doctorat. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. 452 p.
- BOUGET, C. (2007) - Enjeux du bois mort pour la conservation de la biodiversité et la gestion des forêts. *Rendez-vous Techniques*, **16** : 55-59.
- BOURNERIAS, M., ARNAL, G. et BOCK, C. (2001) - *Guide des Groupements végétaux de la région parisienne*. Belin, Paris. 637 p.
- BRANQUART, E. et LIÉGEOIS, S. (éd.) (2005) - *Normes de gestion pour favoriser la biodiversité dans les bois soumis au régime forestier. Complément à la circulaire n°2619 du 22 septembre 1997 relative aux aménagements dans les bois soumis au régime forestier*. Ministère de la région wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement, Jambes. 86p.
- BRETON, V. et PIROCHE, J.-N. (2001) - *Étude des cycles d'éléments minéraux en peupleraies à large espacement et en pépinière ; Deuxième tranche*. Rapport final de la convention DERF /Cemagref n° 01.40.26/98, Nogent-sur-Vernisson, 39 p.
- BRUEL, H. et MIRLYAZ, W. (2002) - *Etude cartographique et dynamique des habitats (prairies, mégaphorbiaies, boisements) sur des mosaïques parcellaires en zones populicoles de la région Pays de Loire*. IDF, Paris. 47 p.
- BRUNET, J. et VON OHEIMB, G. (1998) - Migration of vascular plants to secondary woodlands in southern Sweden. *Journal of Ecology*, **86** (3) : 429-438.
- BUREL, F. (1989) - Landscape structure effects on carabid beetles spatial patterns in Western France. *Landscape Ecology*, **2** : 215-226.
- CAUDRON, M., MANIVIT, J. et VILLALARD, P. (1973) - *Carte géologique de la France. n° 189. Châlons-sur-Marne*. Ministère de l'Industrie, Service de la carte géologique de la France, Paris.
- CEMAGREF, AFOCEL, CFPPA DE CROGNY, CRPF CHAMPAGNE-ARDENNE, CNPPF, IDF et IFN (2006a) - *Biodiversité des Vallées de Champagne. Protocole pour les observations du dispositif floristique*. Protocole de terrain. 9 p.
- CEMAGREF, AFOCEL, CFPPA DE CROGNY, CRPF CHAMPAGNE-ARDENNE, CNPPF, IDF et IFN (2006b) - *Biodiversité des vallées de Champagne. Fiche de caractérisation du paysage, pédologique, dendrométrique et floristique*. Fiche de mesure et notation. 4 p.
- CHEVALIER, H. (2008) - *Évaluer le coût de pratiques sylvicoles en faveur de la biodiversité forestière*. Mémoire de fin d'étude FIF. AgroParisTech-Engref, Formation des ingénieurs Forestiers, Nancy. 121 p.
- CHEVALIER, R. (2003) - *Sylviculture du Chêne et biodiversité végétale spécifique. Étude d'une forêt en conversion vers la futaie régulière : la forêt domaniale de Montargis (45)*. Mémoire pour l'obtention du diplôme de l'École Pratique des Hautes Études. Cemagref, Nogent-sur-Vernisson. 111 p.
- CHEVALIER, R., BERTHELOT, A., CARNNOT-MILARD, L., DUPREZ, M., GALLAND, M., GAUDIN, S. et PERRIER, C. (à paraître 2009) - La flore des forêts anciennes. Validité et utilité pour la conservation des forêts alluviales de Champagne. *Symbioses*.
- CLARKE, K.R. (1993) - Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, **18** : 117-143.
- CONNELL, J.H. (1978) - Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, **199** : 1302-1310.
- CRPF BOURGOGNE (1996) - *La sylviculture des feuillus*. CRPF, Dijon. 59 p.
- CRPF CHAMPAGNE-ARDENNE (2005) - *Code des bonnes pratiques sylvicoles*. CRPF, Châlons-en-Champagne. pochette de 9 fiches.
- CRPF CHAMPAGNE-ARDENNE (2006) - *Schéma régional de gestion sylvicole de Champagne-Ardenne*. CRPF, Châlons-en-Champagne. 160 p.
- CRPF CHAMPAGNE-ARDENNE (2007) - *Le peuplier en Champagne-Ardenne*. CRPF, Châlons-en-Champagne. pochette de 19 fiches.
- CSPNB (2008) - *L'arbre, la rivière et l'homme*. Conseil Scientifique du Patrimoine Naturel et de la Biodiversité MEDAD, D4E. 64 p.

