

FRAPVAL : Forêts et Ripisylves Anciennes des Petites Vallées de la Puisaye

Rapport scientifique



Appel à projets « Protection de la ressource en eau et des milieux humides dans l'Yonne »

Convention Conseil Départemental de l'Yonne - Irstea n° 2016_01509
Relative aux actions menées dans le cadre de La protection des Espaces Naturels Sensibles

Richard CHEVALIER (INRAE, Nogent-sur-Vernisson-45)
Frédéric ARCHAU (INRAE, Nogent-sur-Vernisson-45)
Barthélémy DESSANGES (INRAE, Nogent-sur-Vernisson-45)
André EVETTE (INRAE, St-Martin-d'Hères-38)
Mathieu GIRON DIN (INRAE, Antony-92)
Aliénor JELIAZKOV (INRAE, Antony-92)
Hilaire MARTIN (INRAE, Nogent-sur-Vernisson-45)
Céline Le PICHON (INRAE, Antony-92)
Évelyne TALES (INRAE, Antony-92)
Thierry TOUZET (IGN, Nogent-sur-Vernisson-45)
Amandine ZAHM (INRAE, Antony-92)

SOMMAIRE

Remerciements	2
Introduction générale	3
<u>Action 1</u> : Validation du concept de forêt ancienne pour la flore des petites vallées de Puisaye	5
<u>Action 2</u> : Test du concept de ripisylve ancienne pour la flore des vallées de Puisaye	17
<u>Action 3</u> : Cartographie des forêts et ripisylves anciennes des vallées de Puisaye ..	33
<u>Action 4</u> : Test du concept de ripisylve ancienne pour les macroinvertébrés aquatiques	64
<u>Action 5</u> : Influence du paysage actuel et historique sur la faune aquatique	69
Conclusion générale et Résumé.....	84

REMERCIEMENTS

Nous remercions en premier lieu le Conseil Départemental de l'Yonne (Auxerre, 89), qui a sélectionné et soutenu le projet FRAPVAL, suite à son appel à projets « Protection de la ressource en eau et des milieux humides dans l'Yonne ».

Nous remercions aussi les structures partenaires du projet :

- les unités de recherche EFNO (Nogent-sur-Vernisson, 45) et HYCAR (Antony, 92) de l'Irstea (aujourd'hui INRAE) pour le soutien complémentaire en autofinancement d'une partie du projet (Actions 1, 2 et 3 pour EFNO ; Actions 4 et 5 pour HYCAR) ;
- la délégation Yonne du CRPF Bourgogne-Franche-Comté (Auxerre, 89) pour le soutien complémentaire en autofinancement d'une partie des actions de vulgarisation (plaquette, visite de terrain) et pour son appui lors des prospections de terrain ;
- le service de l'Inventaire Forestier de l'IGN (Nogent-sur-Vernisson, 45) pour la fourniture gracieuse des fonds carto-photographiques utiles à l'Action 3, ainsi qu'un appui méthodologique pour leur utilisation ;
- la Régie rivière de la Fédération des eaux Puisaye-Forterre (Toucy, 89) pour sa participation au comité de pilotage, pour son appui lors des prospections de terrain et pour la fourniture d'une base de données sur les berges, utile pour mener à bien l'Action 5 ;
- l'EPAGE (Montargis, 45) pour sa participation au comité de pilotage, en continuité de la Régie rivière de la Fédération des eaux Puisaye-Forterre.

En plus des auteurs du présent rapport, nous remercions les personnes suivantes pour leur implication dans le projet :

- Fabienne de CUYPER et Guy PERETZ (CD89) pour le suivi du dossier, la présidence du comité de pilotage et la compréhension des aléas de la recherche ;
- Nadia BARUCH et Antoine DELBERGUE (CRPF) pour leur aide lors des prospections et des premiers relevés de terrain ;
- Marie DOUANE (Régie rivière) pour avoir partagé sa connaissance du terrain, particulièrement utile en début de projet ;
- Noémie BERTRAND (stagiaire Irstea), Adélie CHEVALIER (Irstea) et Marie GARNIER (IGN) pour leur participation aux relevés de terrain des Actions 1 et 2 ;
- Philippe JANSSEN (INRAE, St-Martin-d'Hères, 38) pour s'être lancé dans la rédaction d'un article scientifique international concernant les Actions 1 et 2.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

CONTEXTE

Avec la rivière, la forêt constitue l'écosystème le plus naturel qui soit dans les plaines françaises. Si la forêt remplit des fonctions écologiques qui régulent en partie certains excès de l'homme (stockage du carbone, filtre de la pollution de l'air et des eaux), elle en subit aussi les conséquences (dépérissements liés aux changements climatiques).

Parmi les forêts actuelles, celles qui n'ont pas fait l'objet de défrichement pour un usage agricole méritent une attention particulière car une partie de leur fonctionnalité écologique a pu se maintenir au cours des siècles. En conséquence, les forêts anciennes hébergent une biodiversité spécifique souvent indicatrice d'un bon état écologique. Les forêts anciennes sont bien connues pour leur flore caractérisée par un faible pouvoir de dissémination (Dupouey et al., 2002).

En vallée alluviale, tous ces éléments prennent une dimension plus importante en raison d'activités humaines plus soutenues et du fait que les vallées reçoivent les eaux des coteaux avoisinants, chargées de résidus d'intrants agricoles. Par son effet de filtre, la forêt alluviale joue un rôle dans la préservation de la qualité des eaux et tout particulièrement la ripisylve, directement au contact de la rivière. Par ailleurs, la forêt alluviale joue un rôle reconnu dans l'atténuation des crues, notamment en interceptant une partie des eaux de ruissellement et en ralentissant leur écoulement.

Les forêts alluviales anciennes, garantes de la continuité temporelle de l'état boisé, constituent de véritables reliques à préserver et à étudier car la compréhension de leur fonctionnement pourrait nous aider à mieux gérer la forêt alluviale de demain, dans l'objectif de la rendre plus efficace dans son rôle d'épuration et de rétention des eaux, et plus résiliente face aux effets des changements climatiques.

La France dispose de la carte d'État-major au 1/40 000^e, datant des années 1820-1866, relativement précise quant à la localisation des forêts (Dupouey et al., 2007). Comme cette période correspond aussi au creux forestier (plus faible taux de boisement en France), les forêts qui y sont répertoriées ont de fortes chances d'y être beaucoup plus anciennes (Koerner et al., 2000). Si elles sont encore présentes aujourd'hui, il est aussi probable qu'elles n'aient pas été défrichées entre temps. La cartographie de ces forêts potentiellement anciennes est donc facilement accessible en confrontant les figurés de la carte d'État-major à l'interprétation des photos aériennes contemporaines.

FINALITÉS DU PROJET FRAPVAL

Le projet FRAPVAL (Forêts et Ripisylves Anciennes des Petites Vallées de la Puisaye) est ciblé sur des vallées de largeur modeste car le concept de forêt ancienne y a été peu étudié, contrairement aux grandes vallées comme celles de Champagne (Chevalier et al., 2009). Dans les petites vallées, la ripisylve (partie forestière au contact de la rivière) qui relève à la fois de la trame verte et bleue (= trame turquoise) pourrait jouer un rôle particulier du fait de sa linéarité et de sa composante aquatique, ce qui nous amène à y tester aussi le concept de ripisylve ancienne.

FRAPVAL vise à :

- (1) cartographier les forêts potentiellement anciennes des vallées du Loing, de l'Ouanne, du Vrin, du Tholon et de leurs affluents, pour leur partie icaunaise, c'est-à-dire dans ou en limite de la Puisaye, une région naturelle déjà identifiée comme à fort potentiel de milieux humides (Conservatoire des sites naturels bourguignons, 2008) ;
- (2) valider le concept de forêt ancienne dans ces petites vallées en comparant la biodiversité végétale (dendrologique et du tapis herbacé) des forêts anciennes à celle des forêts récentes ;

- (3) tester la pertinence du concept de ripisylve ancienne en comparant la biodiversité végétale terrestre et animale aquatique (ici macro-invertébrés) des ripisylves anciennes à celle des ripisylves récentes ;
- (4) définir des modes de gestion respectueux de ces milieux, élaborer une plaquette de vulgarisation et sensibiliser propriétaires et gestionnaires lors de visites de terrain.

Les trois premiers points seront traités dans ce rapport. Le quatrième point s'est concrétisé par la réalisation d'une plaquette de vulgarisation par le CRPF Bourgogne Franche-Comté, éditée par le Conseil départemental de l'Yonne (<https://www.yonne.fr/Territoire/Environnement/Protection-et-preservation-des-espaces-naturels-sensibles>). La visite de terrain avec les gestionnaires et propriétaires, prévue le 25 juin 2020, a été reportée au 15 octobre 2020 à cause de l'épidémie de COVID-19.

Afin de rendre ce rapport accessible au plus grand nombre, nous faisons le choix de bien différencier les questions à traiter et d'aller à l'essentiel des résultats et de leur discussion. Suite à cette introduction, les objectifs énoncés seront traités dans 5 fiches « actions » autonomes, comportant chacune les parties introduction, méthode, résultats-discussion, conclusion-perspectives, bibliographie essentielle et annexes. Le travail de valorisation scientifique sera poursuivi sous forme d'articles dans différentes revues.

BIBLIOGRAPHIE

CHEVALIER R., BERTHELOT A., CARNOT-MILARD L., DUPREZ M., GALLAND M., GAUDIN S. et PERRIER C. 2009 – La Flore des forêts anciennes. Validité et utilité pour la conservation des forêts alluviales de Champagne. *Symbioses*, Nouvelle série, 24 : 4-12.

DUPOUEY J.L., BACHACOU J., COSSERAT R., ABERDAM S., VALLAURI D., CHAPPART G. et CORVISIER-de VILLÈLE M.A. 2007 – Vers la réalisation d'une carte géoréférencée des forêts anciennes de France. *Le Monde des Cartes*, 191 : 85-98.

DUPOUEY J.L., SCIAMA D., KOERNER W., DAMBRINE E. et RAMEAU J.C. 2002 – La Végétation des forêts anciennes. *Revue forestière française*, LIV (6) : 521-532.

KOERNER W., CINOTTI B., JUSSY J.H. et BENOÎT M. 2000 – Évolution des surfaces boisées en France depuis le début du XIX^e siècle : identification et localisation des boisements des territoires agricoles abandonnés. *Revue forestière française*, LII (3) : 249-269.

CONSERVATOIRE DES SITES NATURELS BOURGUIGNONS. 2008 – La Puisaye - Forterre. *Territoires Naturels de Bourgogne*, 1 : 1-78.

Action 1 : VALIDATION DU CONCEPT DE FORÊT ANCIENNE POUR LA FLORE DES PETITES VALLÉES DE PUISAYE

Action portée par **Richard CHEVALIER** (INRAE, UR EFNO, Nogent/Vernisson-45)
richard.chevalier@inrae.fr

En collaboration avec : Frédéric ARCHAUX (INRAE, UR EFNO, Nogent/Vernisson-45)
André EVETTE (INRAE, UR LESSEM, St-Martin-d'Hères-38)

Relevés de terrain : Nadia BARUCH, Noémie BERTRAND, Adélie CHEVALIER,
Richard CHEVALIER, Antoine DELBERGUE, Barthélémy DESSANGES,
Marie GARNIER, Hilaire MARTIN

INTRODUCTION

Nous allons ici tenter de valider le concept de forêt ancienne pour les petites vallées de la Puisaye icaunaise. Nous partons de l'hypothèse (1) que le concept est valide dans ces petites vallées mais (2) qu'il est atténué du fait que la flore des forêts anciennes, classiquement à faible pouvoir de dissémination (niveau moyen de migration de seulement 30 cm par an suivant Brunet et Von Oheimb, 1998), y circule mieux du fait du transport des graines par l'eau (laissées de crues) et de l'effet corridor produit par les haies du paysage bocager et les ripisylves de berge.

Si l'hypothèse (1) était rejetée, il n'y aurait plus d'intérêt à conserver les forêts anciennes telles que nous les avons définies en introduction générale, c'est-à-dire sous l'angle carto-photographique (présentes sur la carte d'État-major et aujourd'hui), ni à les cartographier. C'est pour cela que nous abordons cette action du projet FRAPVAL en premier lieu.

MÉTHODE

La zone d'étude

Afin de rester dans des conditions écologiques assez uniformes, nous avons restreint la zone d'étude à la partie alluviale (alluvions modernes Fz sur les cartes géologiques au 1/50 000^{ème}) de l'Ouanne et de ses affluents dans le département de l'Yonne, au centre de la Puisaye des Plateaux. La géologie est constituée de limons et d'argiles à silex plutôt acides (Girault, 1988). Les sols alluviaux y sont limono-argileux, plus ou moins caillouteux et rarement carbonatés. Le climat est de type océanique altéré, sur la période 1951-1980, la pluviométrie était comprise entre 700 et 800 mm pour le territoire d'étude et la température moyenne à Auxerre est de 11,6° (période 1980-2010).

La méthode de relevé

Les relevés de végétation utilisés pour cette action sont réalisés dans des forêts alluviales sub-naturelles (= spontanées) au contact de la rivière. Le relevé est réalisé en un seul passage, sur des placettes de 200 m² (20 x 10 m parallèle à la rivière), à l'écart de la rivière, en respectant une zone d'isolement de 15 à 20 m. Les relevés ont été effectués en juin et juillet des années 2018 et 2019.

L'abondance de chaque espèce de la flore vasculaire a été évaluée, avec les coefficients d'abondance-dominance de Braun-Blanquet (i ; + ; 1 ; 2 ; 3 ; 4 et 5) transformés ensuite en couverts (0,1 ; 0,5 ; 2,5 ; 15,0 ; 37,5 ; 62,5 et 87,5 %), dans 4 strates :

- AA-arborescente haute (ligneux H ≥ 16 m),
- A-arborescente moyenne (ligneux H = 8 à 16 m),
- a-arborescente basse (ligneux H = 2 à 8 m),
- h-herbacée (ligneux et herbacées H < 2 m).

Les strates AA, A et a correspondent au **peuplement forestier** et la strate h à la flore du **sous-bois**, cette dernière étant soumise au couvert du premier, lui-même conditionné par les pratiques sylvicoles qui sont de faible intensité dans les forêts étudiées.

Comme indices, nous utiliserons principalement la richesse spécifique totale, patrimoniale en région Bourgogne (protégées, en liste rouge, déterminantes ZNIEFF) et des espèces de forêts anciennes, définies par Dupouey et al. (2002) en France et par Hermý et al. (1999) en Europe.

En complément, un inventaire dendrométrique par cercles concentriques (inspiré de l'Inventaire forestier de l'IGN) a été réalisé depuis le centre de chaque placette (dans un rayon de 4 m pour les arbres d'au moins 5 cm de diamètre à 1,30 m ; 6 m pour d1,3m ≥ 10 cm ; 9 m pour d1,3m ≥ 25 cm et

15 m pour $d1,3m \geq 45$ cm). Nous utiliserons la surface terrière (surface des sections des troncs à 1,30 m de hauteur), ramenée à l'hectare, comme descripteur du peuplement forestier.

Pour les analyses qui suivent, nous comparerons deux groupes de relevés suivant qu'ils sont situés en forêt ancienne (FA : en forêt sur la carte d'État-major, aujourd'hui et dans les années 1950) ou en forêt récente (FR : prairie ou culture sur la carte d'État-major, mais en forêt aujourd'hui et si possible dans les années 1950).

Nous comparerons nos résultats à ceux obtenus par Chevalier et *al.* (2009) dans les grandes vallées de Champagne, où le concept de forêt ancienne a été validé pour la flore vasculaire du sous-bois.

RÉSULTATS-DISCUSSION

Réalisation de l'échantillonnage

Le projet envisageait de comparer 10-15 forêts anciennes (FA) à 10-15 forêts récentes (FR). Nous avons pu réaliser des relevés utilisables pour 12 forêts anciennes et 12 forêts récentes. Les 24 relevés sont situés dans le bassin de l'Ouanne (5 sur l'Ouanne, 2 sur son affluent le Ruisseau de Fontenoy, 11 sur le Branlin et 6 sur son affluent l'Agréau, cf. Figure 1).

Nous envisagions d'échantillonner les deux modalités FA et FR sur un type de station constant, mais nous avons dû nous contenter de l'existant, quasiment toutes les possibilités ayant été utilisées dans notre échantillonnage du fait que la recherche de forêts au contact de la rivière était assez restrictive. Si toutes les forêts anciennes se présentaient à l'état forestier dans les années 1950, 1970, 1990 et aujourd'hui, 25 % des forêts récentes ne présentaient pas, dans les années 1950, un état forestier mais prairial. Enfin, deux relevés de forêt récente ont été préalablement écartés du fait de leur passé populicole.

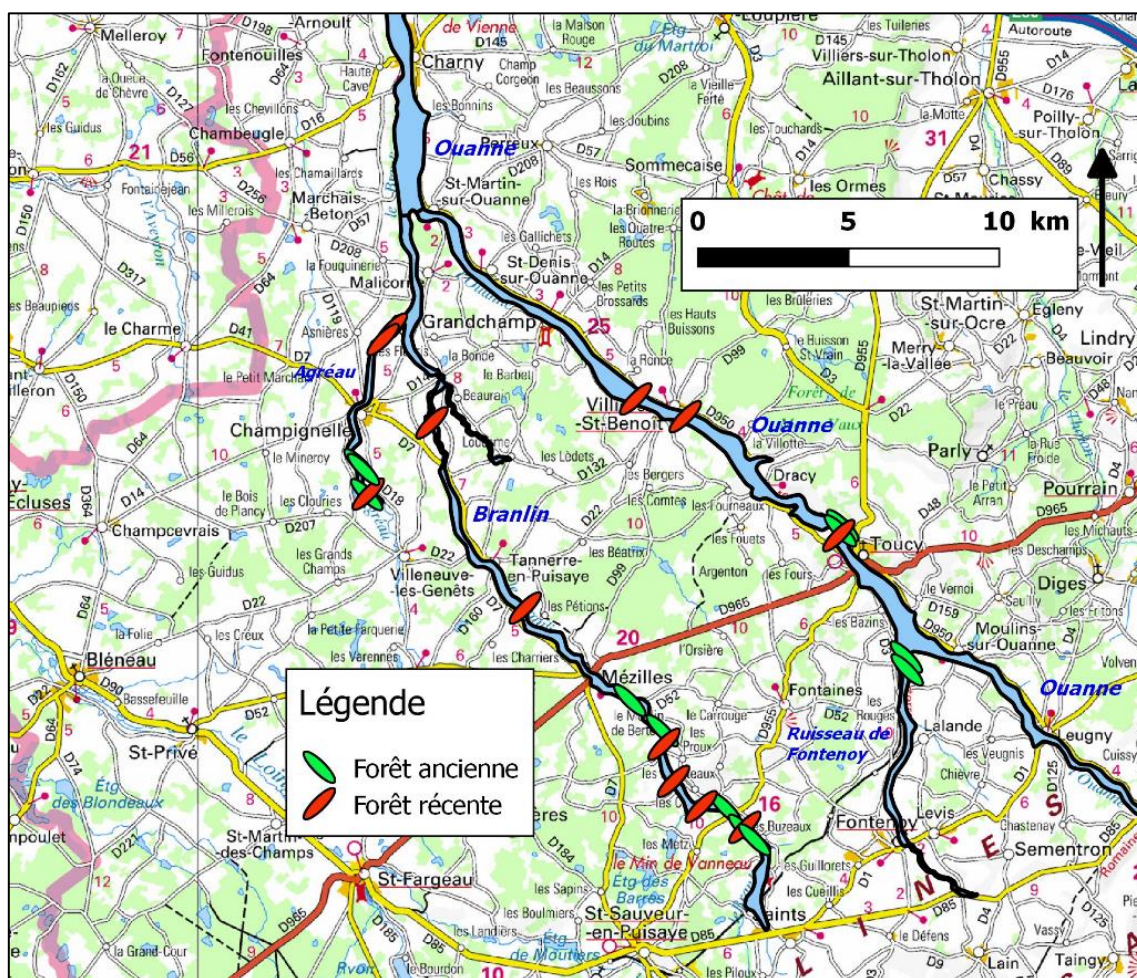


Figure 1 : Emplacement des points d'échantillonnage des forêts anciennes et récentes.
(Fond de carte : IGN 1/250 000^{ème}).

Par ailleurs, l'échantillonnage apparié de la forêt et de la ripisylve (*cf.* fiche Action 2), conduit à ce que les placettes de FA sont fréquemment en limite de la forêt ancienne, souvent matérialisée par la rivière. Ainsi, 75 % de nos placettes de forêt ancienne sont à moins de 30 m de cette limite, mais ceci est aussi une réalité géographique liée à l'étroitesse des vallées. Nous noterons cependant que, pour 75 % des relevés de FA, la forêt ancienne se prolonge sur le coteau au-delà de la vallée alluviale.

Caractérisation écologique

En se référant au guide (phytoécologique) pour l'identification des stations des milieux alluviaux en Champagne (Carnnot-Milard, 2010), la Figure 2 présente le nombre de placettes de forêts anciennes et de forêts récentes suivant 4 grands types de stations relatifs à l'humidité du sol.

Nous constatons, que les forêts récentes sont sur des sols plus humides avec un décalage d'un niveau stationnel (principalement humide pour FR et frais pour FA).

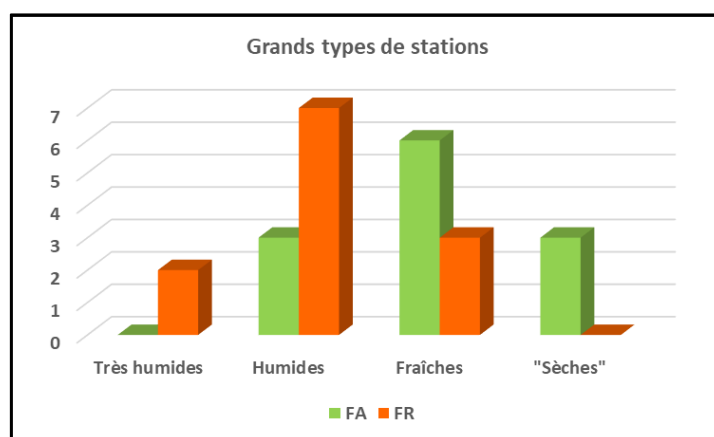


Figure 2 : Nombre de placettes de forêt ancienne (FA) et de forêt récente (FR) suivant les grands types de stations.

L'Annexe 1 présente plus en détail les différences stationnelles entre FA et FR. Parmi les valeurs indicatrices (VI) d'Ellenberg et *al.* (1992) calculées ici pour la flore du sous-bois (state h), la VI F d'humidité du sol diffère effectivement statistiquement (* $p=0,0201$). Si la VI R de réaction du sol (pH) ne présente pas de différence significative, la VI N de disponibilité en nutriments (principalement azote) est significativement différente (* $p=0,0347$) et révèle une plus forte eutrophisation des sols sous forêt récente.

La forme d'humus, transformée ici en série numérique d'après Ponge et *al.* (2002) révèle un humus significativement (* $p=0,0165$) plus évolué en FA (2,3) qu'en FR (1,1) avec 1 correspondant à eumull, 2 à mésomull et 3 à oligomull. Enfin, les sondages pédologiques ont révélé la présence d'une place à feu de charbonnier dans 33 % des relevés de FA contre 0 % pour ceux de FR (* $p=0,0466$).

L'ensemble de ces résultats révèle que **les conditions écologiques diffèrent entre forêts anciennes et forêts récentes**, ce qui a des conséquences sur la composition floristique, elle-même élément du diagnostic stationnel suivant Carnnot-Milard (2010). Cette différence des conditions environnementales entre FA et FR a été également constatée à plus vaste échelle, à partir des données phytoécologiques de l'inventaire forestier national de l'IGN récoltées dans diverses vallées (communication personnelle Dupouey J.L.) ainsi que dans les vallées de Champagne (Chevalier et *al.*, 2009). Il en résulte que les facteurs environnementaux sont partiellement confondus avec l'ancienneté de l'usage et donc qu'il est délicat de séparer leur influence respective sur la composition floristique.

Ces résultats confèrent aux forêts anciennes des vallées de Puisaye, au-delà de leur rareté, un intérêt supplémentaire du fait qu'elles contribuent à la biodiversité des écosystèmes, l'un des trois niveaux de la biodiversité avec celui des espèces et génétique.

Caractérisation dendrologique

Nous nous intéressons ici au peuplement forestier, pris en compte :

- lors du relevé floristique sur 200 m², qui permet d'obtenir le couvert de chaque espèce ligneuse et globalisé pour les différentes strates AA, A et a du peuplement forestier ;
- lors de l'inventaire dendrométrique par cercles concentriques dans un rayon de 4 à 15 m, à partir duquel nous avons calculé la surface terrière G en m²/ha de chaque essence.

Les résultats détaillés figurent en Annexes 2, 3 et 4. Nous ne reprendrons ici que les principaux résultats.

Au total, ce sont **29 espèces ligneuses** qui ont été inventoriées dans les 24 placettes, **dont 17 d'arbres** pouvant atteindre 15 m de hauteur d'après Rameau *et al.* (1989). Les relevés de forêt ancienne comptent 19 espèces dont 10 d'arbres, et les relevés de forêt récente 25 espèces dont 14 d'arbres. Les relevés floristiques (*cf.* Annexe 3) comptent un petit peu plus d'espèces que les inventaires dendrométriques (*cf.* Annexe 4) et rendent mieux compte de la différence de composition entre FA et FR.

Diverses caractéristiques relatives au peuplement forestier sont détaillées en Annexe 2. Les relevés floristiques ne révèlent aucune différence significative entre FA et FR pour le couvert global et des différentes strates AA, A et a, ni pour la richesse spécifique correspondante, si ce n'est une tendance à plus d'espèces (Tend $p=0,0519$) pour FR toutes strates confondues (8,4 espèces contre 6,3 pour FA). Cependant la VI L de lumière d'Ellenberg, calculée ici à partir de la flore du sous-bois (strate $h < 2$ m) révèle une différence très significative (** $p=0,0010$) à l'avantage de FR. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les forêts récentes gardent la trace des usages précédents de milieu ouvert dans le sous-bois.

Toujours en Annexe 2, les inventaires dendrométriques ne révèlent pas de différence significative de richesse dendrologique, ni de surface terrière moyenne entre les types de relevés. Celle-ci est assez élevée (30,1 m² pour FA et 34,8 m² pour FR), légèrement supérieure à celle observée par Chevalier *et al.* (2009) dans les vallées de Champagne (27 m² aussi bien en FA que FR).

Concernant la composition dendrologique, pour les relevés dendrométriques, seules 6 espèces sont présentes dans au moins 50 % des relevés de FA ou de FR. Cinq d'entre-elles sont des arbres (*Alnus glutinosa*, *Acer campestre*, *Carpinus betulus*, *Fraxinus excelsior* et *Quercus robur*), la sixième étant un arbuste (*Corylus avellana*). Suivant Rameau *et al.* (1989), nous avons ventilé toutes les espèces d'arbres en 3 stades de la succession dendrologique : pionnier, postpionnier et nomade, ce dernier présentant un caractère intermédiaire entre les deux précédents (*cf.* Annexe 4 pour l'affectation des espèces).

La figure 3 compare FA et FR, pour la surface terrière des essences appartenant aux différents stades de la succession. La surface terrière des arbres pionniers est significativement plus élevée pour FR et attribuable à près de 75 % à l'aulne (*cf.* Annexe 4, * $p=0,0141$). A l'opposé, la surface terrière G des postpionnières est très significativement plus élevée pour FA et attribuable à 100 % au charme (** $p=0,0023$) qui est quasiment absent de FR. Il n'y a pas de différence significative pour G des espèces nomades où le frêne est prépondérant.

Cette différence de positionnement, entre FA et FR, le long de la succession dendrologique ajoute à l'intérêt des forêts anciennes pour la diversité des écosystèmes. Cette différence est en cohérence avec l'ancienneté de la forêt. Cependant, les stations alluviales déroulent la plus grande partie de leur succession sur les stades pionniers et postpionniers peu avancés (dont nomade) en comparaison des stations des pentes et plateaux avoisinants (Girault, 1988). Nous sommes partagés entre deux interprétations possibles :

- les forêts anciennes sont historiquement sur des stations plus sèches que les forêts récentes, cette différence entre les deux types de forêts devrait alors persister dans le futur ;
- les forêts anciennes correspondent à l'évolution normale d'une succession des stades pionnier → postpionnier précoce → postpionnier plus tardif, qui verrait se succéder ici aulnaies → frênaies → chênaies-charmaies, bénéficiant à une flore progressivement moins hygrophile. Dans cette hypothèse, le caractère plus hygrophile de la végétation du sous-bois des forêts récentes devrait s'estomper au cours du temps.

La succession pourrait aussi s'apparenter à une succession primaire où le substrat nu (ici d'origine agricole) a été modifié au cours du temps en raison de la dynamique hydro-sédimentaire. La comparaison du dénivelé entre eau et rebord de la ripisylve de berge constitue un élément d'investigation (*cf.* Annexe 1) ; celle-ci est en moyenne de 1,40 m pour FA et de 1,10 m pour FR mais sans différence significative.

Il est indéniable que l'action anthropique a une incidence sur l'état dendrologique des forêts anciennes et récentes, telles qu'elles se présentent aujourd'hui sur la zone d'étude. Il est vraisemblable que les différences observées relèvent pour partie des deux processus évoqués sans que nous puissions identifier celui qui domine.

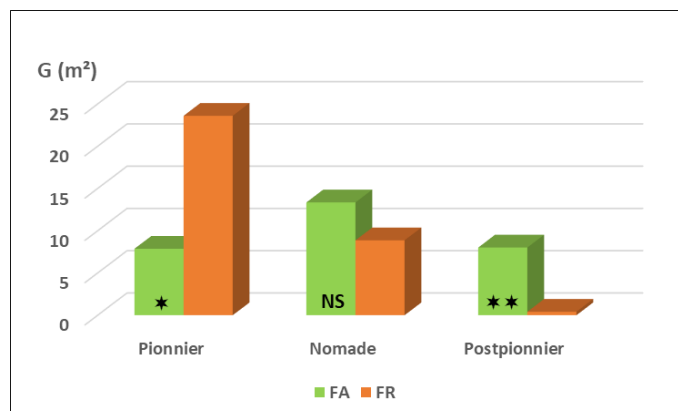


Figure 3 : Répartition de la surface terrière (G en m²/ha) suivant l'affectation des espèces d'arbres aux 3 stades de la succession dendrologique et suivant l'ancienneté de la forêt.

Au niveau de l'abondance de chaque espèce, suivant l'approche floristique ou dendrométrique (cf. Annexes 3 et 4), trois espèces sont significativement ou ont tendance (Tend $p \leq 0,10$) à être plus abondantes en FA (*Carpinus betulus*, *Populus tremula* et *Hedera helix*), quatre le sont au contraire en FR (*Alnus glutinosa*, *Prunus spinosa*, *Sambucus nigra* et *Salix cinerea*) et cinq sont considérées comme indifférentes (*Acer campestre*, *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur*, *Corylus avellana* et *Crataegus monogyna*).

Parmi les espèces signalées comme indicatrices de forêt ancienne par Dupouey et al. (2002) et Herm y et al. (1999, ici avec au moins 3 citations), ne figure aucune préférentielle. Parmi les 5 indifférentes, *Acer campestre* et *Corylus avellana*, qui sont signalés comme indicateur de forêt ancienne par les deux auteurs, ont leur abondance plus forte pour FR.

Ces résultats, confirment le moindre caractère indicateur des espèces ligneuses pour les forêts anciennes, signalé par Chevalier et al. (2009) dans les vallées de Champagne, probablement du fait que ces espèces sont plus soumises au contrôle de l'homme que les espèces herbacées.

Flore du sous-bois, richesse globale

Nous nous intéressons ici à la flore vasculaire du sous-bois (strate $h < 2$ m, y compris ligneux) sous l'angle de la richesse spécifique globale (ou gamma = cumul des relevés de la modalité FA ou FR). Nous positionnerons nos résultats par rapport à ceux obtenus par Chevalier et al. (2009) dans les grandes vallées de Champagne. Le Tableau 1 présente l'ensemble des résultats.

Tableau 1 : Richesse globale totale, patrimoniale et de différents groupes d'espèces indicatrices de forêt ancienne, en forêt ancienne (FA) et récente (FR), pour les vallées de Puisaye et de Champagne.

	Petites vallées de Puisaye			Grandes vallées de Champagne		
	FA	FR	Ensemble	FA	FR	Ensemble
Effectifs (n)	12	12	24	29	29	58
RS Totale	102	122	151	104	107	133
RS Originale Totale	29 Tend ($p=0,0693$)	49 Tend ($p=0,0693$)	/	26	29	/
RS Patrimoniale	0	4	4	1	1	1
RS FA Dupouey	32	24	33	22	20	28
RS Originale FA Dupouey	9 * ($p=0,0322$)	1 * ($p=0,0322$)	/	8	6	/
RS FA Herm y 1	39	32	43	31	27	35
RS Originale FA Herm y 1	11	4	/	8	4	/
RS FA Herm y 3	30	22	31	22	20	26
RS Originale FA Herm y 3	9 * ($p=0,0316$)	1 * ($p=0,0316$)	/	6	4	/
RS FA Herm y 5	17	11	17	11	11	13
RS Originale FA Herm y 5	6 Tend ($p=0,0549$)	0 Tend ($p=0,0549$)	/	2	2	/

Avec : - comparaison de proportions 2 à 2, test de probabilité exacte de Fisher : * : $p \leq 0,05$; Tend : $p \leq 0,10$.
- RS Originale : nombre d'espèces présentes uniquement dans FA ou FR.

Au total, 151 espèces ont été inventoriées dans les 24 placettes de Puisaye, soit 14 % de plus que pour les 58 placettes de Champagne réparties sur un territoire de superficie 17 fois plus importante. Alors qu'il y n'y a pas de différence entre FA et FR pour les vallées de Champagne, **les forêts récentes de Puisaye se démarquent des forêts anciennes par un plus grand nombre d'espèces, une plus grande originalité** (Tend $p=0,0693$). Par ailleurs, **les 4 espèces patrimoniales de Puisaye ont été rencontrées uniquement en FR** (*Osmunda regalis*, protégée, vulnérable en liste rouge et déterminante ZNIEFF ; *Carex canescens*, quasi menacé en liste rouge ; *Carex elongata* et *Galanthus nivalis*, déterminantes ZNIEFF), à hauteur de 1 à 2 espèces dans 1/3 des placettes et dans près de la moitié des stations humides et très humides, mais dans aucune des stations fraîches et « sèches » (cf. Figure 2).

Pour la richesse en espèces de forêt ancienne, nous avons utilisé, d'une part la liste de Dupouey et al. (2002) et différentes sélections au sein de la liste de Hermy et al. (1999), en retenant un nombre croissant de publications (sur 22) ou l'espèce est signalée de forêt ancienne, à savoir à partir de 1, 3, 5 et 7 publications. Ces cinq indices (sauf le dernier) sont ceux qui ont été utilisés par Chevalier et al. (2009) pour les vallées de Champagne.

Dans le Tableau 1, nous constatons que :

- aussi bien pour FA que FR, les vallées de Puisaye comptent, pour tous les indices de forêt ancienne, au moins autant d'espèces que les vallées de Champagne alors que le nombre de placettes est 2 à 3 fois moins important ;
- si les indices de forêt ancienne sont à peine supérieurs à ceux des forêts récentes pour les vallées de Champagne, les FA de Puisaye se démarquent des FR par un plus grand nombre d'espèces de forêt ancienne ;
- en conséquence, l'originalité en espèces de forêt ancienne est bien plus élevée pour FA que pour FR en Puisaye ; la différence est significative (*) pour Dupouey et Hermy 3.

L'étude de la richesse globale, révèle **pour les petites vallées de Puisaye**, en comparaison des résultats obtenus dans les grandes vallées de champagne, **un fond floristique conséquent** bien que la zone d'étude soit restreinte ainsi qu'un **grand nombre d'espèces de forêt ancienne avec une préférence pour FA**.

Flore du sous-bois, richesse locale

Toujours pour la flore vasculaire du sous-bois, nous passons ici à la richesse spécifique locale (ou alpha = moyenne des relevés de la modalité FA ou FR). Comme pour la richesse globale, nous positionnerons nos résultats par rapport à ceux obtenus en Champagne. Le Tableau 2 présente l'ensemble des résultats.

Tableau 2 : Richesse locale totale, patrimoniale et de différents groupes d'espèces indicatrices de forêt ancienne, en forêt ancienne (FA) et récente (FR), pour les vallées de Puisaye et de Champagne.

	Petites vallées de Puisaye					Grandes vallées de Champagne		
	FA	FR	P Anova	P K. Wallis ⁽¹⁾		FA	FR	P Anova
Effectifs (n)	12	12	24	48 ⁽²⁾	72 ⁽³⁾	29	29	58
Couvert flore strates h et a (≤ 8 m)	71,8 %	74,2 %	NS ($p=0,6577$)	NS	NS	101 %	105 %	NS ($p=0,6725$)
Couvert flore strates h (≤ 2 m)	64,6 %	63,8 %	NS ($p=0,8667$)	NS	NS	/	/	/
RS Totale	28,4	35,0	NS ($p=0,1960$)	NS	NS	22,7	21,4	NS ($p=0,4084$)
RS Patrimoniale	0,00	0,50	* ⁽¹⁾ ($p=0,0327$)	**	***	/	/	/
RS FA Dupouey	9,83	6,75	* ⁽¹⁾ ($p=0,0466$)	**	***	5,62	3,66	*** ($p=0,0008$)
RS FA Hermy 1	11,75	10,00	NS ($p=0,2292$)	NS	NS	8,97	6,66	*** ($p=0,0001$)
RS FA Hermy 3	9,00	7,33	NS ($p=0,1859$)	NS	Tend	6,72	4,66	*** ($p<0,0001$)
RS FA Hermy 5	5,58	3,50	Tend ($p=0,0782$)	*	**	3,79	2,34	*** ($p<0,0001$)
RS FA Hermy 7	3,42	1,58	Tend ($p=0,0610$)	**	**	/	/	/

⁽¹⁾ Test non paramétrique de du Kruskal-Wallis à la place de l'Anova car trop forte hétérogénéité des variances.

⁽²⁾ P Anova avec réplification des relevés 2 fois.

⁽³⁾ P Anova avec réplification des relevés 3 fois.

La comparaison des seuils de signification entre Puisaye et Champagne pose problème car la puissance statistique est moindre en Puisaye en raison d'une pression d'échantillonnage 2 à 3 fois moindre. Aussi, à titre d'information, nous présentons les seuils de signification qui auraient été obtenus si l'échantillonnage de Puisaye avait été répliqué 2 et 3 fois à l'identique.

Nous constatons que **la richesse patrimoniale est plus élevée pour les forêts récentes des vallées de Puisaye**. Les indices de richesse en espèces de forêt ancienne, même après réplification sont globalement moins discriminants entre FA et FR de Puisaye que pour les vallées de Champagne. **C'est l'indice de richesse de Dupouey qui est le plus discriminant** pour la Puisaye alors que c'était le moins discriminant (mais de très peu) pour la Champagne. Nous constatons cependant que l'efficacité des indices de Hermy croît lorsque le critère de sélection des espèces se durcit (de Hermy 1 à Hermy 7).

Aussi bien pour FR que pour FA, la richesse locale en espèces de forêt ancienne est supérieure de 30 à 85 % (suivant les combinaisons indice/ancienneté) par rapport à celle observée pour les mêmes combinaisons en Champagne. Par ailleurs, le ratio entre RS FA des forêts anciennes et récentes de Puisaye, de 1,46 pour Dupouey, passe progressivement de 1,18 pour Hermy 1 à 2,16 pour Hermy 7. **Ces résultats iraient dans le sens d'un stock d'espèces de forêts anciennes mieux conservé dans les petites vallées de Puisaye que dans celles de Champagne**, la différence entre FA et FR se ferait alors surtout sur les espèces les plus sensibles au défrichement.

Flore du sous-bois, étude de la composition floristique

Toujours pour la flore vasculaire du sous-bois, nous étudions maintenant la fréquence/abondance de chaque espèce. La plupart des 151 espèces a un trop faible effectif pour permettre d'obtenir une différence significative entre FA et FR, d'autant plus que l'échantillonnage est réduit (12 placettes pour FA et 12 pour FR). Cela est normal et a aussi été observé dans les vallées de Champagne, même avec un échantillonnage 2,4 fois plus important. L'Annexe 5 présente les résultats pour les seules espèces préférentielles (différence significative ou tendance si $p \leq 0,10$) des forêts anciennes ou des forêts récentes et les espèces que nous estimons indifférentes (présentes dans au moins 20 % des relevés de FA et de FR, avec $p \geq 0,20$).

Ainsi, nous obtenons pour les vallées de Puisaye :

- 7 espèces préférentielles des forêts anciennes, contre 5 pour les vallées de Champagne dont *Carex sylvatica* commun aux deux études ;
- 16 espèces préférentielles des forêts récentes, contre 5 pour les vallées de Champagne dont aucune commune aux deux études ;
- 21 espèces indifférentes, contre 12 pour les vallées Champagne dont 6 communes aux deux études, principalement des espèces ligneuses (*Cornus sanguinea*, *Crataegus monogyna*, *Euonymus europaeus*, *Fraxinus excelsior*, *Galeopsis tetrahit* et *Rosa arvensis*).

Parmi les 7 espèces préférentielles des forêts anciennes, 4 sont identifiées en tant que telles par Dupouey et al. (2002) ou Hermy et al. (1999) (*Arum maculatum*, *Carex sylvatica*, *Dryopteris filix-mas* et *Vinca minor*), les 3 autres étant des espèces ligneuses qui jouent un rôle dans la dynamique dendrologique et que nous avons déjà identifiées comme préférentielles des forêts anciennes en § « Caractérisation dendrologique » (*Carpinus betulus*, *Populus tremula* et *Hedera helix*).

Parmi les 16 espèces préférentielles des forêts récentes, 2 sont identifiées comme indicatrices de forêt ancienne par Dupouey et al. (2002) ou Hermy et al. (1999) (*Circaea lutetiana* et *Elymus caninus*). Nous noterons aussi que *Carex elongata* est la seule espèce patrimoniale figurant dans l'Annexe 5, à l'avantage de FR.

Parmi les 21 espèces indifférentes, 9 sont identifiées comme indicatrices de forêt ancienne par Dupouey et al. (2002) ou Hermy et al. (1999) dont 5 qui sont des espèces ligneuses.

Suivant les cotations écologiques d'Ellenberg L (lumière), F (humidité du sol) et N (nutriments du sol), seule VI L moyen des espèces préférentielles de FA se différencie de façon hautement significative de celles de FR (Anova, *** $p=0,0003$, avec VI L = 3,7 pour FA ; 6,3 pour FR). **C'est l'exigence en lumière des espèces**, un facteur écologique indépendant du biotope et donc de la station forestière (ressource en eau et en nutriments) **qui fait la principale différence de composition entre FA et FR**. Cependant, nous n'avons pas trouvé de différence significative de couvert des différentes strates ni de surface terrière en FA et FR (cf. Annexe 2). Les espèces à caractère plutôt sciophile seraient les plus sensibles au défrichement dans notre contexte global de petites vallées, caractère non pas lié aux conditions actuelles du peuplement forestier mais plutôt à son histoire.

CONCLUSION-PERSPECTIVES

En réponse à nos hypothèses formulées en introduction de cette fiche-action, le principal résultat est que l'hypothèse « **H1 - le concept de forêt ancienne est valide dans les petites vallées** » est **totalement accepté** pour la flore vasculaire. Il s'exerce de façon au moins aussi importante que pour les grandes vallées de Champagne (Chevalier et al., 2009) avec un fond floristique, dont celui de forêt ancienne, plus conséquent. Il est significativement mis en avant aussi bien à l'échelle globale (richesse

gamma), locale (richesse locale), que de certaines espèces, alors qu'il n'était visible que pour les deux dernières échelles en Champagne.

Nous avons mis en évidence une différence stationnelle et de composition dendrologique entre les forêts anciennes et récentes des vallées de Puisaye qui relève à la fois de différences de biotope et de processus de succession. Ces différences, au-delà de la diversité spécifique, renforcent l'**intérêt de préserver les forêts anciennes des vallées de Puisaye au nom de la diversité des écosystèmes**.

Nous avons aussi formulé « H2 - le concept de forêt ancienne est atténué dans les petites vallées » du fait que la dissémination des espèces de forêt ancienne y serait favorisée. Si ce dernier point semble conforté par un fond floristique conséquent, laissant suggérer une libre circulation, le concept de forêt ancienne n'y est pas atténué, ici en comparaison des vallées de Champagne. Nous rejetons donc H2 et pouvons même nous demander si ce n'est pas dans les vallées de Champagne que le processus serait atténué en raison d'un fond floristique appauvri.

La cartographie des forêts anciennes est donc une action pertinente, d'autant plus que les difficultés pour réaliser notre échantillonnage de forêts anciennes révèle déjà leur rareté.

BIBLIOGRAPHIE

BRUNET J. et VON OHEIMB G. 1998 – Migration of vascular plants to secondary woodlands in southern Sweden. *Journal of Ecology*, 86 : 429-438.