- COULON J. (2003) - Les Bembidiina (Coléoptères Carabidae Trechinae) de la faune de France. Clés d'identification commentées (Première partie). *Bulletin Mensuel de la Société linnéenne de Lyon*, **72** (8) : 256-272.
- COULON J. (2004a) - Les Bembidiina (Coléoptères Carabidae Trechinae) de la faune de France. Clés d'identification commentées (Deuxième partie). *Bulletin Mensuel de la Société Linnéenne de Lyon*, **73** (4) : 163-180.
- COULON J. (2004b) - Les Bembidiina (Coléoptères Carabidae Trechinae) de la faune de France. Clés d'identification commentées (Troisième partie). *Bulletin Mensuel de la Société Linnéenne de Lyon*, **73** (8) : 305-325.
- COULON J., MARCHAL P., PUIPIER R., RICHOUX P., ALLEMAND R., GENEST L.C. et CLARY J. (2000) - *Coléoptères de Rhône-Alpes : Carabiques et Cicindèles*. Muséum d'Histoire Naturelle de Lyon et Société Linnéenne de Lyon, Lyon. 192 p.
- DAUBER, J., PURTAUF, T., ALLSPACH, A., FRISCH, J., VOIGTLANDER, K. et WOLTERS, V. (2005) - Local vs. landscape controls on diversity: a test using surface-dwelling soil macroinvertebrates of differing mobility. *Global Ecology and Biogeography*, **14** (3) : 213-221.
- DELPECH, R., DUMÉ, G. et GALMICHE, P. (1985) - *Typologie des stations forestières. Vocabulaire*. IDF, Paris. 243 p.
- DENUX, O., AUGUSTIN, S. et BERTHELOT, A. (2007) - Biodiversité des Carabidae dans les peupleraies picardes (Coleoptera). *L'Entomologiste*, **63** (5) : 243-256.
- DESENDER K., DEKONINCK W., MAES D., CREVECOEUR M.L., DUFRENE M., JACOBS M., LAMBRECHTS K., POLLET M., STASSEN E. et THYS N. (2008) - *Een nieuwe verspreidingsatlas van de loopkevers en zandloopkevers (Carabidae) in België*. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. Brussel. 184 p.
- DEVICTOR, V., JULLIARD, R. et JIGUET, F. (2008) - Distribution of specialist and generalist species along spatial gradients of habitat disturbance and fragmentation. *Oikos*, **117** : 50-517.
- DIDIER, B. et ROYER, J.M. (1988) - Etude phytosociologique des prairies de fauche inondables des vallées de l'Aube, de la Seine et le la Marne (Champagne crayeuse). *Colloques phytosociologiques*, **XVI** : 195-209.
- DIDIER, B. et ROYER, J.M. (1994) - Etude de l'évolution de la flore forestière en liaison avec les traitements sylvicoles en Forêt d'Orient (Forêt domaniale du Temple, Aube). *Courrier Scientifique du Parc Naturel Régional de la Forêt d'Orient*, **18** : 11-46.
- DIREN CHAMPAGNE-ARDENNE (2004) - *Les Orientations Régionales de Gestion de la Faune sauvage et d'amélioration de la qualité de ses Habitats de Champagne-Ardenne*. DIREN, Châlons-en-Champagne. 151 p.
- DRAKE, J.A. (1990) - Communities as assembled structures: do rules govern pattern. *Trends in Ecology and Evolution*, **5** : 159-164.
- DU BUS DE WARNAFFE G. et LEBRUN P. (2004) - Effects of forest management on carabid beetles in Belgium: implications for biodiversity conservation. *Biological Conservation*, **118** (2) : 219-234.
- DUFRENE M. et LEGENDRE P. (1997) - Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, **67** : 345-366.
- DUPOUEY J.L., SCIAMA D., DAMBRINE E. et RAMEAU J.C., 2002. - La végétation des forêts anciennes. *Revue Forestière Française*, **54** (6) : 521-532.
- ECOFOR (2005) - *Appel à propositions de recherche. Biodiversité et gestion forestière. Enjeux écologiques et sociaux*. ECOFOR, Paris. 4 p.
- EGLER, F.E. (1954) - Vegetation Science Concepts I. Initial floristic composition, a factor in old-field vegetation development. *Vegetatio*, **4** : 412-417.
- ELLENBERG, H., WEBER, H.E., DÜLL, R., WIRTH, V., WERNER, W. et PAULIBEN, D. (1992) - *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Verlag Goltze, Göttingen. 248 p.
- FROCHOT, B. (1971) - *Ecologie des oiseaux forestiers de Bourgogne et du Jura*. Doctorat. Bourgogne. 115 p.
- GALLAND, M. (2007) - *Influence du précédent cultural sur la biodiversité floristique des forêts alluviales de Champagne*. Mémoire BTSA Gestion Forestière. Cemagref. 29 p.
- GILBERT, J.M. (1996) - Relier milieu et production des essences forestières : comparaison de deux approches. *Ingénieries EAT*, **8** : 31-39.
- GODREAU, V. (1998) - *Impact des changements d'occupation des sols et de la populiculture sur les peuplements aviens et floristiques en plaine alluviale. Exemple du val de Saône inondable*. Thèse Université de Bourgogne, Dijon. 61 p.