CARNNOT-MILARD L. 2010 – *Guide pour l'identification des stations et le choix des essences. Les Milieux Alluviaux*. CRPF de Champagne-Ardenne, Châlons-en-Champagne, 172 p.

CHEVALIER R., BERTHELOT A., CARNNOT-MILARD L., DUPREZ M., GALLAND M., GAUDIN S. et PERRIER C. 2009 – La Flore des forêts anciennes. Validité et utilité pour la conservation des forêts alluviales de Champagne. *Symbioses*, Nouvelle série, 24 : 4-12.

DUPOUEY J.L., SCIAMA D., KOERNER W., DAMBRINE E. et RAMEAU J.C. 2002 – La Végétation des forêts anciennes. *Revue forestière française*, LIV (6) : 521-532.

ELLENBERG H., WEBER H.E., DÜLL R., WIRTH V., WERNER W. et PAULIßEN D. 1992 – *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Göttingen, Verlag Goltze, 258 p.

GIRAULT D. 1988 – *Les stations forestières de la Puisaye*. Cemagref, Nogent-sur-Vernisson, 246 p.

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 : 9-22.

PONGE J.F., CHEVALIER R. et LOUSSOT P. 2002 – Humus Index: an integrated tool for the assessment of forest floor and topsoil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 66 : 1996–2001.

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*. Paris, IDF, 1785 p.

Annexe 1 : Caractéristiques stationnelles des forêts anciennes (FA) et des forêts récentes (FR).

Catégorie	Facteur	FA	FR	Unité	P	Test
Effectifs (n)		12	12	nombre	/	/
Texture à 20 cm de profondeur	LS ou LSA	41,7 %	8,3 %	% n relevés	NS (0,1550)	Pb exacte de Fisher 2 à 2
	LA ou LAS	41,7 %	50,0 %	% n relevés	NS (>0,9999)	
	AL ou Alo	16,6 %	25,0 %	% n relevés	NS (>0,9999)	
	Tourbe	0 %	16,7 %	% n relevés	NS (0,4783)	
Forme d'humus		2,28	1,13 ⁽²⁾	Note de 1 à 7	* (0,0165)	Kruskal-Wallis ⁽¹⁾
Présence place à feu		33 %	0 %	% n relevés	* (0,0466)	Pb exacte Fisher 2 à 2
Dénivelé terre/eau berge		1,38	1,09	m	NS (0,4783)	Anova
VI Ellenberg	F (humidité sol)	5,61	6,14	note de 1 à 12	* (0,0201)	Anova (analyse de variance)
	R (réaction sol)	6,31	6,62	note de 1 à 9	Tend (0,0957)	
	N (nutriments N)	5,87	6,26	note de 1 à 9	* (0,0347)	

⁽¹⁾ Test non paramétrique de Kruskal-Wallis à la place de l'Anova car trop forte hétérogénéité des variances.

⁽²⁾ Calculé sur 10 relevés (mise à l'écart des 2 relevés à sol tourbeux).

Annexe 2 : Caractéristiques dendrologiques des forêts anciennes (FA) et des forêts récentes (FR). Espèces ligneuses ≥ 2 m.

Type de relevé	Catégorie	Facteur	FA	FR	P	Test
Effectifs (n)			12	12	/	
Relevé floristique (200 m ²)	VI Ellenberg L (lumière)		5,01	5,53	** (0,0010)	Anova (analyse de variance)
	Couvert (%)	Toutes strates ≥ 2 m	76,7 %	77,9 %	NS (0,7505)	
		AA (≥ 16 m)	55,8 %	55,0 %	NS (0,8864)	
		A (8 à 16 m)	20,8 %	16,4 %	NS (0,4280)	
		A (2 à 8 m)	14,4 %	20,8 %	NS (0,1390)	
	Richesse spécifique RS	Toutes strates ≥ 2 m	6,33	8,42	Tend (0,0519)	
		AA (≥ 16 m)	2,67	2,83	NS (0,7126)	
		A (8 à 16 m)	2,50	2,67	NS (0,7369)	
		A (2 à 8 m)	5,00	5,58	NS (0,5236)	
	RS espèces de forêt ancienne ⁽²⁾		2,00	2,50	NS (0,3552)	
Inventaire dendrométrique (cercles, rayon 4 à 15 m)	RS tous rayons		3,42	4,33	NS (0,2046)	Kruskal-Wallis ⁽¹⁾ (test non paramétrique)
	Surface terrière G (m ² /ha)	Totale	30,10	34,82	NS (0,8174)	
		Pionnières	7,87	23,60	* (0,0227)	
		Nomades	13,35	8,86	NS (0,2124)	
		Post-pionnières	8,01	0,41	** (0,0056)	
		arbustes	0,86	1,95	Tend (0,0538)	

⁽¹⁾ Test non paramétrique de Kruskal-Wallis à la place de l'Anova car trop forte hétérogénéité des variances.

⁽²⁾ Listées par Dupouey et al. (2002) ou Hermy et al. (1999) avec n ≥ 3.

Annexe 3 : Fréquence et couvert moyen des espèces du peuplement forestier en forêt ancienne et récente, d'après les relevés floristiques. (200 m², rayon de 8 m, ici individus ≥ 2 m).

Préférence	Nom latin (Taxref 11)	FA Hermey	FA Dupouey	Fréquence FA	Couvert FA (%)	Fréquence FR	Couvert FR (%)	p. Kruskal- Wallis	
Préférence FA	<i>Carpinus betulus</i>			92%	35,14	33%	4,40	***	0,0006
	<i>Hedera helix</i>			92%	1,90	58%	0,76	*	0,0325
Préférence FR	<i>Alnus glutinosa</i>			17%	5,11	83%	29,00	**	0,0024
	<i>Prunus spinosa</i>			17%	0,05	58%	4,08	*	0,0180
	<i>Sambucus nigra</i>			8%	0,01	42%	0,14	Tend	0,0522
	<i>Salix cinerea</i>			0%	0,00	25%	1,30	Tend	0,0706
Indifférentes	<i>Fraxinus excelsior</i>			58%	16,93	83%	14,41	NS	0,9067
	<i>Quercus robur</i>			50%	2,57	33%	3,76	NS	0,6037
	<i>Acer campestre</i>	3	X	50%	6,29	67%	11,31	NS	0,3344
	<i>Crataegus monogyna</i>			42%	2,63	67%	3,89	NS	0,3722
Autres espèces	<i>Aesculus hippocastan.</i>			0%	0,00	8%	1,25	NS	0,3173
	<i>Betula pendula</i>			8%	3,77	0%	0,00	NS	0,3173
	<i>Betula pubescens</i>			17%	1,88	25%	5,01	NS	0,5970
	<i>Cornus sanguinea</i>	4		17%	0,02	33%	0,23	NS	0,3202
	<i>Corylus avellana</i>	6	X	58%	7,01	83%	11,34	NS	0,1828
	<i>Crataegus laevigata</i>	5	X	50%	1,39	25%	0,06	NS	0,1512
	<i>Euonymus europaeus</i>	7		17%	0,05	33%	0,03	NS	0,4444
	<i>Ilex aquifolium</i>	(2)		8%	0,01	0%	0,00	NS	0,3173
	<i>Populus tremula</i>			17%	6,46	0%	0,00	NS	0,1486
	<i>Populus x canescens</i>			0%	0,00	8%	1,25	NS	0,3173
	<i>Populus x CV Groupe</i>			8%	0,01	8%	3,13	NS	0,9520
	<i>Prunus avium</i>			0%	0,00	17%	1,26	NS	0,1486
	<i>Rhamnus cathartica</i>	3	X	0%	0,00	8%	0,01	NS	0,3173
	<i>Robinia pseudoacacia</i>			0%	0,00	8%	3,13	NS	0,3173
	<i>Sorbus torminalis</i>	5	X	8%	0,01	0%	0,00	NS	0,3173
	<i>Tilia platyphyllos</i>	(1)		0%	0,00	8%	1,25	NS	0,3173
	<i>Ulmus minor</i>	(2)		0%	0,00	17%	1,88	NS	0,1486
	<i>Viburnum opulus</i>	(2)		0%	0,00	8%	0,04	NS	0,3173

Annexe 4 : Fréquence et surface terrière moyenne des espèces du peuplement forestier en forêt ancienne et récente, d'après les inventaires dendrométriques.

(Cercles concentriques de 4 à 15 m de rayon ; d1,3m de précomptage = 5 cm).

Préférence	Nom latin (Taxref 11)	Stade succession	FA Hermy	FA Dupouey	Fréquence FA	G FA (m²)	Fréquence FR	G FR (m²)	p. Kruskal-Wallis	
Préférence FA	<i>Carpinus betulus</i>	postpionnière			67%	8,01	8%	0,12	**	0,0023
	<i>Populus tremula</i>	pionnière			33%	3,57	0%	0,00	*	0,0329
Préf. FR	<i>Alnus glutinosa</i>	pionnière			17%	2,36	75%	17,15	*	0,0141
Indifférence	<i>Acer campestre</i>	nomade	3	X	25%	1,35	50%	1,89	NS	0,3034
	<i>Corylus avellana</i>	arbuste	6	X	33%	0,51	50%	1,02	NS	0,2453
	<i>Fraxinus excelsior</i>	nomade			58%	8,42	67%	5,91	NS	0,5142
	<i>Quercus robur</i>	nomade			50%	3,58	33%	0,83	NS	0,2086
Autres espèces	<i>Aesculus hippocastanum</i>	postpionnière			0%	0,00	8%	0,30	NS	0,3173
	<i>Betula pendula</i>	pionnière			8%	1,42	0%	0,00	NS	0,3173
	<i>Betula pubescens</i>	pionnière			17%	0,53	8%	0,98	NS	0,6155
	<i>Crataegus laevigata</i>	arbuste	5	X	8%	0,03	0%	0,00	NS	0,3173
	<i>Crataegus monogyna</i>	arbuste			17%	0,26	33%	0,25	NS	0,4031
	<i>Euonymus europaeus</i>	arbuste	7		0%	0,00	8%	0,20	NS	0,3173
	<i>Hedera helix</i>	arbuste			8%	0,06	0%	0,00	NS	0,3173
	<i>Populus x canescens</i>	pionnière			0%	0,00	8%	2,22	NS	0,3173
	<i>Populus x CV Groupe</i>	pionnière			0%	0,00	8%	1,29	NS	0,3173
	<i>Prunus spinosa</i>	arbuste			0%	0,00	17%	0,16	NS	0,1486
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	pionnière			0%	0,00	8%	1,41	NS	0,3173
	<i>Salix alba</i>	pionnière			0%	0,00	8%	0,56	NS	0,3173
	<i>Salix cinerea</i>	arbuste			0%	0,00	8%	0,19	NS	0,3173
	<i>Sambucus nigra</i>	arbuste			0%	0,00	17%	0,15	NS	0,1486
	<i>Ulmus minor</i>	nomade	(2)		0%	0,00	17%	0,22	NS	0,1486

Annexe 5 : Fréquence et couvert moyen des espèces du sous-bois en forêt ancienne et récente, d'après les relevés floristiques. Espèces préférentielles et indifférentes.(200 m², rayon de 8 m, ici individus < 2 m).

Préférence	Nom latin (Taxref 11)	FA Hermy	FA Dupouey	Ligneux	L	F	R	Fréquence FA	Couvert FA (%)	Fréquence FR (%)	Couvert FR (%)	p. Kruskal-Wallis	
Préférence FA	<i>Carpinus betulus</i>			x	4			75%	1,38	17%	0,25	**	0,0053
	<i>Arum maculatum</i>		x		3	7	8	83%	0,62	42%	0,14	*	0,0455
	<i>Carex sylvatica</i>	8	x		2	5	5	33%	0,30	0%	0,00	*	0,0328
	<i>Dryopteris filix-mas</i>	3	x		3	5	6	67%	0,63	25%	0,23	*	0,0311
	<i>Populus tremula</i>			x	6	5		33%	0,67	0%	0,00	*	0,0325
	<i>Hedera helix</i>			x	4	5		100%	12,71	83%	11,92	Tend	0,0971
	<i>Vinca minor</i>	3	x	x	4	5	6	25%	6,46	0%	0,00	Tend	0,0704
Préférence FR	<i>Angelica sylvestris</i>				7	8	4	8%	0,01	58%	1,60	**	0,0079
	<i>Filipendula ulmaria</i>				7	8	5	8%	0,04	67%	3,58	**	0,0024
	<i>Sambucus nigra</i>			x	7	5	9	17%	0,02	67%	0,47	**	0,0051
	<i>Alliaria petiolata</i>				5	5	9	17%	0,25	58%	3,04	*	0,0357
	<i>Caltha palustris</i>				7	9	6	0%	0,00	33%	0,30	*	0,0328
	<i>Prunus spinosa</i>			x	7	4		42%	1,75	83%	2,79	*	0,0468
	<i>Arctium lappa</i>				9	5	9	0%	0,00	25%	0,13	Tend	0,0699
	<i>Carex elongata</i> ^(a)				4	9	6	0%	0,00	25%	0,06	Tend	0,0704
	<i>Chaerophyllum temulum</i>				5	5	8	0%	0,00	25%	0,06	Tend	0,0704
	<i>Circaea lutetiana</i>	4	x		4	6	7	17%	0,42	58%	2,17	Tend	0,0517
	<i>Elymus caninus</i>	3	x		6	6	8	8%	0,04	42%	1,58	Tend	0,0568
	<i>Glechoma hederacea</i>				6	6	7	50%	5,42	83%	11,25	Tend	0,0971
	<i>Iris pseudacorus</i>				7	9	7	0%	0,00	25%	0,03	Tend	0,0699
	<i>Lycopus europaeus</i>				7	9	7	0%	0,00	25%	0,26	Tend	0,0706
	<i>Lysimachia vulgaris</i>				6	8		0%	0,00	25%	0,09	Tend	0,0704
	<i>Veronica officinalis</i>				6	4	4	0%	0,00	25%	0,09	Tend	0,0704
Indifférence	<i>Acer campestre</i>	3	x	x	5	5	6	75%	0,94	67%	2,14	NS	0,9046
	<i>Brachypodium sylvaticum</i>	(2)			3	5	6	33%	0,33	50%	1,59	NS	0,4347
	<i>Carex remota</i>	6	x		3	8		25%	0,46	50%	0,68	NS	0,3004
	<i>Cornus sanguinea</i>	4		x	7	5		25%	0,09	42%	0,18	NS	0,3658
	<i>Corylus avellana</i>	6	x	x	6		5	75%	0,41	83%	0,55	NS	0,2242
	<i>Crataegus laevigata</i>	5	x	x	6	5	5	67%	0,57	50%	0,18	NS	0,3599
	<i>Crataegus monogyna</i>			x	7	4		67%	0,77	75%	1,88	NS	0,5693
	<i>Dryopteris carthusiana</i>	(1)			5		3	50%	0,18	33%	0,67	NS	0,8967
	<i>Euonymus europaeus</i>	7		x	6	5	5	33%	1,88	67%	2,38	NS	0,2309
	<i>Fraxinus excelsior</i>			x	4		7	75%	2,35	100%	1,37	NS	0,7128
	<i>Galeopsis tetrahit</i>				7	5	6	42%	0,31	58%	0,46	NS	0,2837
	<i>Galium aparine</i>				7		8	50%	3,50	75%	3,09	NS	0,2757
	<i>Geranium robertianum</i>				5		7	58%	0,76	50%	0,72	NS	0,7583
	<i>Lamium galeobdolon</i>	9	x		3	5	5	50%	5,42	25%	2,71	NS	0,2858
	<i>Moehringia trinervia</i>				4	5	7	25%	0,29	42%	0,54	NS	0,3862
	<i>Poa nemoralis</i>	(1)	x		5	5	4	50%	1,46	33%	1,54	NS	0,5778
	<i>Poa trivialis</i>				6	7	7	50%	1,79	67%	3,42	NS	0,2740
	<i>Ribes rubrum</i>			x	4	8	6	67%	5,63	75%	14,63	NS	0,2925
	<i>Rosa arvensis</i>			x	5	5	5	42%	0,51	42%	0,34	NS	0,8967
	<i>Rumex sanguineus</i>				4	8	7	25%	0,06	33%	0,47	NS	0,4938
	<i>Stachys sylvatica</i>	4			4	7	7	50%	1,63	67%	0,83	NS	0,4770

Avec :

L : VI de lumière d'Ellenberg.

F : VI d'humidité du sol d'Ellenberg.

N : VI de disponibilité en nutriments (principalement Azote) d'Ellenberg.

^(a) Espèce déterminante ZNIEFF en Bourgogne.

Action 2 : TEST DU CONCEPT DE RIPISYLVE ANCIENNE POUR LA FLORE DES VALLÉES DE PUISAYE

Action portée par **Richard CHEVALIER** (INRAE, UR EFNO, Nogent/Vernisson-45)
richard.chevalier@inrae.fr

En collaboration avec : Frédéric ARCHAUX (INRAE, UR EFNO, Nogent/Vernisson-45)
André EVETTE (INRAE, UR LESSEM, St-Martin-d'Hères-38)

Relevés de terrain : Nadia BARUCH, Noémie BERTRAND, Adélie CHEVALIER,
Richard CHEVALIER, Antoine DELBERGUE, Barthélémy DESSANGES,
Marie GARNIER, Hilaire MARTIN

INTRODUCTION

Le concept de forêt ancienne étant validé dans la fiche Action 1, nous allons maintenant tester celui de ripisylve ancienne, toujours pour la flore vasculaire. A notre connaissance, ce concept n'a jamais été testé. Les espèces de forêt ancienne ont classiquement une faible durée de vie dans la banque de graines du sol et ont de faibles capacités de dissémination dans les forêts en général (Brunet et Von Oheimb, 1998). Leur réinstallation dans les forêts récentes est longue suite à un défrichement, c'est ce constat que nous avons fait à partir d'un échantillon de forêts alluviales anciennes et récentes de Puisaye, dont les portions inventoriées ont été positionnées en respectant une bande d'isolement de 15 à 20 m entre les placettes et la rivière.

Notre hypothèse est que la ripisylve (au sens forêt riveraine = forêt au contact de la rivière) facilite la dissémination des graines d'espèces de forêt ancienne par l'eau (laissées de crues) et bénéficie de l'effet corridor produit par la trame de haies et d'alignements d'arbres particulièrement présents le long des cours d'eau de la zone d'étude.

Sur cette base et en comparant à notre échantillon de forêts anciennes et récentes (cf. Action 1) un échantillon équivalent de ripisylves anciennes et récentes, nous avançons l'hypothèse principale « H1 : les ripisylves anciennes et récentes présentent autant d'espèces de forêt ancienne », telles que définies par Dupouey et al. (2002) et Hermy et al. (1999).

Il en découlerait :

- « H2 : les ripisylves et forêts anciennes présentent autant d'espèces de forêt ancienne » ;
- et « H3 : les ripisylves récentes comptent plus d'espèces de forêt ancienne que les forêts récentes ».

Au cas où les résultats seraient moins tranchés que cela, nous formulons une hypothèse alternative « H4 : l'écart du nombre d'espèces de forêt ancienne entre ripisylve et forêt est plus important en contexte forestier récent qu'ancien ».

A cela, nous rajoutons une hypothèse complémentaire relative à l'écologie du paysage « H5 : la plus-value en espèces de forêt ancienne, pour les ripisylves récentes, s'atténue en s'éloignant des forêts anciennes ».

L'acceptation de ces hypothèses reviendrait à rejeter le concept de ripisylve ancienne en tant que tel, mais mettrait en avant l'intérêt que présenteraient les ripisylves récentes pour compenser ou redynamiser les fonctionnalités de forêt ancienne en paysage de petites vallées.

MÉTHODE

La zone d'étude

Celle-ci est la même que pour l'Action 1 « Validation du concept de forêt ancienne pour la flore des petites vallées de Puisaye ».

La méthode de relevé

Les relevés de végétation utilisés pour cette action sont les mêmes que ceux utilisés pour l'Action 1, auxquels nous avons rajouté leur équivalent directement au contact de la rivière, avec une bande d'isolement de 5 à 10 m entre la placette en forêt ancienne ou récente (FA ou FR) et la ripisylve ancienne ou récente (RA ou RR). Le relevé est réalisé en un seul passage, sur des placettes de 200 m² (cf. Figure 1). Les relevés ont été effectués en juin et juillet des années 2018 et 2019.

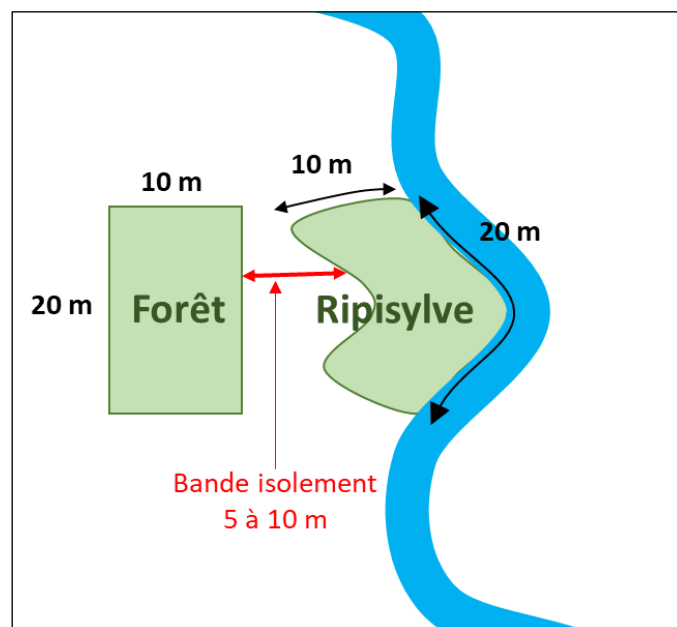


Figure 1 : Agencement des placettes pour la comparaison de la forêt et de la ripisylve.
(Source : communication de C. Le Pichon adapté).

L'inventaire floristique des 24 placettes de ripisylve (12 RA et 12 RR) a été effectué de la même façon que pour les 24 placettes de forêt (cf. Action 1), avec les coefficients d'abondance dominance de Braun-Blanquet (i, +, 1, 2, 3, 4 et 5) transformés ensuite en couverts (0,1 ; 0,5 ; 2,5 ; 15,0 ; 37,5 ; 62,5 et 87,5%), dans 4 strates :

- AA-arborescente haute (ligneux H $\geq$ 16 m),
- A-arborescente moyenne (ligneux H = 8 à 16 m),
- a-arborescente basse (ligneux H = 2 à 8 m),
- h-herbacée (ligneux et herbacées H < 2 m).

Les strates AA, A et a correspondent au **peuplement forestier** et la strate h à la flore du **sous-bois**.