- GONIN, P. (1994) - *Effet du dégagement et influence du gibier sur le développement de la régénération dans les ripisylves de bords de Garonne. Compte-rendu d'essais au Ramier de Bigorre*. CETEF garonnais, Toulouse, 23 p.
- GONIN, P. (1998) - *Reconstitution de la forêt alluviale de la Garonne. Plan de gestion forestier du Ramier de Guiraudis*. DDE 82, Montauban, 104 p.
- GOSELIN, M. et LAROUSSINIE, O. (2004) - *Biodiversité et gestion forestière. Connaître pour préserver. Synthèse bibliographique*. Cemagref, Gip-Ecofor. 320 p.
- GOSELIN, M., VALADON, A., BERGES, L., DUMAS, Y., GOSELIN, F., BALTZINGER, C. et ARCHAUX, F. (2006) - *Prise en compte de la biodiversité dans la gestion forestière : état des connaissances et recommandations*. ONF, Cemagref, Nogent-sur-Vernisson. 161 p.
- GOSELIN, M. (2007) - La gestion des lisières entre forêt et milieux ouverts. *Rendez-Vous Techniques de l'ONF*, **16** : 43-47.
- GRAAE, B.J., OKLAND, R., PETERSEN, P.M., JENSEN, K. et FRITZBOGER, B. (2004) - Influence of historical, geographical and environmental variables on understorey composition and richness in Danish forests. *Journal of Vegetation Science*, **15** (4) : 465-474.
- HÉRAULT, B. et HONNAY, O. (2005) - The relative importance of local, regional and historical factors determining the distribution of plants in fragmented riverine forests: an emergent group approach. *Journal of Biogeography*, **32** (12) : 2069-2081.
- HERMY, M., HONNAY, O., FIRBANK, L., GRASHOF-BOKDAM, C. et LAWESSON, J.E. (1999) - An ecological comparison between ancient and other forest plant species of Europe, and the implications for forest conservation. *Biological Conservation*, **91** (1) : 9-22.
- HURKA K. (1996) - *Carabidae of the Czech and Slovak Republics*. Kabourek, Zlin. 565 p.
- INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL (1999) - *Département de l'Aube. Troisième inventaire forestier du département (1994)*. Nogent sur Vernisson, Inventaire Forestier National, 142 p. Disponible sur Internet : < http://www.ifn.fr/spip/IMG/pdf/IFN_10_3_AUBE.pdf >.
- INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL (2001). - *Département de la Marne. Troisième inventaire forestier du département (1997)*. Nogent sur Vernisson, Inventaire Forestier National, 166 p. Disponible sur Internet < http://www.ifn.fr/spip/IMG/pdf/IFN_51_3_MARNE.pdf >.
- JAUZEIN, P. (1995) - Flore des champs cultivés. INRA/SOPRA, Paris/Vélizy-Villacoublay. 898 p.
- JEANNEL R. (1941) - *Faune de France Coléoptères Carabiques. Première partie*. Office Central de Faunistique, 572 p.
- JEANNEL R. (1942) - *Faune de France Coléoptères Carabiques. Deuxième partie*. Office Central de Faunistique, 573-1173 p.
- JULLIARD, R., CLAVEL, J., DEVICTOR, V., JIGUET, F. et COUVET, D. (2006) - Spatial segregation of specialists and generalists in bird communities. *Ecology Letters*, **9** : 1237-1244.
- JULVE, P. (2007) - *Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France*. . Disponible sur Internet < <http://perso.wanadoo.fr/philippe.julve/catminat.htm> >.
- KESSLER, J. et CHAMBRAUD, A. (1990) - *Météo de la France. Tous les climats localité par localité*. J.C. Lattès. 391 p.
- LAQUERBE, M. (2000) - Richesse spécifique et phytomasse des sous-bois de peupleraies cultivées en bordure de Garonne (Sud-Ouest de la France). *Annals of Forest Science*, **57** : 767-776.
- LAURENT, J. (1920) - *Etudes sur la flore et la végétation de la Champagne crayeuse. Tome 1 : La Végétation de la Champagne crayeuse. Etude de géographie botanique*. Nemours. 355 p.
- LEFEUVRE, J.-C. (1999) - Données sur les dates de migration et de nidification des oiseaux d'eau et des oiseaux migrateurs. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, **38** : 99-106.
- LEGENDRE, P. et LEGENDRE, L. (1998) - *Numerical Ecology*. Elsevier, Amsterdam. 853 p.
- LÉVY, F. (1990) - *Les vallées de la Marne, de l'Aube, de la Seine ; le Perthois. Typologie des stations, liaisons station-production*. Rapport d'étude. Cemagref, Nogent sur Vernisson. 67 p.
- LEYER, I. (2005) - Predicting plant species' responses to river regulation: the role of water level fluctuations. *Journal of Applied Ecology*, **42** (2) : 239-250.