La principale différence pour les placettes de ripisylves est qu'elles n'ont pas fait l'objet d'inventaire dendrométrique ni de sondage pédologique, les conditions étant estimées similaires à celles des placettes forestières proches.

Nous utiliserons les mêmes indices de biodiversité que pour l'Action 1, à savoir la richesse spécifique totale, patrimoniale, et en espèces de forêt ancienne, telles que définies par Dupouey et *al.* (2002) et Hermy et *al.* (1999) et utilisées de la même façon que Chevalier et *al.* (2009) et lors de l'Action 1.

Pour les analyses qui suivent, nous comparerons RA à RR, FA à RA et FR à RR, ce qui nous permettra d'obtenir les résultats nécessaires pour tester les hypothèses formulées en introduction de la présente action.

RÉSULTATS-DISCUSSION

Réalisation de l'échantillonnage (cf. Action 1)

Caractérisation écologique (cf. Action 1)

Caractérisation dendrologique

Nous nous intéressons au peuplement forestier, ici pris en compte uniquement avec le relevé floristique de 200 m², qui permet d'obtenir le couvert de chaque espèce ligneuse et globalisé pour les différentes strates AA, A et a du peuplement forestier.

Au total, ce sont **35 espèces ligneuses dont 18 d'arbres** (pouvant atteindre 15 m de hauteur) qui ont été inventoriées sur les 48 placettes de forêt ou de ripisylve (28 en forêt et 30 en ripisylve), dont 9 indicatrices de forêt ancienne.

Diverses caractéristiques relatives au peuplement forestier sont détaillées en Annexe 1 et pour chaque espèce en Annexe 2. Nous ne reprendrons ici que les principaux résultats.

Comparaison entre ripisylve ancienne (RA) et récente (RR)

Quatre de nos dix indices obtiennent des différences significatives (cf. Annexe 1), toujours à l'avantage de RR. Ainsi RR présente une plus grande richesse spécifique (RS) en espèces ligneuses toutes strates confondues (9,3 contre 6,8 pour RA ; *** $p=0,0005$), en grande partie attribuable à la strate arborescente inférieure a (6,8 contre 4,8 ; * $p=0,0100$). Nous retrouvons aussi cet avantage de RR pour le couvert de la strate a (27 % contre 12 % ; ** $p=0,0022$). Pour les espèces indicatrices de forêt ancienne, nous en trouvons étrangement un plus grand nombre pour RR (3,3 en moyenne contre 1,9 pour RA ; ** $p=0,0030$).

L'Annexe 2a présente les résultats par espèce, l'ensemble des relevés RR compte 27 espèces contre seulement 20 espèces pour RA. Les 8 espèces indicatrices de forêt ancienne sont rencontrées sur l'ensemble des relevés RR contre seulement 5 pour RA. Parmi les 10 espèces préférentielles de l'une ou l'autre modalité, 4 sont indicatrices de forêt ancienne, 1 seule est préférentielle de RA (*Crataegus laevigata*), les 3 autres l'étant pour RR (*Corylus avellana*, *Cornus sanguinea* et *Malus sylvestris*).

Ces résultats montrent que **les ripisylves récentes sont particulièrement propices à l'expression de la biodiversité ligneuse structurante du peuplement forestier, y compris pour les espèces habituellement identifiées comme indicatrices de forêt ancienne**, ce qui est assez déroutant.

Ces résultats contrastent avec ceux obtenus lors de la comparaison des forêts anciennes et récentes (cf. Action 1) qui présentaient moins de différences et qui impliquaient moins les espèces de forêt ancienne.

Comparaison entre forêt ancienne (FA) et ripisylve ancienne (RA)

Les Annexes 1 et 2b révèlent peu de différences entre FA et RA, juste une tendance à un couvert forestier total plus élevé pour RA (84 % contre 77 % ; Tend $p=0,0733$).

23 espèces sont rencontrées sur l'ensemble des relevés, dont 19 en FA et 20 en RA. Aucune espèce n'est préférentielle. Sur les 7 espèces indicatrices de forêt ancienne, 6 sont rencontrées sur l'ensemble des relevés de FA et 5 pour ceux de RA. Trois d'entre-elles sont indifférentes (*Acer campestre*, *Corylus avellana*, *Crataegus laevigata*).

Les forêts anciennes et les ripisylves anciennes présentent donc des caractéristiques dendrologiques très proches.

Comparaison entre forêt récente (FR) et ripisylve récente (RR)

L'Annexe 1 relative aux caractéristiques dendrologiques ne révèle aucune différence significative.

31 espèces sont rencontrées sur l'ensemble des relevés (cf. Annexe 2c), dont 24 en FR et 27 en RR. Sur les 8 espèces indicatrices de forêt ancienne, toutes sont rencontrées dans l'ensemble RR contre 6 pour FR. Deux espèces de forêt ancienne sont préférentielles de RR (*Euonymus europaeus* et *Malus sylvestris*).

La biodiversité dendrologique des ripisylves récentes (RR), présente une très légère plus-value par rapport à FR, y compris pour les espèces indicatrices de forêt ancienne.

Il ressort des 3 comparaisons effectuées (RA/RR, FA/RA et FR/RR) que **les ripisylves récentes présentent des atouts intéressants pour la biodiversité dendrologique y compris pour sa composante habituellement rencontrée en forêt ancienne**, alors que les ripisylves anciennes ne présentent pas d'avantages particuliers par rapport aux forêts anciennes un peu à l'écart de la rivière.

Flore du sous-bois, richesse globale

Nous nous intéressons ici à la flore vasculaire du sous-bois (strate $h < 2$ m, y compris ligneux) sous l'angle de la richesse spécifique globale (ou gamma = cumul des relevés de chaque modalité). Le Tableau 1 présente l'ensemble des résultats des différentes comparaisons utiles pour tester nos hypothèses, à savoir RA/RR, FA/RA et FR/RR, ainsi que FA/FR (pour référence) déjà décrit dans la fiche Action 1.

Au total, 191 espèces ont été inventoriées dans les 48 placettes.

Par rapport à la comparaison entre forêt ancienne et récente, les différences entre ripisylve ancienne et récente sont moins marquées, en particulier pour les espèces indicatrices de forêt ancienne. **Nous pouvons déjà interpréter cela comme une meilleure circulation des espèces de forêt ancienne dans les ripisylves et en particulier dans RR.** Rappelons toutefois que les espèces de forêt ancienne ne sont jamais totalement absentes des forêts récentes, la différence se faisant plutôt sur la fréquence (Dupouey et al., 2002) et ce n'est donc pas à l'échelle gamma que nous attendions

une différence marquée. Chevalier et al. (2009) n'avaient d'ailleurs trouvé aucune différence significative ni tendance entre FA et FR pour les grandes vallées de Champagne.

La comparaison FR/RR ne révèle aucune tendance (ici $p \leq 0,10$) et la comparaison RA/FA met en avant la plus forte richesse spécifique de RA (136 contre 102) et une différence hautement significative pour l'originalité à l'avantage de RA (48 espèces contre 14, *** $p=0,0002$) qui ne s'exerce pas sur les espèces de forêt ancienne.

Enfin, nous confirmons que les espèces patrimoniales sont exclusivement rencontrées en contexte forestier récent. Aux 4 espèces déjà signalées en forêt récente pour l'Action 1 (*Osmunda regalis*, *Carex canescens*, *Carex elongata* et *Galanthus nivalis*), RR permet de rajouter le cassis (*Ribes nigrum* ; espèce quasi menacée en liste rouge et déterminante ZNIEFF).

Tableau 1 : Richesse globale totale, patrimoniale et de différents groupes d'espèces indicatrices de forêt ancienne, pour les comparaisons FA/FR, RA/RR, FA/RA et FR/RR concernant la flore du sous-bois.

(Relevé floristique sur 200 m², rayon de 8 m, strate h ≤ 2 m).

	FA/FR			RA/RR			FA/RA			FR/RR		
	FA	FR	FA & FR	RA	RR	RA & RR	FA	RA	FA & RA	FR	RR	FR & RR
Effectifs (n)	12	12	24	12	12	24	12	12	24	12	12	24
RS Totale	102	122	151	136	133	171	102	136	150	122	133	154
RS Originale Totale	29 Tend (p=0,0693)	49 Tend (p=0,0693)	/	38	35	/	14 *** (p=0,0002)	48 *** (p=0,0002)	/	21	32	/
RS Patrimoniale	0	4	4	0	4	4	0	0	0	4	4	5
RS FA Dupouey	32	24	33	34	25	37	32	34	37	24	25	28
RS Originale FA Dupouey	9 * (p=0,0322)	1 * (p=0,0322)	/	12 Tend (p=0,0683)	3 Tend (p=0,0683)	/	3	5	/	3	4	/
RS FA Hermé 1	39	32	43	40	36	47	39	40	45	32	36	40
RS Originale FA Hermé 1	11	4	/	11	7	/	5	6	/	4	8	/
RS FA Hermé 3	30	22	31	31	26	35	30	31	34	22	26	28
RS Originale FA Hermé 3	9 * (p=0,0316)	1 * (p=0,0316)	/	9	4	/	3	4	/	2	6	/
RS FA Hermé 5	17	11	17	19	14	20	17	19	19	11	14	15
RS Originale FA Hermé 5	6 Tend (p=0,0549)	0 Tend (p=0,0549)	/	6	1	/	0	2	/	1	4	/

Avec comparaison de proportions 2 à 2, test de probabilité exacte de Fisher : *** : $p \leq 0,001$; ** : $p \leq 0,01$; * : $p \leq 0,05$; Tend : $p \leq 0,10$.

Flore du sous-bois, richesse locale

Toujours pour la flore vasculaire du sous-bois, nous passons ici à la richesse spécifique locale (ou alpha = moyenne des relevés de chaque modalité FA, FR, RR ou RA). Le Tableau 2 présente l'ensemble des résultats des différentes comparaisons utiles pour tester nos hypothèses, à savoir RA/RR, FA/RA et FR/RR, ainsi que FA/FR (pour référence) déjà décrit dans la fiche Action 1.

Par rapport à la comparaison entre forêt ancienne et récente, nous retrouvons des résultats assez similaires pour la comparaison entre ripisylve ancienne et récente. Ceci concerne notamment la différence significative de RS en espèces patrimoniales au profit de RR (0,5 espèce par relevé contre aucune pour RA). Nous observons aussi une plus forte richesse en espèces de forêt ancienne à l'avantage de RA comme c'était aussi le cas pour FA dans la fiche Action 1, mais les indices qui répondent le mieux ne sont pas les mêmes. Lors de la comparaison FA/FR, c'était RS FA Dupouey qui discriminait le mieux les deux modalités, alors que pour la comparaison RA/RR, c'est RS FA Hermé 5, plus sélectif sur les espèces, qui discrimine le mieux RA de RR. **A ce stade le concept de ripisylve ancienne est validé.**

Concernant la comparaison FA/RA, nous observons des différences significatives, toujours à l'avantage de RA, pour la richesse totale (39 espèces par relevé contre 29 pour FA) ainsi que pour la richesse en espèces indicatrices de forêt ancienne, avec les indices Hermé 3 et Hermé 5 (8,6 contre 5,6 espèces pour FA).

Pour la comparaison entre FR/RR, nous observons les mêmes tendances mais un plus grand nombre d'indices de forêt ancienne réagissent significativement.

Tableau 2 : Richesse locale totale, patrimoniale, de différents groupes d'espèces indicatrices de forêt ancienne et VI d'Ellenberg pour les comparaisons FA/FR, RA/RR, FA/FA et FR/RR concernant la flore du sous-bois. (Relevé floristique sur 200 m², rayon de 8 m, strate h ≤ 2 m).

	FA/FR			RA/RR			FA/RA			FR/RR		
	FA	FR	P Anova	RA	RR	P Anova	FA	RA	P Anova	FR	RR	P Anova
<i>Effectifs (n)</i>	12	12	24	12	12	24	12	12	24	12	12	24
VI L Lumière	5,01	5,53	** (p=0,0010)	5,22	5,46	NS	5,01	5,22	NS	5,53	5,46	NS
VI F Humidité du sol	5,61	6,14	* (p=0,0201)	5,70	6,03	Tend (p=0,0512)	5,61	5,70	NS	6,14	6,03	NS
VI R Réaction du sol	6,31	6,62	Tend (p=0,0957)	6,42	6,67	* (p=0,0355)	6,31	6,42	NS	6,62	6,67	NS ⁽¹⁾
VI N Nutriments	5,87	6,26	* (p=0,0347)	5,98	6,37	* (p=0,0277)	5,87	5,98	NS	6,26	6,37	NS
Couvert h<2m (%)	64,6	63,8	NS	58,3	63,8	NS ⁽¹⁾	64,6	58,3	NS ⁽¹⁾	63,8	63,8	NS
RS Totale	28,4	35,0	NS	39,4	43,8	NS	28,4	39,4	* (p=0,0171)	35,0	43,8	Tend (p=0,0700)
RS Patrimoniale	0,00	0,50	* ⁽¹⁾ (p=0,0327)	0,00	0,50	* ⁽¹⁾ (p=0,0325)	0,00	0,00	NS	0,50	0,50	NS
RS FA Dupouey	9,83	6,75	* ⁽¹⁾ (p=0,0466)	12,42	9,58	NS	9,83	12,42	NS	6,75	9,58	* (p=0,0196)
RS FA Hermey 1	11,75	10,00	NS	15,17	14,00	NS	11,75	15,17	Tend (p=0,0582)	10,00	14,00	** (p=0,0089)
RS FA Hermey 3	9,00	7,33	NS	12,33	10,42	NS	9,00	12,33	* (p=0,0274)	7,33	10,42	* (p=0,0125)
RS FA Hermey 5	5,58	3,50	Tend (p=0,0782)	8,58	5,58	** (p=0,0062)	5,58	8,58	* (p=0,0191)	3,50	5,58	* (p=0,0339)
RS FA Hermey 7	3,42	1,58	Tend (p=0,0610)	4,83	2,83	* (p=0,0150)	3,42	4,83	NS	1,58	2,83	Tend (p=0,0877)

⁽¹⁾ Test non paramétrique de du Kruskal-Wallis à la place de l'Anova car trop forte hétérogénéité des variances.

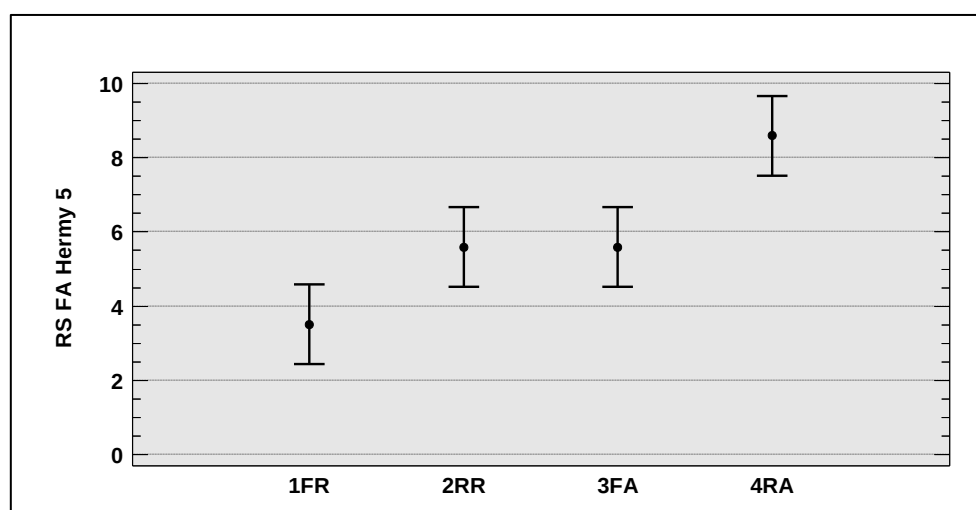


Figure 2 : Progression du nombre d'espèces indicatrices de forêt ancienne (indice Hermey 5) en passant de FR, à RR, à FA et à RR.

(ANOVA *** p=0,0003, moyennes et intervalles de confiance à 95 % de Fisher LSD).

Pour les quatre comparaisons effectuées dans le Tableau 2, il semblerait que ce soit l'indice RS FA Hermey 5 qui soit le plus consensuel. En utilisant cet indice, la Figure 2 présente la comparaison des 4 modalités FR, RR, FA et RA. Ainsi, nous visualisons que RR compte plus d'espèces de forêt ancienne que FR et se hisse au niveau de FA, alors que RA se situe nettement au-dessus. Cela montre que **(1) ce sont les ripisylves anciennes qui constituent les meilleurs réservoirs d'espèces de forêt ancienne** et **(2) les ripisylves récentes ont un potentiel intéressant pour améliorer la connectivité des éléments de forêt ancienne éparpillés dans la vallée**. Nous rappelons cependant que nous avons mis en évidence ces résultats sur une faible largeur, latéralement à la rivière (0 à 10 m de la rivière pour les ripisylves et 15-20 à 25-30 m pour les forêts), ce qui limite leur généralisation à des distances plus importantes.

Flore du sous-bois, étude de la composition floristique

Toujours pour la flore vasculaire du sous-bois, nous étudions maintenant la fréquence/abondance de chaque espèce. L'Annexe 3 présente les résultats, pour les données de comparaison entre RA et RR (Annexe 3a), entre FA et RA (Annexe 3b) et entre FR et RR (Annexe 3c). Nous renvoyons à l'Annexe 5 de l'Action 1 pour la comparaison entre FA et FR. Ces annexes ne présentent les résultats que pour les espèces préférentielles (différence significative ou tendance si $p \leq 0,10$) et les espèces que nous estimons indifférentes (présentes dans au moins 20 % des relevés de FA et de FR, avec $p \geq 0,20$). La figure 3 présente, pour les 4 comparaisons effectuées 2 à 2, le nombre d'espèces préférentielles total (en orange) et des indicatrices de forêt ancienne (Dupouey ou Hermy ≥ 3 , en vert) par modalité.

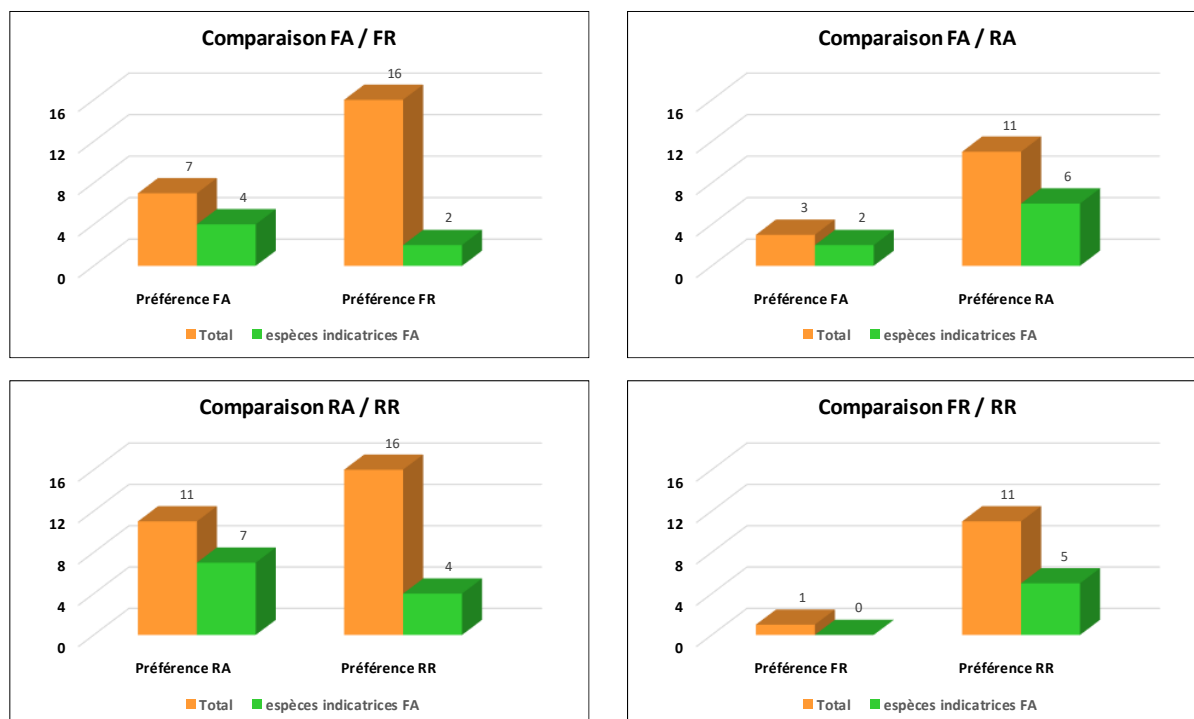


Figure 3 : Nombre d'espèces préférentielles total (en orange) et des indicatrices de forêt ancienne (Dupouey ou Hermy ≥ 3 , en vert) par modalité, pour les comparaisons deux à deux FA/FR, FA/RA, RA/RR et FR/RR.

Les résultats confirment ceux précédemment obtenus pour la flore du sous-bois ainsi que leur interprétation, à savoir :

- (1) la validation du concept de ripisylve ancienne car RA compte plus d'espèces préférentielles indicatrices de forêt ancienne que RR ;
- (2) aussi bien en contexte de forêt ancienne que récente, les ripisylves comptent plus d'espèces préférentielles de forêt ancienne que leur équivalent en forêt ;
- (3) les espèces préférentielles sont quasi-exclusives à la ripisylve en contexte de forêt récente.

Flore du sous-bois, plus-value des ripisylves récentes en fonction du paysage

Pour tester l'hypothèse « H5 : la plus-value en espèces de forêt ancienne, pour les ripisylves récentes, s'atténue en s'éloignant des forêts anciennes », nous avons recherché une corrélation entre la richesse en espèces de forêt ancienne (ici Hermy 5) et divers indices paysagers relatifs à la distance ou à la proportion de la forêt ancienne actuelle ou passée dans le paysage.

Nous ne disposons que de 12 sites en contexte de forêt récente, ce qui limite les possibilités de prise en compte de l'effet paysage, d'autant plus que cet aspect n'a pas guidé l'échantillonnage. Afin d'explorer à la fois la connectivité longitudinale (le long de la vallée) et latérale (distance à la rivière) nous avons rajouté aux 12 placettes de FR et aux 12 placette RR, 12 placettes BR réalisées sur une bande étroite de ripisylve de berge (2,5 m x 60 m = 150 m²) commune pour 1/3 de sa surface avec la placette RR correspondante (20 m x 10 m). Suite à quelques analyses, c'est la distance à la forêt ancienne alluviale contemporaine la plus proche, comprise entre 51 m et 7800 m, qui produit le meilleur résultat.

Le Tableau 3 présente les résultats de régression entre RS Hermy 5 et la distance à la lisière de la forêt ancienne la plus proche le long de la vallée. Seul l'ajustement avec BR est significatif (***) $p < 0,0001$ avec un R^2 de 89 %. La courbe d'ajustement figure en Annexe 4.

En contexte forestier récent, la distance à la forêt ancienne la plus proche conditionne la richesse en espèces indicatrices de forêt ancienne, mais ce mécanisme ne concerne que la partie étroite de la berge (BR) puisque non perceptible sur les placettes FR et RR. Nous avons aussi cherché à ne considérer que la distance amont à la forêt ancienne mais cela n'améliore pas le modèle, probablement du fait que l'échantillonnage est réduit et donne beaucoup de poids aux placettes situées à moins d'un km d'une forêt alluviale ancienne.

Cela montre l'intérêt et l'utilité des bandes boisées de bordure de rivière, en tant que corridor écologique favorisant la circulation de la biodiversité (ici de la flore des forêts anciennes).

Tableau 3 : Régression simple entre RS Hermy 5 et la distance à la forêt ancienne la plus proche le long de la vallée, depuis le centre de nos placettes de forêt récente (FR), ripisylve récente (RR) et berge récente (BR).

	FR	RR	BR
Effectifs (n)	12	12	12
Modèle le plus performant	Y carré, réciproque X	Y carré, X carré	Réciproque Y, X carré
R-carré	21,49%	22,99%	89,46%
Probabilité	NS (0,1290)	NS (0,1147)	*** (< 0,0001)
Équation	$RS\ Hermy\ 5 = \sqrt{10,891 + 1033,69/Dist\ FA}$	$RS\ Hermy\ 5 = \sqrt{45,5573 - 6,87446E-7 * Dist\ FA^2}$	$RS\ Hermy\ 5 = 1/(0,136419 + 5,47741E-9 * Dist\ FA^2)$

CONCLUSION-PERSPECTIVES

Nous pouvons maintenant nous prononcer par rapport aux hypothèses formulées en introduction de cette fiche-action. Nous précisons que c'est principalement vis-à-vis de la flore du sous-bois ($h \leq 2\ m$) et à l'échelle locale (moyenne des 12 relevés de chaque modalité) que nous les prenons en compte. En premier lieu, nous rejetons « H1 : les ripisylves anciennes et récentes présentent autant d'espèces de forêt ancienne », ce qui nous conduit à admettre que **le concept de ripisylve ancienne s'exerce au même titre que celui de forêt ancienne**.

Aussi bien en contexte forestier ancien que récent, les ripisylves comptent plus d'espèces indicatrices de forêt ancienne en comparaison de leur homologue forestier, ce qui revient à rejeter l'hypothèse « H2 : les ripisylves et forêts anciennes présentent autant d'espèces de forêts anciennes » et à accepter « H3 : les ripisylves récentes comptent plus d'espèces de forêt ancienne que les forêts récentes ». Les écarts de richesse en espèces de forêt ancienne entre RA et FA, et entre RR et FR, étant du même ordre de grandeur, nous rejetons l'hypothèse « H4 : l'écart du nombre d'espèces de forêt ancienne entre ripisylve et forêt est plus important en contexte forestier récent qu'ancien ».

Enfin, concernant « H5 : **la plus-value en espèces de forêt ancienne, pour les ripisylves récentes, s'atténue en s'éloignant des forêts anciennes** », nous ne pouvons pas l'accepter telle-quelle car ce n'est pas au niveau de la ripisylve (placettes RR) que **nous observons ce mécanisme mais seulement sur une faible bande boisée au contact de la rivière** (ici 2,50 m, placettes BR).

Malgré une faible pression d'échantillonnage, nos investigations sur les ripisylves permettent de mieux comprendre l'agencement spatial des espèces indicatrices de forêt ancienne dans les petites vallées de Puisaye. **Il est indéniable que, plus on s'approche de la rivière, plus la richesse spécifique totale est élevée et comme les autres espèces, celles de forêt ancienne en profitent**. L'effet bénéfique de la ripisylve pour les espèces de forêt ancienne a cependant une faible portée latérale, et il est probable que les espèces de forêt ancienne auraient été moins fréquentes/abondantes dans nos placettes FA si nous les avions positionnées plus loin de la rivière et ou sur des forêts non attenantes à la rivière. Cela pourrait aussi expliquer que la richesse en espèces de forêt ancienne est plus faible dans les grandes vallées de Champagne (cf. Chevalier et al., 2009 et fiche Action 1). Une analyse complémentaire sur les relevés de champagne, intégrant la distance à la rivière, mériterait d'être tentée pour tester cette hypothèse.

Les **mécanismes mis en avant** relèvent de trois aspects **(1) la proximité de l'eau favorise la mosaïque-hétérogénéité d'habitats**, ce qui multiplie les niches propices à la richesse spécifique **(2) la rivière favorise la dissémination des propagules** et **(3) les linéaires rivulaires boisés, non cartographiés sur les cartes anciennes d'État-major, ont pu jouer un rôle de refuge/corridor pour les espèces de forêt ancienne** lors et suite à des défrichements.

Ces trois aspects (biotopique, biologique et historique) ont pu jouer de façon simultanée, conduisant à **considérer les cordons rivulaires boisés comme des éléments importants de la trame verte et bleue**.

Une étude plus détaillée de la composition floristique des différentes modalités, en intégrant davantage les exigences écologiques et les traits de dispersion/recrutement de chaque espèce, permettrait d'aller plus loin dans le détail des mécanismes, mais il est probable que notre échantillonnage soit un peu faible pour cela. Les perspectives sont donc à la fois de continuer les analyses de données pour des valorisations scientifiques ultérieures et de compléter l'échantillon de terrain dans des vallées similaires pour disposer d'une plus forte puissance statistique.

En dehors du concept de forêt et ripisylve ancienne, nous avons aussi mis en évidence l'intérêt des forêts subnaturelles (= de composition dendrologique spontanée) récentes pour leur contribution à la diversité des écosystèmes, et en particulier sur les stations les plus humides qui hébergent une flore patrimoniale relevant de divers statuts (espèces protégées, en liste rouge ou déterminantes ZNIEFF en région). De plus, les cortèges dendrologiques des ripisylves récentes sont particulièrement riches et dynamiques.

L'ensemble de ces résultats donne un sens concret au concept assez théorique de trame turquoise, associant la trame verte et la trame bleue qui, en interagissant, favoriseraient la biodiversité au-delà de la simple somme des deux composantes ($1 + 1 > 2$).

Nos résultats, avec ceux de l'Action 1 (relative à la validation de concept de forêt ancienne dans les petites vallées), nous permettent de proposer une stratégie pour optimiser la biodiversité floristique et tout particulièrement la composante de forêt ancienne dans les vallées de Puisaye. Pour cela nous établissons une différence entre préserver (maintenir l'état le plus naturel possible), conserver (exploitation de bois possible mais subordonnée à la recherche d'un bon état écologique) et gérer durablement (objectif de production affiché en préservant du mieux possible les fonctions écologiques).

Nous proposons, avec les ordres de priorité (1), (2) et (3), de :

- (1) Préserver les ripisylves anciennes qui constituent le meilleur réservoir en espèces de forêt ancienne.
- (1) Préserver les ripisylves et forêts récentes les plus humides, qui ont une valeur patrimoniale conséquente et qui sont menacées d'assèchement avec le changement climatique et la surexploitation de la ressource en eau.
- (2) Gérer durablement les forêts anciennes en respectant la composition dendrologique naturelle.
- (2) Conserver les ripisylves récentes connectées ou proches des ripisylves et forêts anciennes (distance à préciser, inférieure à 1 ou 2 km à la vue de l'Annexe 4).
- (3) Créer et gérer durablement des ripisylves et boisements pour rétablir la connexion entre les éléments de ripisylve précédents et/ou de forêt ancienne.

Pour avoir une idée de l'ampleur et la localisation des actions qui seraient à mener, il est important de disposer en premier lieu de la carte des forêts et ripisylves anciennes. Ce travail est l'objet de la fiche Action 3 : Cartographie des forêts anciennes des vallées de Puisaye.

BIBLIOGRAPHIE

BRUNET J. et VON OHEIMB G. 1998 – Migration of vascular plants to secondary woodlands in southern Sweden. *Journal of Ecology*, 86 : 429-438.

CHEVALIER R., BERTHELOT A., CARNNOT-MILARD L., DUPREZ M., GALLAND M., GAUDIN S. et PERRIER C. 2009 – La Flore des forêts anciennes. Validité et utilité pour la conservation des forêts alluviales de Champagne. *Symbioses*, Nouvelle série, 24 : 4-12.

DUPOUEY J.L., SCIAMA D., KOERNER W., DAMBRINE E. et RAMEAU J.C. 2002 – La Végétation des forêts anciennes. *Revue forestière française*, LIV (6) : 521-532.

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 : 9-22.

Annexe 1 : Comparaison des caractéristiques dendrologiques entre ripisylves anciennes (RA) et récentes (RR), entre forêts anciennes (FA) et ripisylves anciennes (RA) et entre forêts récentes (FR) et ripisylves récentes (RR).

(Relevé floristique sur 200 m², rayon de 8 m, ici individus ≥ 2 m).

Catég.	Facteur	RA	RR	P Anova	FA	RA	P Anova	FR	RR	P Anova
Effectifs (n)		12	12	/	12	12	/	12	12	/
Couvert (%)	Toutes str. ≥ 2 m	83,8 %	81,3 %	NS	76,7 %	83,8 %	Tend (0,0733)	77,9 %	81,3 %	NS
	AA (≥ 16 m)	56,3 %	52,1 %	NS	55,8 %	56,3 %	NS	55,0 %	52,1 %	NS
	A (8 à 16 m)	25,8 %	24,2 %	NS	20,8 %	25,8 %	NS	16,4 %	24,2 %	NS
	a (2 à 8 m)	12,1 %	26,7 %	** (0,0022)	14,4 %	12,1 %	NS	20,8 %	26,7 %	NS
	Esp. for. Anc. ⁽²⁾	17,4 %	30,7 %	NS	14,8 %	17,4 %	NS	23,0 %	30,7 %	NS ⁽¹⁾
Richesse spécifique RS	Toutes str. ≥ 2 m	6,83	9,33	*** (0,0005)	6,33	6,83	NS	8,42	9,33	NS ⁽¹⁾
	AA (≥ 16 m)	3,33	2,92	NS	2,67	3,33	NS	2,83	2,92	NS
	A (8 à 16 m)	2,58	3,17	NS	2,50	2,58	NS	2,67	3,17	NS
	a (2 à 8 m)	4,75	6,75	* (0,0100)	5,00	4,75	NS	5,58	6,75	NS
	Esp. for. Anc. ⁽²⁾	1,92	3,25	** (0,0030)	2,00	1,92	NS	2,50	3,25	NS

⁽¹⁾ Test non paramétrique de Kruskal-Wallis à la place de l'Anova car trop forte hétérogénéité des variances.

⁽²⁾ Espèces de forêt ancienne listées par Dupouey et al. (2002) ou Hermy et al. (1999) avec $n \geq 3$.

Annexe 2a : Fréquence et couvert moyen des espèces du peuplement forestier en ripisylve ancienne (RA) et récente (RR), d'après les relevés floristiques.

(Relevé floristique sur 200 m², rayon de 8 m, ici individus ≥ 2 m).

Préférence	Nom latin (Taxref 11)	FA Dupouey	FA Hermey	Fréquence RA	Couvert RA (%)	Fréquence RR	Couvert RR (%)	p. Kruskal-Wallis	
Préférence RA	<i>Carpinus betulus</i>			83%	38,97	33%	2,55	* *	0,0016
	<i>Crataegus laevigata</i>	5	x	67%	2,65	25%	1,30	Tend	0,0663
	<i>Hedera helix</i>			92%	3,05	75%	0,89	Tend	0,0968
	<i>Populus tremula</i>			25%	3,75	0%	0,00	Tend	0,0699
Préférence RR	<i>Corylus avellana</i>	6	x	58%	5,68	100%	15,75	* *	0,0094
	<i>Cornus sanguinea</i>	4		0%	0,00	42%	0,04	*	0,0139
	<i>Crataegus monogyna</i>			33%	2,55	83%	5,18	*	0,0334
	<i>Alnus glutinosa</i>			58%	10,03	83%	24,41	Tend	0,0663
	<i>Malus sylvestris</i>	3		0%	0,00	25%	2,51	Tend	0,0704
	<i>Sambucus nigra</i>			17%	0,05	58%	1,33	Tend	0,0517
Indifférentes	<i>Acer campestre</i>	3	x	33%	8,78	58%	9,47	NS	0,4886
	<i>Quercus robur</i>			42%	8,79	33%	6,26	NS	0,6411
Autres espèces	<i>Acer pseudoplatanus</i>		x	0%	0,00	8%	0,01	NS	0,3173
	<i>Betula pendula</i>			8%	1,29	0%	0,00	NS	0,3173
	<i>Betula pubescens</i>			8%	1,27	8%	1,88	NS	0,9520
	<i>Euonymus europaeus</i>	7		25%	0,29	58%	1,63	NS	0,1343
	<i>Fraxinus excelsior</i>			75%	15,03	100%	21,94	NS	0,1972
	<i>Ligustrum vulgare</i>			0%	0,00	8%	0,01	NS	0,3173
	<i>Parthenocissus inserta</i>			0%	0,00	8%	1,25	NS	0,3173
	<i>Populus x CV Groupe</i>			8%	0,01	0%	0,00	NS	0,3173
	<i>Prunus avium</i>			8%	0,01	17%	1,26	NS	0,5136
	<i>Prunus spinosa</i>			17%	0,08	33%	1,51	NS	0,3231
	<i>Prunus x CV Groupe</i>			0%	0,00	8%	0,01	NS	0,3173
	<i>Rhamnus cathartica</i>	3	x	8%	0,01	8%	0,01	NS	1,0000
	<i>Robinia pseudoacacia</i>			0%	0,00	8%	0,01	NS	0,3173
	<i>Rosa canina</i>			8%	0,01	8%	0,01	NS	1,0000
	<i>Salix alba</i>			0%	0,00	8%	0,01	NS	0,3173
	<i>Salix cinerea</i>			0%	0,00	8%	1,88	NS	0,3173
	<i>Ulmus minor</i>	(2)		8%	1,88	17%	0,05	NS	0,6155
	<i>Viburnum opulus</i>	(2)		0%	0,00	8%	0,04	NS	0,3173

Annexe 2b : Fréquence et couvert moyen des espèces du peuplement forestier en forêt ancienne (FA) et ripisylve ancienne (RA), d'après les relevés floristiques.(Relevé floristique sur 200 m², rayon de 8 m, ici individus ≥ 2 m).

Préférence	Nom latin (Taxref 11)	FA Dupouey	FA Hermys	Fréquence FA	Couvert FA (%)	Fréquence RA	Couvert RA (%)	p. Kruskal-Wallis	
Indifférentes	<i>Acer campestre</i>	3	x	50%	6,29	33%	8,78	NS	0,8465
	<i>Carpinus betulus</i>			92%	35,14	83%	38,97	NS	0,7719
	<i>Corylus avellana</i>	6	x	58%	7,01	58%	5,68	NS	0,9040
	<i>Crataegus laevigata</i>	5	x	50%	1,39	67%	2,65	NS	0,4475
	<i>Crataegus monogyna</i>			42%	2,63	33%	2,55	NS	0,6643
	<i>Fraxinus excelsior</i>			58%	16,93	75%	15,03	NS	0,9060
	<i>Hedera helix</i>			92%	1,90	92%	3,05	NS	0,6817
	<i>Quercus robur</i>			50%	2,57	42%	8,79	NS	0,7763
Autres espèces	<i>Alnus glutinosa</i>			17%	5,11	58%	10,03	NS	0,1101
	<i>Betula pendula</i>			8%	3,77	8%	1,29	NS	0,9520
	<i>Betula pubescens</i>			17%	1,88	8%	1,27	NS	0,5468
	<i>Cornus sanguinea</i>	4		17%	0,02	0%	0,00	NS	0,1482
	<i>Euonymus europaeus</i>	7		17%	0,05	25%	0,29	NS	0,5147
	<i>Ilex aquifolium</i>	(2)		8%	0,01	0%	0,00	NS	0,3173
	<i>Populus tremula</i>			17%	6,46	25%	3,75	NS	0,7133
	<i>Populus x CV Groupe</i>			8%	0,01	8%	0,01	NS	1,0000
	<i>Prunus avium</i>			0%	0,00	8%	0,01	NS	0,3173
	<i>Prunus spinosa</i>			17%	0,05	17%	0,08	NS	0,9290
	<i>Rhamnus cathartica</i>	3	x	0%	0,00	8%	0,01	NS	0,3173
	<i>Rosa canina</i>			0%	0,00	8%	0,01	NS	0,3173
	<i>Sambucus nigra</i>			8%	0,01	17%	0,05	NS	0,5136
	<i>Sorbus torminalis</i>	5	x	8%	0,01	0%	0,00	NS	0,3173
	<i>Ulmus minor</i>	(2)		0%	0,00	8%	1,88	NS	0,3173

Action 2 : Test du concept de ripisylve ancienne pour la flore des vallées de Puisaye

Annexe 2c : Fréquence et couvert moyen des espèces du peuplement forestier en forêt récente (FR) et ripisylve récente (RR), d'après les relevés floristiques.

(Relevé floristique sur 200 m², rayon de 8 m, ici individus ≥ 2 m).

Préférence	Nom latin (Taxref 11)	FA Dupouey	FA Hermé	Fréquence FR	Couvert FR (%)	Fréquence RR	Couvert RR (%)	p. Kruskal-Wallis	
Préférence RR	<i>Euonymus europ.</i>	7		33%	0,03	58%	1,63	Tend	0,0571
	<i>Malus sylvestris</i>	3		0%	0,00	25%	2,51	Tend	0,0704
Indifférentes	<i>Acer campestre</i>	3	x	67%	11,31	58%	9,47	NS	0,5520
	<i>Alnus glutinosa</i>			83%	29,00	83%	24,41	NS	0,5408
	<i>Carpinus betulus</i>			33%	4,40	33%	2,55	NS	0,8364
	<i>Cornus sanguinea</i>	4		33%	0,23	42%	0,04	NS	0,8118
	<i>Crataegus laevigata</i>	5	x	25%	0,06	25%	1,30	NS	0,8791
	<i>Crataegus monogyna</i>			67%	3,89	83%	5,18	NS	0,4024
	<i>Hedera helix</i>			58%	0,76	75%	0,89	NS	0,4419
	<i>Quercus robur</i>			33%	3,76	33%	6,26	NS	0,9173
	<i>Sambucus nigra</i>			42%	0,14	58%	1,33	NS	0,6158
Autres espèces	<i>Acer pseudoplatanus</i>		x	0%	0,00	8%	0,01	NS	0,3173
	<i>Aesculus hippocastan.</i>			8%	1,25	0%	0,00	NS	0,3173
	<i>Betula pubescens</i>			25%	5,01	8%	1,88	NS	0,3066
	<i>Corylus avellana</i>	6	x	83%	11,34	100%	15,75	NS	0,1788
	<i>Fraxinus excelsior</i>			83%	14,41	100%	21,94	NS	0,1511
	<i>Ligustrum vulgare</i>			0%	0,00	8%	0,01	NS	0,3173
	<i>Parthenocissus inserta</i>			0%	0,00	8%	1,25	NS	0,3173
	<i>Populus x canescens</i>			8%	1,25	0%	0,00	NS	0,3173
	<i>Populus x CV Groupe</i>			8%	3,13	0%	0,00	NS	0,3173
	<i>Prunus avium</i>			17%	1,26	17%	1,26	NS	1,0000
	<i>Prunus spinosa</i>			58%	4,08	33%	1,51	NS	0,1737
	<i>Prunus x CV Groupe</i>			0%	0,00	8%	0,01	NS	0,3173
	<i>Rhamnus cathartica</i>	3	x	8%	0,01	8%	0,01	NS	1,0000
	<i>Robinia pseudoacacia</i>			8%	3,13	8%	0,01	NS	0,9520
	<i>Rosa canina</i>			0%	0,00	8%	0,01	NS	0,3173
	<i>Salix alba</i>			0%	0,00	8%	0,01	NS	0,3173
	<i>Salix cinerea</i>			25%	1,30	8%	1,88	NS	0,3506
	<i>Tilia platyphyllos</i>	(1)		8%	1,25	0%	0,00	NS	0,3173
	<i>Ulmus minor</i>	(2)		17%	1,88	17%	0,05	NS	0,9645
	<i>Viburnum opulus</i>	(2)		8%	0,04	8%	0,04	NS	1,0000

Annexe 3a : Fréquence et couvert moyen des espèces du sous-bois en ripisylve ancienne (RA) et récente (RR). Espèces préférentielles et indifférentes.

(Relevé floristique sur 200 m², rayon de 8 m, strate h ≤ 2 m).