- MARIE, S. (2006) - *Etude de la biodiversité floristique des vallées de Champagne-Ardenne. Comparaison des peupleraies avec les prairies et les forêts subnaturelles*. Mémoire de Licence Professionnelle "Protection de l'Environnement". Institut de biologie et d'écologie appliquée, Angers. 39 p.
- MORIN, P. (1999) - *Community ecology*. Blackwell Science, Malden. 432 p.
- MOZZICONACCI, Y. et VANSTAEVEL, B. (2007) - *Le traitement irrégulier des chênaies de Bourgogne*. CRPF Bourgogne, Dijon. 61 p.
- MULLER, Y. (1985) - *L'avifaune forestière nicheuse des Vosges du Nord. Sa place dans le contexte médio-européen*. Thèse Université de Bourgogne, Dijon. 318 p.
- NATURA 2000 (consultation 03/02/2009) - Le portail du réseau Natura 2000. < <http://www.natura2000.fr/>>.
- PEYRON, J. (2005) - Evaluation économique de la conservation du bois mort. Pages 211-220 in AL, V.e. (éd.), *Bois mort et à cavités; une clé pour des forêts vivantes*. Tec et Doc, Londres, Paris, New-York.
- PIÉGAY, H., PAUTOU, G. et RUFFINONI, C. (2003) - *Les forêts riveraines des cours d'eau : écologie, fonctions, gestion*. Institut pour le Développement Forestier. 463 p.
- POMEROL, B. (1996) - *Carte géologique de la Fance. n° 262. Arcis-sur-Aube*. Bureau de recherches géologiques et minières, Orléans.
- POMEROL, B. et HATRIVAL, J.N. (1992) - *Carte géologique de la Fance. n° 298. Troyes*. Bureau de recherches géologiques et minières, Orléans.
- RAMEAU, J.C., MANSION, D., DUMÉ, G., TIMBAL, J., LECOINTE, A., DUPONT, R. et KELLER, R. (1989) - *Flore forestière française. Guide écologique illustré. Tome 1 : Plaines et collines*. Institut pour le Développement Forestier, Paris. 1785 p.
- RICHARD E., GOSSELIN F. et LHONORE J. (2004) - Short-term and mid-term response of ground beetle communities (Coleoptera, Carabidae) to disturbance by regeneration felling. In Honnay O., Bossuyt B., Verheyen K. et Hermy M. (Eds), *Forest Biodiversity: Lessons from history for conservation*, Oxon, UK, IUFRO Res. Ser. CAB International, p. 179-192.
- ROLLAND, B. (2003) - *Etude cartographique et dynamique des habitats (prairies, mégaphorbiaies, boisements) sur des mosaïques parcellaires en zones populicoles de la région Picardie*. IDF, Paris. 65 p.
- ROYER, J.M., FELZINES, J.C., MISSET, C. et THÉVENIN, S. (2006) - *Synopsis commenté des groupements végétaux de la Bourgogne et de la Champagne-Ardenne*. Société Botanique du Centre-ouest, Royan. 394 p.
- SCHNITZLER-LENOBLE, A. et CARBIENER, R. (2007) - *Forêts alluviales d'Europe. Ecologie. Biogéographie. Valeur intrinsèque*. Tec & Doc. Lavoisier, Paris. 387 p.
- TACHON, M.-P. (2008) - *Les espèces forestières vulnérables de Champagne-Ardenne. Conseils de gestion*. ACCF, Chalons en Champagne. 43 p.
- TILMAN, D. (1988) - *Plant strategies and the dynamics and structure of plant communities*. Princeton University Press, Princeton. 361 p.
- TURIN H., ALDERS K., DEN BOER P.J., VAN ESSEN S., HEIJERMAN T., LAANE W. ET PENTERMAN E., (1991) - Ecological characterization of carabid species (Coleoptera, Carabidae) in the Netherlands from thirty years of pitfall sampling. *Tijdschrift voor Entomologie*, **13** : 279-293.
- TURNER, M. (2005) - Landscape ecology: what is the state of the science? *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, **36** : 319-344.
- ULRICH, W., BUSZKO, J. et CZARNECKI, A. (2004) - The contribution of poplar plantations to regional diversity of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in agricultural landscapes. *Annales Zoologici Fennici*, **41** (3) : 501-512.
- VAN CALSTER, H., CHEVALIER, R., VAN WYNGENE, B., ARCHAU, F., VERHEYEN, K. et HERMY, M. (2008) - Long-term seed bank dynamics in a temperate forest under conversion from coppice-with-standards to high forest management. *Applied Vegetation Science*, **11** : 251-260.
- WEIBULL, A.-C. , OSTMAN, O. et GRANQVIST, A. (2003) - Species richness in agroecosystems: The effect of landscape, habitat and farm management. *Biodiversity and Conservation*, **12** (7) : 1335-1355.
- YODZIS, P. (1986) - Competition, mortality and community structure. Pages 480-491 in DIAMOND, J. et CASE, T.J. (éd.), *Community Ecology*. Harper & Row, New York.