Préférence	Nom latin (Taxref 11)	FA Hermé	FA Dupouey	Ligneux	L	F	R	Fréquence RA	Couvert RA (%)	Fréquence RR	Couvert RR (%)	p. Kruskal-Wallis	
Préférence RA	<i>Carpinus betulus</i>			x	4			83%	2,59	33%	0,13	**	0,0026
	<i>Milium effusum</i>	8	x		4	5	5	58%	0,73	0%	0,00	**	0,0025
	<i>Populus tremula</i>			x	6	5		50%	0,75	0%	0,00	**	0,0061
	<i>Carex sylvatica</i>	8	x		2	5	6	58%	1,97	17%	0,05	*	0,0217
	<i>Crataegus laevigata</i>	5	x	x	6	5	7	75%	1,38	42%	0,28	*	0,0175
	<i>Rubus fruticosus agg</i>			x				83%	15,04	50%	4,21	*	0,0201
	<i>Primula elatior</i>	11	x		6	6	7	75%	4,13	33%	1,51	Tend	0,0539
	<i>Quercus robur</i>			x	7			83%	2,06	50%	0,52	Tend	0,0834
	<i>Veronica montana</i>	6	x		4	7	5	83%	1,08	58%	0,56	Tend	0,0898
	<i>Vicia sepium</i>		x			5	6	25%	0,13	0%	0,00	Tend	0,0699
	<i>Vinca minor</i>	3	x	x	4	5	7	25%	9,58	0%	0,00	Tend	0,0706
Préférence RR	<i>Crataegus monogyna</i>			x	7	4	8	75%	0,68	92%	2,13	**	0,0035
	<i>Sambucus nigra</i>			x	7	5		8%	0,04	67%	0,63	**	0,0044
	<i>Angelica sylvestris</i>				7	8		8%	0,04	58%	0,59	*	0,0115
	<i>Glechoma hederacea</i>				6	6		50%	4,21	92%	10,63	*	0,0159
	<i>Ribes uva-crispa</i>			x	4			0%	0,00	33%	2,55	*	0,0328
	<i>Alliaria petiolata</i>				5	5	7	58%	1,83	83%	6,72	Tend	0,0742
	<i>Athyrium filix-femina</i>	3	x		3	7		0%	0,00	25%	1,27	Tend	0,0704
	<i>Carex elongata</i> ^(a)				4	9	7	0%	0,00	25%	0,23	Tend	0,0704
	<i>Euonymus europaeus</i>	7		x	6	5	8	75%	1,34	92%	2,13	Tend	0,0905
	<i>Filipendula ulmaria</i>				7	8		25%	0,43	67%	1,00	Tend	0,0561
	<i>Galeopsis tetrahit</i>				7	5		50%	0,18	83%	0,35	Tend	0,0768
	<i>Rhamnus cathartica</i>	3	x	x	7	4	8	0%	0,00	25%	0,23	Tend	0,0704
	<i>Rubus caesius</i>			x	6		8	42%	0,38	67%	5,47	Tend	0,0759
	<i>Scrophularia auriculata</i>				8	9	6	8%	0,01	42%	0,14	Tend	0,0522
	<i>Scrophularia nodosa</i>	(1)	x		4	6	6	17%	0,05	50%	1,39	Tend	0,0782
	<i>Urtica dioica</i>				6	7		50%	1,63	83%	8,50	Tend	0,0505
Indifférence	<i>Acer campestre</i>	3	x	x	5	5	7	58%	0,96	58%	0,79	NS	0,8294
	<i>Ajuga reptans</i>		x		6	6	6	25%	0,29	25%	0,26	NS	0,9394
	<i>Arum maculatum</i>		x		3	7	7	33%	0,30	58%	0,29	NS	0,4454
	<i>Brachypodium sylvaticum</i>	(2)			3	5	6	50%	0,92	83%	1,22	NS	0,2723
	<i>Carex remota</i>	6	x		3	8		58%	0,23	50%	1,05	NS	0,5808
	<i>Circaea lutetiana</i>	4	x		4	6	7	33%	0,50	58%	3,01	NS	0,2057
	<i>Cornus sanguinea</i>	4		x	7	5	7	25%	0,29	50%	0,35	NS	0,3327
	<i>Corylus avellana</i>	6	x	x	6			92%	0,89	75%	2,05	NS	0,9517
	<i>Dryopteris filix-mas</i>	3	x		3	5	5	50%	0,35	42%	0,28	NS	0,5680
	<i>Elymus caninus</i>	3	x		6	6	7	58%	1,29	83%	2,63	NS	0,3309
	<i>Fraxinus excelsior</i>			x	4		7	92%	1,73	100%	1,97	NS	0,5166
	<i>Galium aparine</i>				7		6	50%	1,96	67%	4,26	NS	0,4141
	<i>Galium palustre</i> Groupe				6	9		33%	0,10	33%	0,30	NS	0,8358
	<i>Geranium robertianum</i>				5			58%	0,79	75%	1,01	NS	0,5234
	<i>Geum urbanum</i>				4	5		83%	1,72	100%	2,88	NS	0,5042
	<i>Hedera helix</i>			x	4	5		100%	15,43	92%	13,17	NS	0,5139
	<i>Humulus lupulus</i>				7	8	6	25%	0,03	25%	0,13	NS	0,7319
	<i>Ligustrum vulgare</i>			x	7	4	8	58%	0,53	58%	1,40	NS	0,9516
	<i>Loncomelos pyrenaicus</i>				4	5	6	33%	1,88	25%	1,67	NS	0,6905
	<i>Moehringia trinervia</i>				4	5	6	33%	0,50	50%	0,22	NS	0,7434
	<i>Persicaria hydropiper</i>				7	8	5	25%	0,13	25%	0,09	NS	0,9087
	<i>Prunus avium</i>			x	4	5	7	25%	0,23	33%	0,27	NS	0,6391
	<i>Prunus spinosa</i>			x	7	4	7	58%	1,09	75%	1,38	NS	0,4559
	<i>Ranunculus repens</i>				6	7		25%	0,26	33%	0,10	NS	0,7731
	<i>Rosa arvensis</i>			x	5	5	7	83%	0,82	58%	1,73	NS	0,3266
	<i>Rumex sanguineus</i>				4	8	7	42%	0,04	33%	0,17	NS	0,7888
	<i>Stellaria holostea</i>	6			5	5	6	42%	1,72	50%	0,22	NS	0,9493
	<i>Taraxacum ruderalia</i> Groupe				7	5		25%	0,09	25%	0,06	NS	0,9091
	<i>Veronica chamaedrys</i>				6	5		42%	0,31	33%	0,27	NS	0,6648
	<i>Viola reichenbachiana</i>	8	x		4	5	7	67%	2,54	67%	1,33	NS	0,6587

^(a) Espèce déterminante ZNIEFF en Bourgogne.

Annexe 3b : Fréquence et couvert moyen des espèces du sous-bois en forêt ancienne (FA) et ripisylve ancienne (RA). Espèces préférentielles et indifférentes.(Relevé floristique sur 200 m², rayon de 8 m, strate h ≤ 2 m).

Préférence	Nom latin (Taxref 11)	FA Hermé	FA Dupouey	Ligneux	L	F	R	Fréquence FA	Couvert FA (%)	Fréquence RA	Couvert RA (%)	p. Kruskal-Wallis	
Préfér. FA	<i>Arum maculatum</i>		x		3	7	7	83%	0,62	33%	0,30	★	0,0449
	<i>Dryopteris carthusiana</i>	(1)			5		4	50%	0,18	17%	0,02	Tend	0,0526
	<i>Polygonatum multiflorum</i>	11	x		2	5	6	50%	0,42	17%	0,08	Tend	0,0801
Préférence RA	<i>Elymus caninus</i>	3	x		6	6	7	8%	0,04	58%	1,29	★★	0,0067
	<i>Alliaria petiolata</i>				5	5	7	17%	0,25	58%	1,83	★	0,0449
	<i>Poa nemoralis</i>	(1)	x		5	5	5	50%	1,46	83%	6,75	★	0,0140
	<i>Veronica montana</i>	6	x		4	7	5	33%	0,50	83%	1,08	★	0,0360
	<i>Corylus avellana</i>	6	x	x	6			75%	0,41	92%	0,89	Tend	0,0891
	<i>Geum urbanum</i>				4	5		50%	1,79	83%	1,72	Tend	0,0919
	<i>Ligustrum vulgare</i>			x	7	4	8	17%	0,25	58%	0,53	Tend	0,0721
	<i>Primula elatior</i>	11	x		6	6	7	33%	0,67	75%	4,13	Tend	0,0811
	<i>Stellaria holostea</i>	6			5	5	6	8%	0,21	42%	1,72	Tend	0,0741
	<i>Veronica chamaedrys</i>				6	5		8%	0,04	42%	0,31	Tend	0,0740
	<i>Veronica officinalis</i>				6	4	3	0%	0,00	25%	0,23	Tend	0,0704
Indifférence	<i>Acer campestre</i>	3	x	x	5	5	7	75%	0,94	58%	0,96	NS	0,8328
	<i>Adoxa moschatellina</i>	4	x		5	6	7	25%	0,43	25%	0,09	NS	0,8792
	<i>Brachypodium sylvaticum</i>	(2)			3	5	6	33%	0,33	50%	0,92	NS	0,2679
	<i>Carex remota</i>	6	x		3	8		25%	0,46	58%	0,23	NS	0,2975
	<i>Carpinus betulus</i>			x	4			75%	1,38	83%	2,59	NS	0,5749
	<i>Cornus sanguinea</i>	4			7	5	7	25%	0,09	25%	0,29	NS	0,8490
	<i>Crataegus monogyna</i>			x	7	4	8	67%	0,77	75%	0,68	NS	0,7626
	<i>Dryopteris filix-mas</i>	3	x		3	5	5	67%	0,63	50%	0,35	NS	0,2837
	<i>Fraxinus excelsior</i>			x	4		7	75%	2,35	92%	1,73	NS	0,4864
	<i>Galeopsis tetrahit</i>				7	5		42%	0,31	50%	0,18	NS	0,7502
	<i>Galium aparine</i>				7		6	50%	3,50	50%	1,96	NS	0,7789
	<i>Geranium robertianum</i>				5			58%	0,76	58%	0,79	NS	0,9025
	<i>Glechoma hederacea</i>				6	6		50%	5,42	50%	4,21	NS	0,8019
	<i>Hedera helix</i>			x	4	5		100%	12,71	100%	15,43	NS	0,3285
	<i>Lamium galeobdolon</i>	9	x		3	5	7	50%	5,42	58%	6,50	NS	0,7072
	<i>Loncomelos pyrenaicus</i>				4	5	6	33%	1,71	33%	1,88	NS	0,9173
	<i>Lonicera periclymenum</i>	(1)		x	6		3	42%	5,21	33%	0,50	NS	0,3173
	<i>Moehringia trinervia</i>				4	5	6	25%	0,29	33%	0,50	NS	0,6132
	<i>Poa trivialis</i>				6	7		50%	1,79	58%	3,54	NS	0,8767
	<i>Populus tremula</i>			x	6	5		33%	0,67	50%	0,75	NS	0,5570
	<i>Prunus spinosa</i>			x	7	4	7	42%	1,75	58%	1,09	NS	0,5107
	<i>Quercus robur</i>			x	7			92%	0,56	83%	2,06	NS	0,6416
	<i>Ranunculus auricomus</i>	8	x		5		7	25%	0,46	33%	0,47	NS	0,7454
	<i>Ribes rubrum</i>			x	4	8	6	67%	5,63	83%	3,47	NS	0,8818
	<i>Rubus caesius</i>			x	6		8	25%	1,50	42%	0,38	NS	0,5796
	<i>Rumex sanguineus</i>				4	8	7	25%	0,06	42%	0,04	NS	0,5060
	<i>Stachys sylvatica</i>	4			4	7	7	50%	1,63	58%	1,80	NS	0,7347
	<i>Urtica dioica</i>					6	7	42%	3,46	50%	1,63	NS	0,7738
	<i>Viburnum opulus</i>	(2)		x	6		7	33%	0,13	58%	0,36	NS	0,2791
	<i>Vinca minor</i>	3	x	x	4	5	7	25%	6,46	25%	9,58	NS	0,9092

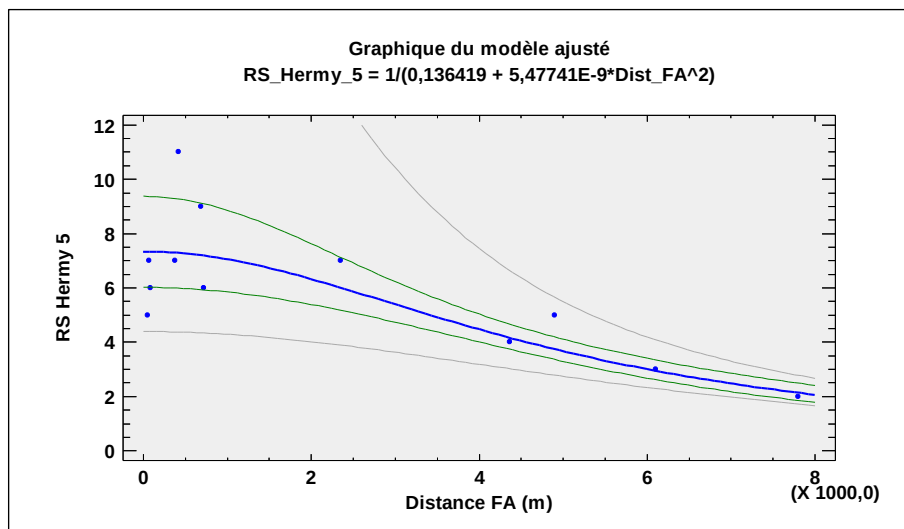
Annexe 3c : Fréquence et couvert moyen des espèces du sous-bois en forêt récente (FR) et en ripisylve récente (RR). Espèces préférentielles et indifférentes.(Relevé floristique sur 200 m², rayon de 8 m, strate h ≤ 2 m).

Préférence	Nom latin (Taxref 11)	FA Hermé	FA Dupouey	Ligneux	L	F	R	Fréquence FR	Couvert FR(%)	Fréquence RR	Couvert RR (%)	p. Kruskal-Wallis	
Pr. FR	<i>Rubus fruticosus agg</i>			x				92%	13,13	50%	4,21	*	0,0248
Préférence RR	<i>Stellaria holostea</i>	6			5	5	6	0%	0,00	50%	0,22	**	0,0059
	<i>Viola reichenbachiana</i>	8	x		4	5	7	17%	0,05	67%	1,33	**	0,0051
	<i>Crataegus monogyna</i>			x	7	4	8	75%	1,88	92%	2,13	*	0,0247
	<i>Elymus caninus</i>	3	x		6	6	7	42%	1,58	83%	2,63	*	0,0339
	<i>Phalaris arundinacea</i>				7	8	7	0%	0,00	33%	0,10	*	0,0327
	<i>Veronica chamaedrys</i>				6	5		0%	0,00	33%	0,27	*	0,0328
	<i>Veronica montana</i>	6	x		4	7	5	8%	0,21	58%	0,56	*	0,0208
	<i>Atriplex prostrata</i>				8	6		0%	0,00	25%	0,03	Tend	0,0699
	<i>Lythrum salicaria</i>				7	8	6	0%	0,00	25%	0,09	Tend	0,0704
	<i>Myosoton aquaticum</i>				7	8	7	0%	0,00	25%	0,43	Tend	0,0704
	<i>Scrophularia nodosa</i>	(1)	x		4	6	6	17%	0,02	50%	1,39	Tend	0,0530
Indifférence	<i>Acer campestre</i>	3	x	x	5	5	7	67%	2,14	58%	0,79	NS	0,5868
	<i>Angelica sylvestris</i>				7	8		58%	1,60	58%	0,59	NS	0,9273
	<i>Arctium lappa</i>				9	5	7	25%	0,13	25%	0,09	NS	0,9087
	<i>Arum maculatum</i>		x		3	7	7	42%	0,14	58%	0,29	NS	0,6158
	<i>Cardamine pratensis</i>				4	6		42%	1,92	33%	0,47	NS	0,4832
	<i>Carex elongata</i> ^(a)				4	9	7	25%	0,06	25%	0,23	NS	0,9696
	<i>Carex remota</i>	6	x		3	8		50%	0,68	50%	1,05	NS	0,7286
	<i>Chaerophyllum temulum</i>				5	5		25%	0,06	42%	0,11	NS	0,3863
	<i>Circaea lutetiana</i>	4	x		4	6	7	58%	2,17	58%	3,01	NS	0,9275
	<i>Cornus sanguinea</i>	4		x	7	5	7	42%	0,18	50%	0,35	NS	0,7013
	<i>Corylus avellana</i>	6	x	x	6			83%	0,55	75%	2,05	NS	0,6189
	<i>Crataegus laevigata</i>	5	x	x	6	5	7	50%	0,18	42%	0,28	NS	0,6110
	<i>Dryopteris carthusiana</i>	(1)			5		4	33%	0,67	33%	0,23	NS	0,7039
	<i>Dryopteris filix-mas</i>	3	x		3	5	5	25%	0,23	42%	0,28	NS	0,4060
	<i>Filipendula ulmaria</i>				7	8		67%	3,58	67%	1,00	NS	0,3308
	<i>Galeopsis tetrahit</i>				7	5		58%	0,46	83%	0,35	NS	0,6467
	<i>Galium aparine</i>				7		6	75%	3,09	67%	4,26	NS	0,9763
	<i>Galium palustre</i> Groupe				6	9		33%	0,83	33%	0,30	NS	0,6778
	<i>Geranium robertianum</i>				5			50%	0,72	75%	1,01	NS	0,2890
	<i>Geum urbanum</i>				4	5		75%	2,58	100%	2,88	NS	0,4646
	<i>Glechoma hederacea</i>				6	6		83%	11,25	92%	10,63	NS	0,8196
	<i>Hedera helix</i>			x	4	5		83%	11,92	92%	13,17	NS	0,6745
	<i>Lamium galeobdolon</i>	9	x		3	5	7	25%	2,71	25%	3,75	NS	0,9087
	<i>Ligustrum vulgare</i>			x	7	4	8	42%	0,51	58%	1,40	NS	0,6634
	<i>Lycopus europaeus</i>				7	9	7	25%	0,26	25%	0,23	NS	0,9394
	<i>Moehringia trinervia</i>				4	5	6	42%	0,54	50%	0,22	NS	0,9231
	<i>Poa trivialis</i>				6	7		67%	3,42	75%	4,50	NS	0,7200
	<i>Prunus spinosa</i>			x	7	4	7	83%	2,79	75%	1,38	NS	0,3402
	<i>Quercus robur</i>			x	7			58%	0,53	50%	0,52	NS	0,8063
	<i>Ranunculus repens</i>				6	7		33%	0,27	33%	0,10	NS	0,9449
	<i>Rhamnus cathartica</i>	3	x	x	7	4	8	33%	0,10	25%	0,23	NS	0,6651
	<i>Ribes rubrum</i>			x	4	8	6	75%	14,63	100%	8,88	NS	0,9762
	<i>Rosa arvensis</i>			x	5	5	7	42%	0,34	58%	1,73	NS	0,4378
	<i>Rubus caesius</i>			x	6		8	58%	2,00	67%	5,47	NS	0,3843
	<i>Rumex sanguineus</i>				4	8	7	33%	0,47	33%	0,17	NS	0,8899
	<i>Sambucus nigra</i>			x	7	5		67%	0,47	67%	0,63	NS	0,8281
	<i>Solanum dulcamara</i>			x	7	8		33%	1,31	42%	0,31	NS	0,6892
	<i>Urtica dioica</i>					6	7	75%	3,43	83%	8,50	NS	0,5934
	<i>Viburnum opulus</i>	(2)		x	6		7	58%	0,59	75%	2,02	NS	0,3531

^(a) Espèce déterminante ZNIEFF en Bourgogne.

Annexe 4 : Régression simple entre RS Hermy 5 de la berge de forêt récente (BR) et la distance à la forêt alluviale ancienne la plus proche le long de la vallée.

(*** $p < 0,0001$: $R^2 = 89,46\%$)



Action 3 : CARTOGRAPHIE DES FORÊTS ET RIPISYLVES ANCIENNES DES VALLÉES DE PUISAYE

Action portée par **Richard CHEVALIER** (INRAE, UR EFNO, Nogent/Vernisson-45)
richard.chevalier@inrae.fr

En collaboration avec : Barthélémy DESSANGES (INRAE, UR EFNO, Nogent/Vernisson-45)
Hilaire MARTIN (INRAE, UR EFNO, Nogent/Vernisson-45)
Thierry TOUZET (IGN, Inventaire forestier, Nogent/Vernisson-45)

INTRODUCTION

Les résultats de l'Action 1 ont permis de valider le concept de forêt ancienne. Les résultats de l'action 2 ont, non seulement permis de valider le concept de ripisylve ancienne, mais ont mis en avant l'intérêt des ripisylves en tant que réservoir pour la flore des forêts anciennes.

A partir de la carte d'État-major (1837 pour la zone d'étude), et de photos aériennes contemporaines, l'Action 3 a pour objectif de produire la cartographie des forêts et ripisylves anciennes, de façon à rendre compte de leur quantité et de leur répartition dans le paysage poyaudin. Nous nous intéresserons ici plus au résultat qu'à la méthode, celle-ci étant décrite en détail par Dessanges (2018) qui a réalisé son stage de Licence sur cette action, dans le cadre du déroulement du projet FRAPVAL.

Comme nous l'avons fait pour la validation du concept de forêt ancienne (*cf.* fiche Action 1), nous comparerons nos résultats pour les petites vallées de Puisaye, à ceux obtenus ici par Thiberville (2014) dans les grandes vallées de Champagne.

A partir de l'interprétation des photos contemporaines, des années 1950, et éventuellement intercalaires, nous tenterons une évaluation de l'état de conservation des forêts anciennes. Ainsi, nous considérerons que leur état est altéré dans le cas de plantations ou de discontinuité de couvert (prairie interstitielle, coupe forte) détectées sur les photos contemporaines ou antérieures. L'altération de la fonctionnalité de forêt ancienne par la populiculture, pratique de gestion assez prégnante sur la zone d'étude, a été mise en évidence par Chevalier et *al.* (2013) dans les vallées de Champagne.

La quantité, la répartition et l'état de conservation des forêts et ripisylves anciennes seront à même d'argumenter une éventuelle stratégie pour leur conservation.

MÉTHODE

La zone d'étude

La zone d'étude correspond à toutes les vallées alluviales de Puisaye appartenant au département de l'Yonne (89). La Figure 1 en présente l'étendue.

Nous entendons par vallées alluviales celles qui, pour le secteur considéré, appartiennent à la sylvoécocorégion d'alluvions récentes « L1 - Vallées des bassins Artois, Picardie et Seine-Normandie », de l'Inventaire Forestier National de l'IGN.

Cela correspond principalement aux vallées de l'Ouanne, du Loing, du Vrin, du Tholon ainsi qu'à celles de leurs affluents qui reposent sur des alluvions récentes (Fz). Nous avons prolongé l'enveloppe de la sylvoécocorégion L1 en tête de bassin pour prendre en compte des formations d'alluvions récentes (Fz) de moins de 200 m de largeur, à partir des cartes géologiques au 1/50 000^{ème} du BRGM. **L'ensemble comptabilise une surface de 5 650 ha et un linéaire de 389 km de rivières.**

D'après Girault (1988), la plus grande partie de la zone appartient à la Puisaye des plateaux et les parties les plus en amont à la haute Puisaye. A la demande des gestionnaires locaux (CRPF, Régie rivière de la Fédération des eaux Puisaye-Forterre), nous avons rajouté la vallée du Tholon, bien qu'elle soit en Champagne jovinienne, sur des sols plus calcaires en limite nord-est de la Puisaye.

Le niveau 4, utilisant un algorithme qui applique un repositionnement des polygones par rapport à des points d'ancrage prédéfinis, a alors été réalisé. Le résultat est assez mitigé, puisque le positionnement n'est amélioré que dans 55 % des cas et dégradé dans 33 % des cas. Nous avons alors décidé, à partir du niveau 4, de repositionner visuellement et manuellement chaque polygone, par ripage, par rapport à des repères visuels stables dans le temps (certains bâtiments, croisements de routes, limites administratives ...). En conséquence, nous avons renoncé à utiliser le niveau 5 faisant intervenir de façon complexe de nouveaux algorithmes et un nouveau jeu de points d'ancrage locaux à définir.

La faible amélioration, avec le passage du niveau 3 au niveau 4, est à notre avis attribuable au fait que nos polygones de forêt en 1837 sont de taille plutôt modeste (surface moyenne de 1,9 ha), ce qui expose au risque qu'une bonne partie de leur surface soit décalée par rapport à la réalité.

Notre façon de faire semble pertinente pour notre cas d'étude ; il aurait été irréaliste de la pratiquer dans le cas d'un plus grand territoire avec un taux de boisement et une taille des forêts plus importants en 1837, ce qui reste la majorité des situations pour laquelle la méthodologie de Favre et al. (2016) a été conçue. Dans notre cas, nous aurions même pu nous dispenser de l'étape 4.

Digitalisation de la forêt contemporaine

Bien que nous ayons nous même réalisé une digitalisation de la forêt contemporaine sur une orthophotographie infrarouge de 2014, nous retenons pour cette action la digitalisation déjà disponible auprès de l'IGN : la BD Forêt® V2. Cette ressource est relativement proche de notre digitalisation et a l'avantage de couvrir toute la France suivant un protocole harmonisé prenant en compte diverses caractéristiques des peuplements forestiers (Garnier et al., 2019). Elle s'intéresse aux éléments d'au moins 50 ares de surface. C'est l'année 2007 qui est ici prise en compte pour le département de l'Yonne.

Nous avons modifié le pourtour de certains polygones imparfaits et rajouté des polygones d'au moins 25 ares et d'au moins 20 m de large, de façon à homogénéiser la méthode avec celle de digitalisation de la forêt en 1837. Ces rajouts concernaient surtout des portions de forêt linéaire. L'état de la forêt (forêt/peupleraie/intermédiaire) ainsi que le caractère surfacique/linéaire ont été affectés à chaque polygone.

Carte des forêts anciennes

Elle est produite par l'intersection de 3 couches vecteur :

- la délimitation des vallées de Puisaye,
- la digitalisation de la carte d'État-major (1837),
- la digitalisation de la forêt contemporaine (2007).

Après intersection, nous n'avons retenu que les polygones (ou groupes de polygones attenants) d'une superficie d'au moins 25 ares.

Nous avons affecté à chaque polygone une notation d'état de conservation (bon/mauvais état) à partir d'une notation de 1 à 4 pour chaque photo aérienne en 1950, 2002, 2007 et 2014 (cf. Annexe 1).

Carte des ripisylves contemporaines

Elle est produite par l'intersection de 2 couches vecteur :

- la carte de la forêt contemporaine,
- la BD TOPO® Version 3.0, de mars 2019, pour sa partie « TRONCON_COURS_EAU ».

Après intersection, nous n'avons retenu que les tronçons d'une longueur minimale de 50 m. Afin d'optimiser les tracés, nous avons maintenu la continuité de la ripisylve tant que la partie forestière était située à moins de 5 m du cours d'eau.

L'état de la forêt associée (forêt/peupleraie/intermédiaire) a été affectée à chaque tronçon.

Carte des ripisylves anciennes

Elle est produite par l'intersection de 2 couches vecteur :

- la carte des ripisylves contemporaines,
- la carte des forêts anciennes.

Après intersection, nous n'avons retenu que les tronçons d'une longueur minimale de 50 m. La note d'état de conservation de la forêt ancienne associée (bon/mauvais état) a été affectée à chaque tronçon.

RÉSULTATS-DISCUSSION

Données forestières globales

Dans le Tableau 1, nous produisons les résultats globaux pour l'ensemble des vallées de Puisaye (5 650 ha), comparés à ceux de deux secteurs cartographiés dans les grandes vallées de Champagne (Thiberville, 2014), à savoir près de 10 000 ha sur la Marne en aval de Châlons-en-Champagne (51) où l'état des forêts est estimé dégradé, et près de 20 000 ha sur la Seine en amont de Nogent-sur-Seine (10) présentant une forêt en assez bon état. Pour assurer la comparaison, nous considérerons à part les peupleraies (pures ou en peuplements mixtes), car celles-ci ne sont pas comptabilisées en tant que forêt par Thiberville (2014). **Pour la suite nous distinguerons la forêt (ici subnaturelle donc excluant les peupleraies) des boisements (incluant la forêt et les peupleraies).** Les forêts anciennes font état de la présence de forêt en 1837 et de la présence d'un boisement en 2007. Dans le cas de peupleraies en 2007, l'état de conservation de la forêt ancienne est considéré comme mauvais.

Tableau 1 : Surface forestière passée et actuelle des vallées de Puisaye, en comparaison de deux secteurs des grandes vallées de Champagne.

		Puisaye	Champagne secteur Seine	Champagne secteur Marne
Surface totale		5 650 ha	19 416 ha	9 733 ha
Contemporain (2007 en Puisaye)	Surface forêt actuelle	823 ha (14,6 %)	1940 ha (10 %)	680 ha (7 %)
	Surface peupleraies (dont 35 % mixte avec feuillus)	592 ha (10,5 %)	/	/
État-major (1837 en Puisaye)	Surface forêt	165 ha (2,9 %)	1864 ha (9,6 %)	701 ha (7,2 %)
Forêt ancienne (1837 et 2007 en Puisaye)	Surface forêt ancienne	103 ha (1,8 %)	397 ha (2,0 %)	231 ha (2,4 %)
	Surface FA en bon état de conservation	83 ha (1,5 %)	/	/

Le taux forestier des vallées de Puisaye en 1837 est faible (2,9 %) et inférieur à celui des vallées de Champagne (7,2 à 9,6 %). Atteignant presque 15 %, le taux forestier contemporain des vallées de Puisaye est supérieur à celui des vallées de Champagne (7 à 10 %). **Ainsi, en 170 ans, le taux forestier a été multiplié par 5 dans les vallées de Puisaye**, alors qu'il est resté stable pour les vallées de Champagne. L'augmentation de la superficie forestière des vallées de Puisaye s'est essentiellement faite au dépens des prairies, qui couvraient 65 % de la superficie en 1837 et qui sont encore bien représentées aujourd'hui.

Il est à noter la quantité conséquente de peupleraies dans les vallées de Puisaye (10,5 %). La populiculture n'y est pas aussi intensive que dans les grandes vallées, ce qui se traduit par 35 % de la surface des peupleraies en mélange avec la forêt. Ces peuplements mixtes, que nous avons comptabilisés dans les peupleraies, ne sont pas faciles à diagnostiquer sur photos aériennes et il est probable que nous les ayons sous-estimés par rapport aux forêts subnaturelles. Ceci ne serait pas très grave car Berthelot et al. (2011) ont montré que des peupleraies à sous-étage feuillu bien développé s'apparentent plus à des forêts qu'à des peupleraies par leur composition floristique.

Concernant la rémanence des forêts présentes sur la carte d'État-major, il y a une grande différence entre les vallées de Champagne et celles de Puisaye. En Champagne, seulement 21 % (Seine) à 33 % (Marne) de la superficie forestière de 1837 est toujours forestière aujourd'hui contre 62 % pour les vallées de Puisaye. **Bien que beaucoup moins couvrantes en 1837, les forêts alluviales de Puisaye ont été proportionnellement moins détruites que celles des grandes vallées de Champagne** durant les deux derniers siècles.

Enfin, **l'état de conservation des forêts anciennes de Puisaye est estimé plutôt bon**, puisque 81 % de leur superficie est affecté à la catégorie « bon état ».

Au total, **sur l'ensemble des vallées de Puisaye étudiées, nous comptabilisons 71 forêts** (pouvant compter plusieurs polygones suivant leur état de conservation) **d'une superficie moyenne de 1,46 ha**. La Figure 2, présente la répartition du nombre de forêts anciennes suivant leur surface unitaire. Il ressort que **la forêt ancienne est très fragmentée, près de la moitié des forêts anciennes ayant une superficie inférieure à 1 ha**. Si nous avons retenu une surface minimale de 0,50 ha au lieu de 0,25 ha, nous aurions écarté 30 % des forêts anciennes. Par ailleurs, le mauvais état de conservation des forêts anciennes (19 % de la surface) concerne surtout les petites forêts (37 % de la surface des forêts de moins de 1 ha).

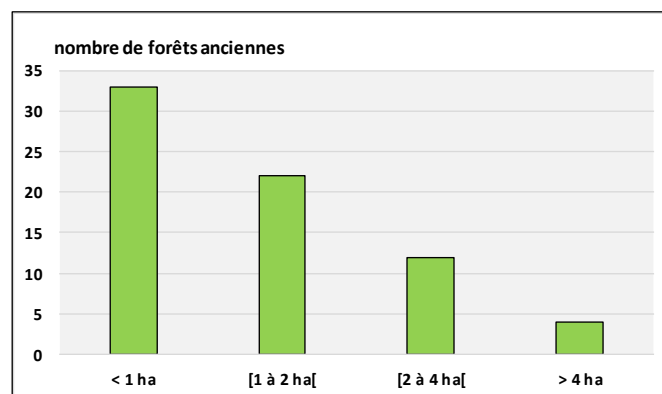


Figure 2 : Nombre de forêts anciennes en fonction de leur superficie.
Forêt ancienne ici = forêt en 1837 et boisement en 2007 (dont peupleraies).

Données forestières pour les différentes vallées

Le Tableau 2 présente les résultats obtenus pour nos différentes vallées de Puisaye (cf. Figure 1 pour le découpage des 6 sous-ensembles). **Il ressort de fortes disparités entre les vallées**, suivant la composition forestière actuelle et passée.

Tableau 2 : Surface forestière passée et actuelle des différentes vallées de Puisaye.

Cases vertes : valeurs élevées par rapport à la moyenne de la zone d'étude.
Cases oranges : valeurs faibles par rapport à la moyenne de la zone d'étude.

		Loing	Ouanne amont	Ouanne aval	Branlin	Vrin	Tholon	Total
Surface totale		835 ha	1551 ha	838 ha	956 ha	724 ha	748 ha	5650 ha
Contemporain (2007)	Forêt	14,7%	8,9%	11,5%	19,1%	6,3%	31,8%	14,6%
	Peupleraie (dont mixte avec feuillus)	9,9%	5,4%	10,6%	2,2%	6,7%	35,7%	10,5%
	Boisement (forêt et Peupleraie)	24,6%	14,3%	22,2%	21,3%	13,0%	67,5%	25,1%
État-major (1837)	Forêt	3,6%	1,4%	0,7%	5,1%	0,4%	7,5%	2,9%
	Prairie	64,8%	70,0%	62,0%	58,3%	61,3%	68,5%	64,7%
Forêt ancienne (1837 et 2007)	Surface forêt ancienne	14,9 ha	14,2 ha	3,2 ha	20,9 ha	2,5 ha	47,6 ha	103,3 ha
	Taux forêt ancienne	1,8%	0,9%	0,4%	2,2%	0,3%	6,4%	1,8%
	Taux FA Bon état	1,4%	0,7%	0,3%	2,0%	0,3%	4,8%	1,5%

Le Loing présente des caractéristiques tout à fait représentatives de l'ensemble de la zone d'étude. Nous noterons juste que la couverture forestière de 1837 n'a été conservée qu'à hauteur de 50 %.

Le Tholon se distingue par son caractère forestier très affirmé. Les éléments boisés occupent les 2/3 de la superficie, avec une quantité de peupleraies légèrement supérieure à celle des forêts subnaturelles. La forêt y était beaucoup moins couvrante en 1837, mais cependant plus que pour l'ensemble de la zone d'étude. La forêt ancienne s'est maintenue à 85 % et n'a pour l'instant pas trop été altérée par la populiculture puisque 75 % de la superficie est estimée en bon état de conservation.

A l'opposé, **le Vrin** pourtant juste à côté du Tholon, **se distingue par son caractère très peu forestier.** Les éléments boisés y occupent seulement 13 % de la superficie, dont plus de la moitié en peupleraie. La forêt y était quasiment absente en 1837 (0,4 %). En conséquence la forêt ancienne y est anecdotique, représentée seulement par une forêt de 2,5 ha.

Les trois autres rivières présentent des caractéristiques intermédiaires avec parfois des particularités.

Le Branlin, avec un taux de boisement actuel équivalent à l'ensemble de la zone d'étude **est très peu impacté par la populiculture** (10 % de la surface boisée) **mais** c'est pour cette rivière que **la couverture forestière de 1837 a été la moins bien conservée** (seulement 43 % de la surface).

L'Ouanne aval, à peine plus boisée que le Vrin en 1837, à pourtant un taux de boisement presque équivalent à celui de l'ensemble de la zone d'étude avec presque autant de peupleraies que de forêts. Comme pour le Vrin, la forêt ancienne y est anecdotique (3 petites forêts cumulant 3,2 ha).

L'Ouanne amont, aujourd'hui moins boisée que l'Ouanne aval est moins impactée par les peupleraies. Comme le taux de boisement y était double en 1837 et que cette vallée à une plus grande superficie, la forêt ancienne y est mieux représentée avec 8 entités cumulant 14,2 ha.

Il y a aussi une variabilité interne à chaque vallée, que nous ne pouvons détailler ici. Concernant la forêt ancienne, la Figure 3 présente sa répartition sur l'ensemble de la zone d'étude. **La situation la plus nette concerne le Tholon où la totalité des forêts anciennes se concentre dans le tiers amont du cours de la rivière.** La tendance est aussi observable pour le Branlin et l'Agréau (son principal affluent), mais cela n'est pas vérifié pour le Loing qui a une répartition assez régulière, ni pour l'Ouanne amont qui a tendance à concentrer la forêt ancienne en quelques endroits de sa partie centrale. La forêt ancienne est trop rare sur le Vrin ou l'Ouanne aval pour se prononcer sur sa répartition.

Pour le détail de la situation des forêts anciennes, nous renvoyons le lecteur à l'annexe 2 de la présente fiche action.

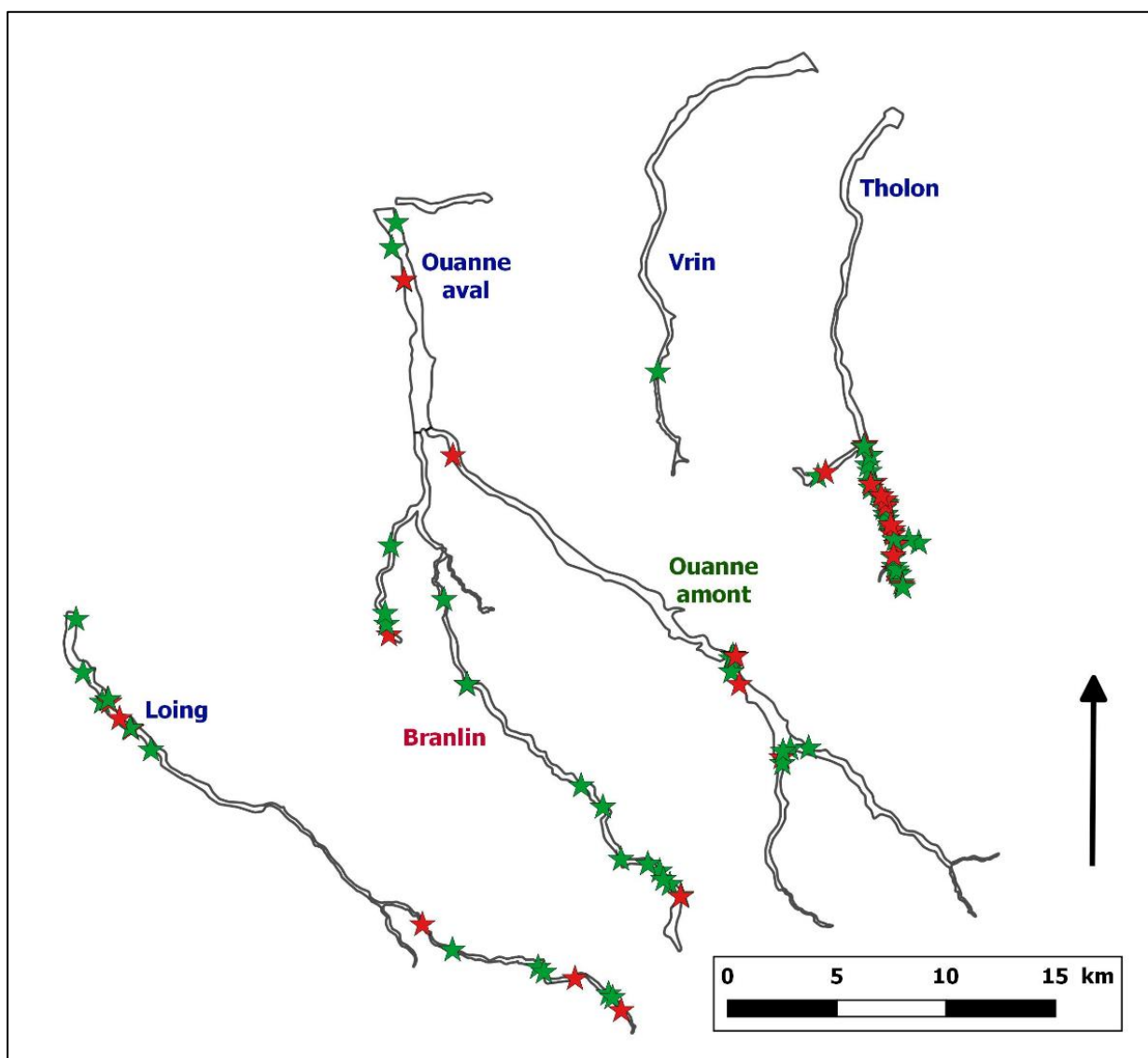


Figure 3 : Carte de répartition des forêts anciennes suivant les vallées cartographiées.
(Étoiles : vertes pour bon état de conservation, rouge pour mauvais état).

Données sur les ripisylves

Le Tableau 3 présente les résultats concernant les ripisylves.

Pour l'ensemble des vallées, sur un total de 389 km de cours d'eau, 44 % de la longueur est actuellement en ripisylve constituée d'éléments boisés (incluant les peupleraies). Cela est beaucoup plus que le taux de boisement de l'ensemble de la zone d'étude (25 %) mais il faut tenir compte du fait qu'une ripisylve ne concerne parfois qu'un seul des deux côtés de la rivière. Nous estimons cependant que cette situation demeure minoritaire et ne concernerait que 15 à 25 % du linéaire. **La proportion du linéaire de cours d'eau en ripisylve contemporaine est supérieure au taux de boisement contemporain.** En comparaison, la proportion de linéaire de cours d'eau en ripisylve forestière en 1837 (2,6 %) est similaire aux taux forestier en 1837 (2,9 %). Nous pouvons en conclure qu'il est fort probable que l'augmentation de la superficie forestière entre 1837 et 2007 s'est préférentiellement faite par accrétion autour des ripisylves qui s'élargissent progressivement. Ce processus est d'ailleurs visuellement perceptible lors de la comparaison des photos aériennes de 1950 et 2007.

Tableau 3 : Longueur des rivières et pourcentage en ripisylve des différentes vallées de Puisaye.

Cases vertes : valeurs élevées par rapport à la moyenne de la zone d'étude.

Cases oranges : valeurs faibles par rapport à la moyenne de la zone d'étude.

		Loing	Ouanne amont	Ouanne aval	Branlin	Vrin	Tholon	Total
Surface totale	Surface alluviale	835 ha	1551 ha	838 ha	956 ha	724 ha	748 ha	5650 ha
Longueur cours d'eau	Principal	41 km	42 km	12 km	37 km	27 km	28 km	187 km
	Total	75 km	102 km	39 km	72 km	53 km	48 km	389 km
% Ripisylve 2007 / linéaire total	Forêt	26,5%	16,9%	37,8%	40,5%	20,6%	39,9%	28,5%
	Peupleraie (dont 35 % mixte avec feuillus)	15,0%	9,6%	24,0%	4,1%	14,4%	41,5%	15,7%
	Boisement (forêt et Peupleraie)	41,5%	26,5%	61,9%	44,6%	34,9%	81,4%	44,2%
% Ripisylve 1837 / linéaire total	Forêt	2,0%	0,6%	0,0%	3,5%	1,0%	10,3%	2,6%
Ripisylve ancienne (forêt 1837 et 2007)	Longueur	0,3 km	0,6 km	0,0 km	1,6 km	0,5 km	4,1 km	7,2 km
	% Linéaire total	0,4%	0,6%	0,0%	2,2%	1,0%	8,5%	1,8%
	% Bon état / Linéaire total	0,4%	0,3%	0,0%	2,0%	1,0%	5,8%	1,4%

Toujours pour l'ensemble de la zone d'étude, le pourcentage de linéaire de cours d'eau en ripisylve ancienne est identique à celui de la surface en forêt ancienne (1,8 %) et l'état de conservation similaire.

Suivant les rivières, le contexte est toujours très favorable pour le Tholon, où la proportion de la ripisylve en 1837, en 2007 et simultanée est supérieure à celle observée sur la même rivière pour les surfaces boisées (cf. Tableau 2).

Pour les autres rivières, les ripisylves peuvent se présenter sous un aspect différent de celui des surfaces boisées :

- Le Loing, qui avait les caractéristiques moyennes de l'ensemble de la zone d'étude pour les surfaces boisées, obtient une moindre proportion de ripisylves en 1837 (2,0 % contre 3,6 %) et qui n'ont été conservées en état boisé que pour 1/5 aujourd'hui.
- L'Ouanne amont a une proportion de ripisylve bien moindre que celle des forêts en 1837 (0,6 % contre 1,4%) mais dont la totalité s'est maintenue jusqu'à aujourd'hui, dont seulement la moitié en bon état.
- L'Ouanne aval ne compte aucune ripisylve en 1837 et donc aucune ripisylve ancienne aujourd'hui. En revanche, la proportion du linéaire en ripisylve de forêt subnaturelle contemporaine (37,8 %) est triple de celle de la superficie forestière contemporaine (11,5 %).
- Pour le Branlin, la proportion de cours d'eau en ripisylve forestière contemporaine est double du taux des forêts subnaturelles.

- Le Vrin qui présentait les conditions forestières les plus défavorables, compte une proportion de cours d'eau en ripisylve forestière contemporaine 3 fois supérieur à son taux forestier.

Tout cela met en avant le fort potentiel de la ripisylve contemporaine pour la connectivité des forêts.

Il y a aussi une variabilité interne à chaque vallée que nous ne pouvons détailler ici. Concernant les ripisylves anciennes, la Figure 4 présente leur répartition sur l'ensemble de la zone d'étude, emboîtée dans celle des forêts anciennes (cf. Figure 3). Si la répartition des ripisylves suit celle des forêts anciennes, elle demeure plus fragmentaire du fait qu'une partie des forêts anciennes n'est pas au contact des rivières.

Pour le détail de la situation des ripisylves anciennes, nous renvoyons le lecteur à l'annexe 3 de la présente fiche action.