RÉSUMÉ

Le projet étudie la biodiversité associée aux peupleraies cultivées, en comparaison avec celle des milieux ouverts (prairies subnaturelles et/ou jachères) et des forêts subnaturelles (récentes et/ou anciennes), pour trois groupes taxonomiques : la flore (414 relevés), les Coléoptères carabiques (63 placettes de piégeage) et l'avifaune (124 points d'écoute).

La zone d'étude est constituée par les grandes vallées de Champagne (Seine, Aube, Marne) des départements de l'Aube (10) et de la Marne (51). Elle couvre une superficie approchant 100 000 ha où la populiculture couvre 8,4 % du territoire et la forêt seulement 7,4 %.

En plus de la comparaison avec les milieux ouverts et les forêts, l'étude prend en compte divers facteurs de variation de la peupleraie : l'âge (pour les 3 groupes taxonomiques), la présence de sous-étage (flore et avifaune), l'antécédent cultural (flore), l'environnement paysager (carabiques et flore).

Les principaux résultats sont :

- la biodiversité des peupleraies présente des caractères intermédiaires entre celle des milieux ouverts et celle des forêts, mais la peupleraie abrite aussi préférentiellement certaines espèces généralistes (sauf pour l'avifaune) ou eutrophiles, tandis que d'autres espèces restent préférentielles ou exclusives des habitats de référence (prairies, jachères, forêts),
- les communautés évoluent très rapidement avec l'âge de la peupleraie, tendant vers un état forestier (succession emboîtée pour la flore, décalée pour les 2 autres groupes),
- les peupleraies à sous-étage favorisent les communautés forestières (flore) et augmentent la densité des oiseaux nicheurs,
- les peupleraies favorisent la flore typique des mégaphorbiaies (habitat Natura 2000),
- l'antécédent cultural de la peupleraie modifie faiblement les patrons de succession végétale,
- l'effet de la composition du paysage autour des peupleraies semble assez faible pour les carabiques et nul pour la flore, tandis que la plupart des oiseaux réagissent à l'échelle locale (100 m). Les communautés de carabiques répondent essentiellement à la proportion de surface forestière dans le paysage (à 500 m).

Au final, si la peupleraie ne remplit qu'un rôle très limité de refuge pour la flore prairiale, la populiculture classique majoritairement pratiquée sur la zone d'étude ne porte pas une atteinte irrémédiable à la biodiversité floristique forestière. Toutefois, les résultats sont plus mitigés pour les oiseaux et les carabiques. Une populiculture avec sous-étage serait en mesure de jouer un rôle important, dans le cadre de la mise en œuvre de la trame verte, pour reconnecter les forêts anciennes en fort déclin sur la zone d'étude.

Ces résultats, conjugués aux avis d'experts recueillis lors des réunions du comité de pilotage mis en place dans le cadre d'un volet technico-économique, ont conduit à initier trois groupes de recommandations techniques pour favoriser la biodiversité, qui seront vulgarisés sous forme d'une plaquette auprès des propriétaires :

- recommandations générales, destinées à l'ensemble des boisements alluviaux,
- recommandations spécifiques aux peupleraies,
- transformation de la peupleraie en forêt.

Mots clés : biodiversité, flore, avifaune, Carabidae, peupleraie, forêt, prairie, jachère, vallée, Champagne, Seine, Aube, Marne, usage du sol, historique, antécédent, paysage, sous-étage, humidité du sol, itinéraires techniques, gestion forestière, vulgarisation, bilan économique.

ABSTRACT

To assess the impact of hybrid poplar cultivation on biodiversity in floodplain ecosystems, we compared plant, carabid and avian communities in poplar plantations *versus* reference habitats such as hay meadows, seeded grasslands and subnatural alluvial forests. Poplar plantations also varied according to several studied variables: (i) current local factors: plantation age (factor studied for plants, carabids and birds), understorey presence (plants and birds); (ii) historical local factors: past land use (plants); (iii) current landscape composition (plants and carabids) and structure (birds).

The 100 000-ha study area extended over the three large valleys along the Seine, Aube and Marne rivers, in two departments of Champagne (Aube and Marne). Poplar plantations and forests respectively covered 8,4 % and 7,4 % of the surface area in these floodplains. On the one hand, plant species were surveyed on 200-m² quadrats in 414 plots, among which 63 plots were used for ground-beetle pitfall-trapping. On the other hand, 124 bird point counts were distributed upstream from the confluence of the Seine and Aube rivers.

The main results can be summarised as follows:

- Biodiversity in poplar plantations showed some similarity with both open habitats and forests. However, poplar plantations hosted more generalist (except for birds) and eutrophilous species. Furthermore, other species preferred the reference habitats.
- Communities in plantations showed rapid succession changes during the rotation, resembling progressively more to those found in forests ("initial floristics" for plant succession, "relay succession" for birds and carabids)
- Understorey in poplar plantations favoured forest floristic communities and increased nesting bird density.
- Typical flora of tall herb communities (Natura 2000 habitat) was favoured in poplar plantations.
- Past land use only slightly modified plant successional patterns.
- The effect of landscape composition around poplar plantations seems to be rather weak for carabids and null for flora, while birds seemed to react mostly at a local scale. Proportion of forest surface in the landscape is one of the main effects observed on carabids.

As a conclusion, poplar plantations seem to have more detrimental effects on meadow plant species than on forest plant species. Yet, the opposite conclusion could nearly be drawn from bird and carabid results. In any case, poplar cultivation practices that would not prevent understorey development would surely be beneficial to biodiversity. These poplar plantations with understorey could be used as corridors to connect ancient forests whose surface is still dramatically decreasing in the study area.

A task group focussed on assessing the supplementary costs induced by poplar cultivation practices in favour of biodiversity. They combined the scientific results of this study and from a bibliographic review with expert knowledge gathered during technical meetings. As a result, three main sets of advices including some information on the supplementary costs induced, are proposed to poplar plantation owners to take biodiversity into account when managing poplar plantations:

- General guidance for alluvial wooded areas,
- Specific guidance for poplar plantation management,
- Ways to transform poplar plantation into forests.

Keywords: biodiversity, flora, bird, Carabidae, poplar plantation, forest, grassland, set-asides, floodplain, Champagne, Seine, Aube, Marne, land use, history, landscape, understorey, soil humidity, practices, forest management, popularization, cost assessment.