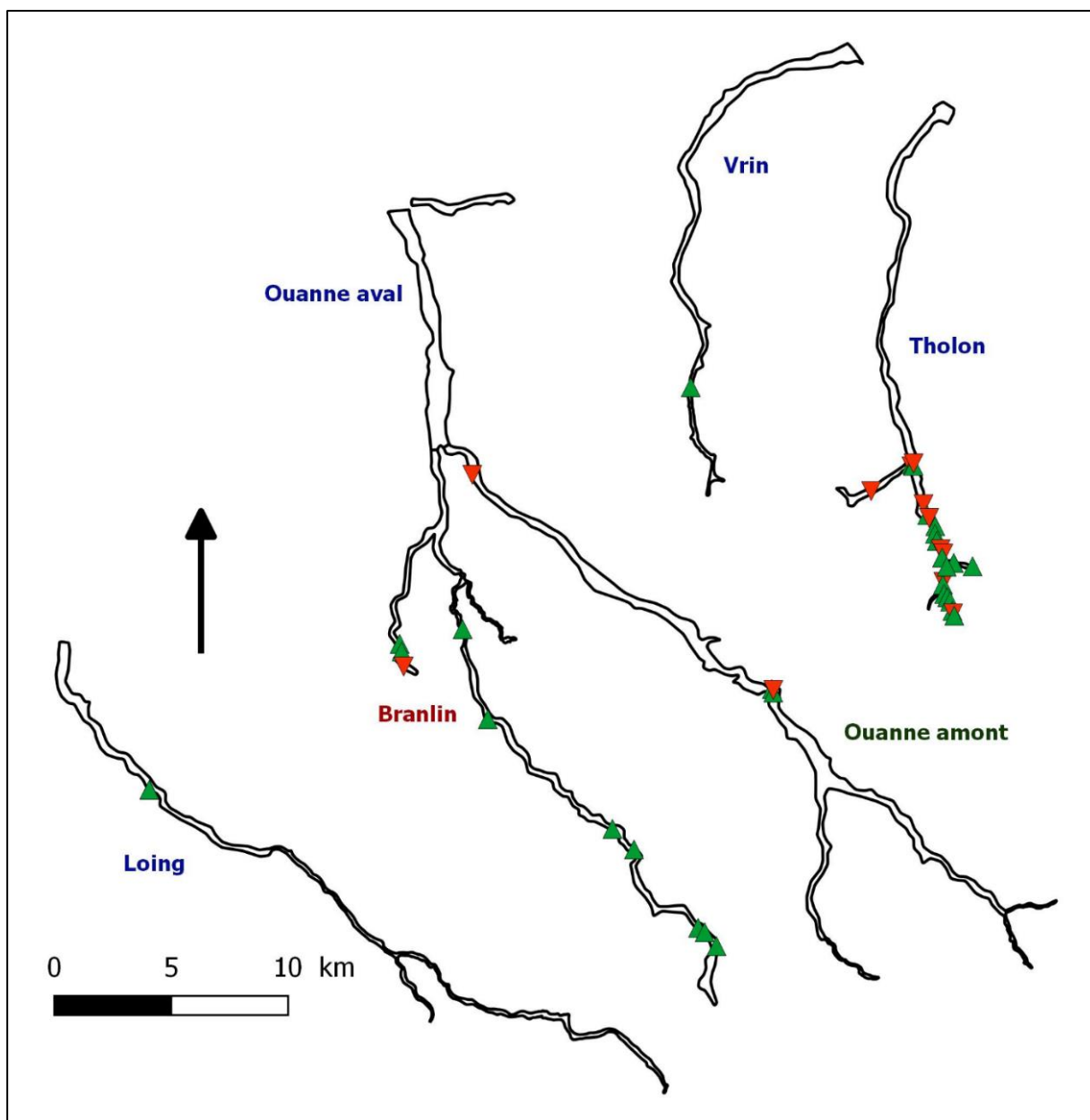


Figure 4 : Carte de répartition des ripisylves anciennes suivant les vallées cartographiées.
(Triangles : verts pour bon état de conservation, rouge pour mauvais état).

CONCLUSION-PERSPECTIVES

La digitalisation de la couverture forestière en 1837 et de la couverture boisée en 2007, et leur superposition à l'enveloppe alluviale de notre zone d'étude (5 650 ha), nous a permis de faire un bilan de l'évolution forestière des vallées de Puisaye icaunaise.

Ainsi, la forêt (hors peupleraies) des vallées de Puisaye icaunaise est passée de 3 % de la surface de la zone d'étude en 1837 à 15 % en 2007, alors que ce taux reste proche de 10 % aux deux périodes pour les grandes vallées de Champagne (Thiberville, 2014). Le taux de boisement contemporain (incluant les peupleraies) des vallées de Puisaye est de 25 %, ce qui montre que la populiculture (partiellement prise en compte dans la carte d'État-major de 1837) y est assez prégnante.

Cependant, près des 2/3 de la superficie forestière des vallées de Puisaye en 1837 est boisée aujourd'hui, ce qui permet de comptabiliser 103 ha de forêt ancienne dont les 4/5 ne sont visiblement pas impactés par la populiculture, d'après photointerprétation. En comparaison, moins du tiers de la superficie forestière de 1837 s'est maintenue jusqu'à aujourd'hui dans les vallées de Champagne.

Les 103 ha de forêt alluviale ancienne de Puisaye sont morcelés puisque répartis en 71 enveloppes forestières dont près de la moitié de moins de 1 ha.

Les forêts anciennes de Puisaye sont rares. Cette rareté est surtout liée à des défrichements antérieurs à 1837. Cependant, **leur caractère subnaturel semble bien conservé**, suite à l'examen des photos aériennes.

La situation est cependant fluctuante suivant les six vallées étudiées, celle du Tholon se distingue particulièrement par un bon état quantitatif et qualitatif de la forêt aux différentes époques. Cependant, la populiculture y occupe plus de place que la forêt subnaturelle et il convient d'être vigilant quant à son extension future. De plus, la forêt ancienne y est totalement localisée dans son cours supérieur.

Concernant les ripisylves, dont la cartographie a été obtenue suite à la superposition des couches forestières au tracé des cours d'eau (389 km), il ressort que les ripisylves boisées contemporaines (incluant les peupleraies) occupent 44 % du linéaire, soit une proportion presque double de celle du taux de boisement contemporain. Par contre, avec un peu moins de 2 % (7 km), les ripisylves anciennes présentent un taux conforme à celui de la superficie en forêt ancienne.

Compte-tenu de la validation du concept de forêt ancienne (cf. fiche Action 1) et de celui de ripisylve ancienne (cf. fiche Action 2), mais aussi de l'effet amplificateur de la ripisylve pour la conservation de la flore des forêts anciennes, nous disposons maintenant des principaux éléments pour préfigurer une stratégie de conservation/restauration des forêts anciennes alluviales de Puisaye avec un rôle particulier à jouer par les ripisylves, aussi bien anciennes que récentes, pour leur connectivité.

Au regard des particularités de chaque vallée, c'est à cette échelle que la stratégie opérationnelle doit être élaborée avec chaque fois des leviers spécifiques. Il y a probablement des priorités et des hiérarchies à établir collégialement entre les différents acteurs de l'aménagement et de la gestion de ces territoires. Nous souhaitons que ce travail soit réalisé, dans un futur proche, en continuité du projet FRAPVAL. Pour cela, nous tenons à disposition les couches SIG élaborées pendant le projet FRAPVAL (cf. liste et caractéristiques en Annexe 1).

BIBLIOGRAPHIE

BERTHELOT A., CHEVALIER R., ARCHAUX F. et GAUDIN S. 2011 – Biodiversité floristique dans les peupleraies cultivées de Champagne-Ardenne. *Revue forestière française*, LXIII (1) : 33-44.

CHEVALIER R., ARCHAUX F., BERTHELOT A., CARNNOT-MILARD L., DUPREZ M., GAUDIN S. et VILLEMEY A. 2013 – Le concept de forêt ancienne s'applique-t-il aux peupleraies cultivées ? Test de pertinence avec la flore des vallées de Champagne. *Revue Forestière Française*, LXV (4) : 375-388.

DESSANGES B. 2018 – *Cartographie des forêts anciennes dans la vallée de l'Ouanne et ses affluents (89)*. Rapport de Licence professionnelle gestion des forêts et de la ressource en eau, Université de Tours, LEGTA des Barres, Irstea, 28 p.

FAVRE C., GREL A., GRANIER E., COSSERAT-MANGEOT R., BACHACOU J., LEROY N. et DUPOUEY J.L. 2016 – *Digitalisation des cartes anciennes. Manuel pour la vectorisation de l'usage des sols et le géoréférencement des minutes 1:40 000 de la carte d'État-Major*. Version 12.8, INRA, 58 p.

GARNIER M., BASTICK C., COLIN A., COMMAGNAC L., LALLEMANT T., MAISONNEUVE B., MAZEPA F., SIMON M. et VEGA C. 2019 – LA BD FORÊT® V2. Une cartographie forestière nationale pour les territoires. *L'IF, Synthèse périodique de l'inventaire forestier-IGN*, n°46, octobre 2019, 16 p.

GIRAULT D. 1988 – *Les stations forestières de la Puisaye*. Cemagref, Nogent-sur-Vernisson, 246 p.

THIBERVILLE M. 2014 – Les forêts anciennes des vallées de Champagne-Ardenne : de la connaissance scientifique à la communication publique. *Bulletin de la Société d'Étude des Sciences Naturelles de Reims*, n° 27-28 : 27-34.

Annexe 1 : Couches vecteur du système d'information géographique du projet FRAPVAL

1_ZE_Alluvial_Rivieres_2020_04_28 :

Délimitation de la zone d'étude, partie de la SER « L1 - Vallées des bassins Artois, Picardie et Seine-Normandie », prolongée en tête de bassin suivant la géologie Fz (BRGM 1/50 000^{ème}).

Distinction de 6 bassins de rivière dans le champ « Riviere » (Loing, Ouanne-aval, Ouanne-amont, Branlin, Vrin, Tholon).

2_ZE_Alluvial_Tampon_200_2020_04_28 :

Délimitation de la zone d'étude élargie avec une bande tampon de 200 m de part et d'autre des vallées par rapport au fichier 1.

3_EM1837_FP_All_200_2020-04-28 :

Digitalisation + géoréférencement niveau 4 + ajustement manuel (équivalent niveau 5), des forêts et prairies en 1837, sur les vallées et zone tampon de 200 m (fichier 2).

Dans le champ « Typologie », 1 = forêt et 3 = prairie.

Purge des polygones isolés < 0,25 ha.

4_EM1837_FP_All_Fz_2020-04-28 :

Idem fichier 3 mais appliqué seulement à la zone alluviale (fichier 1).

5_BDF2007_ForRet_All_Fz_2020-05-05 :

Forêt contemporaine (2007) issu de BD Forêt® V2 retravaillé Irstea (modification de certains contours, intégration polygones 0,25 à 0,50 ha ≥ 20 m de large), sur la zone alluviale (fichier 1).

Dans le champ « TFC_RC07 », F = forêt, P = peupleraie et I = intermédiaire (mélange ou mixte).

Dans le champ « Lineaire », 0 = surfacique et 1 = linéaire.

6_FPA_1837_2007_All_Fz_2020-05-07 :

Forêt potentiellement ancienne = présente en 1837 (fichier 4) et en 2007 (fichier 5), sur la zone alluviale (fichier 1).

Dans les champs « FA_1950 », « FA_2002 », « FA_2007 » et « FA_2014 », état de conservation sur les photos aériennes correspondantes, avec : 1 = très dégradé (faible partie de la surface en forêt ou peupleraie monospécifique), 2 = dégradé (idem mais partiel ou atténué), 3 = légère dégradation possible mais ne remettant pas en cause le concept de forêt ancienne, 4 = bon état apparent.

Dans le champ « ECons_FA » : synthèse des 4 années avec 12 = mauvais état et 34 = bon état.

Purge des polygones isolés < 0,25 ha.

Par rapport au fichier 5, certains polygones sont très légèrement modifiés.

7_Tr_Hydro_BD_Topo_v3_2019_Puisaye_2020-05-07 :

Extrait de BD TOPO® Version 3.0, de mars 2019, pour « TRONCON_HYDROGRAPHIQUE », sur les bassins versants de la zone d'étude (Puisaye icaunaise).

8_Ripisylves_2007_All_Fz_2020-05-11 :

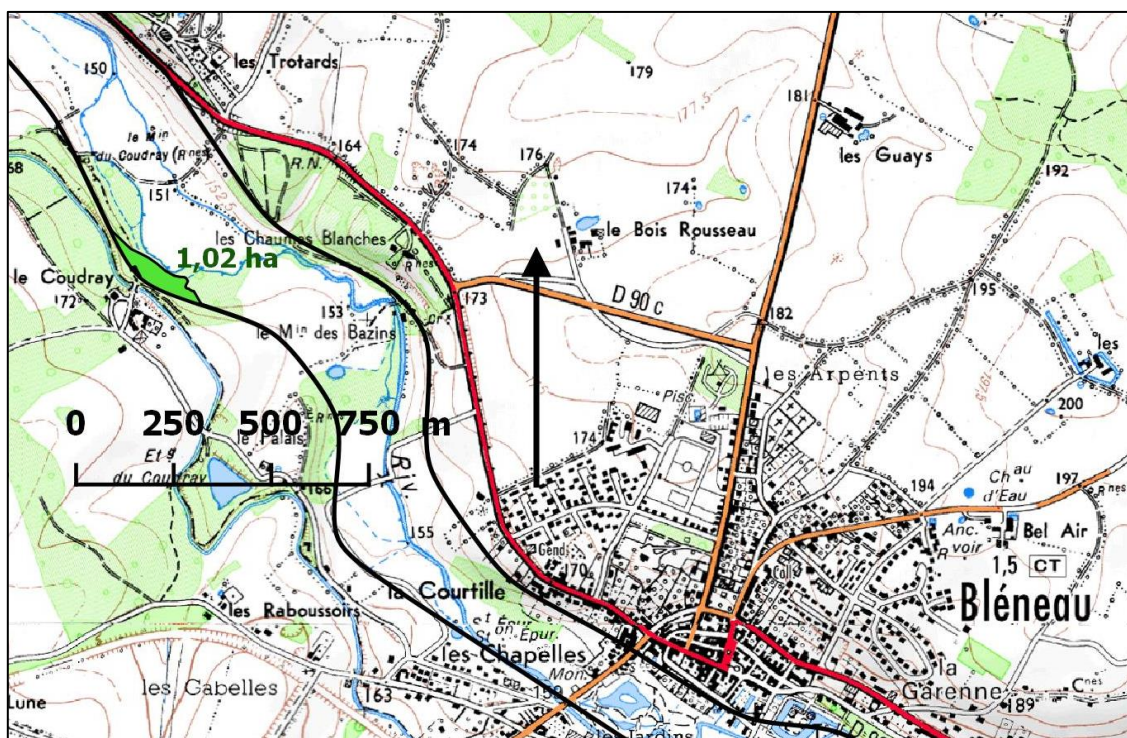
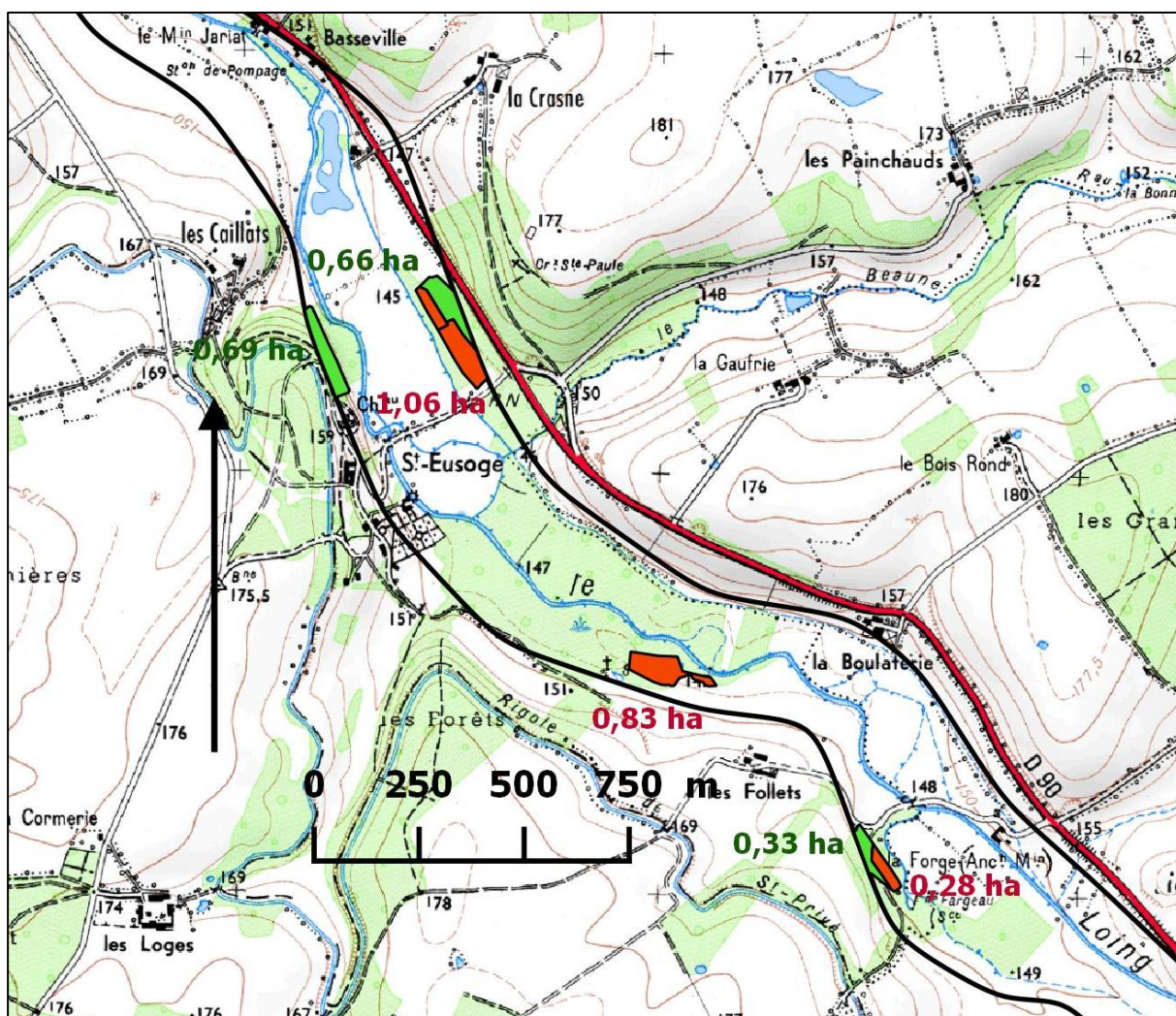
Ripisylves issues de l'intersection entre les fichiers 5, 6 et 7, sur la zone alluviale (fichier 1).

Dans le champ « Etat », code d'ancienneté et d'état de conservation :

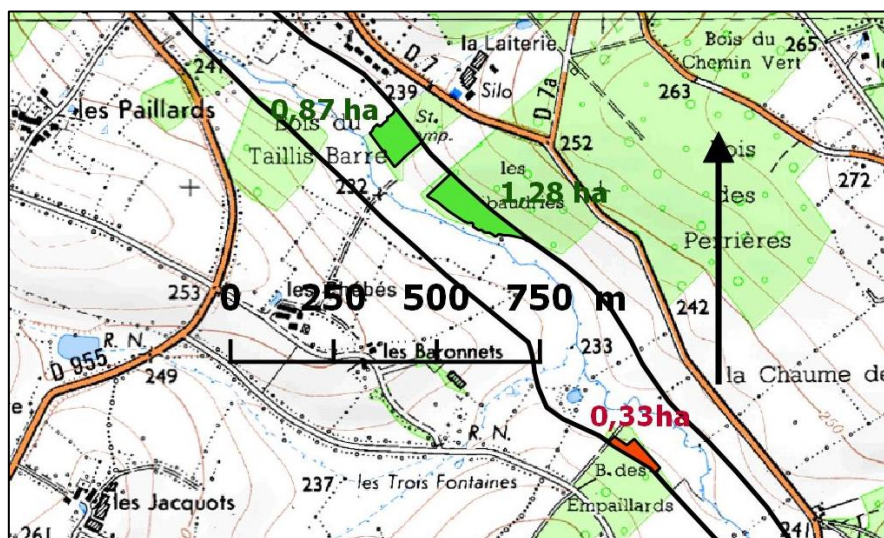
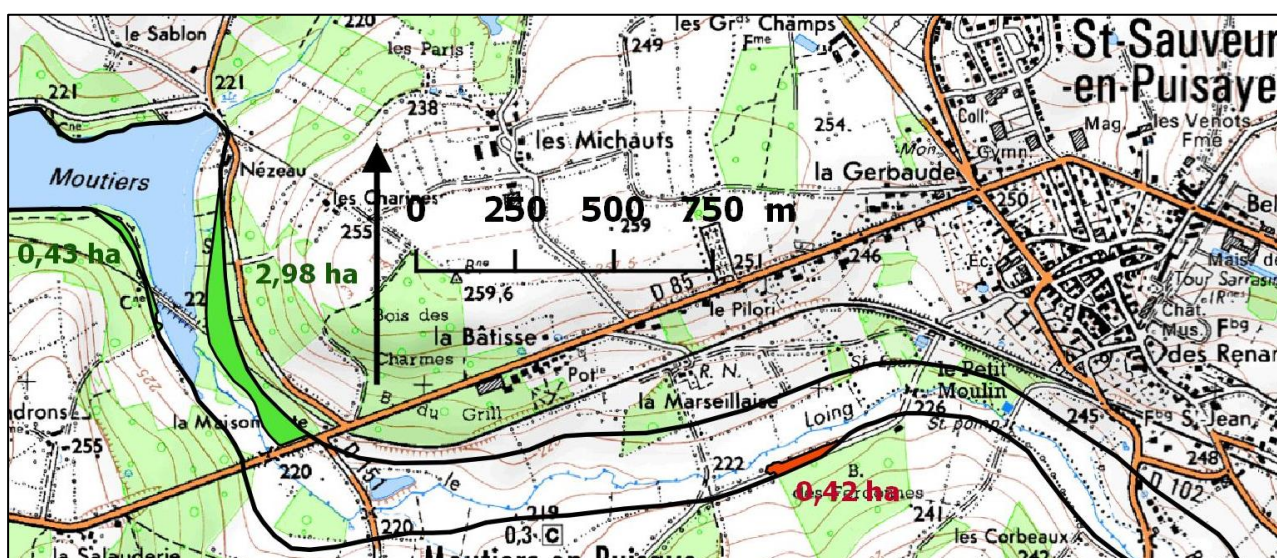
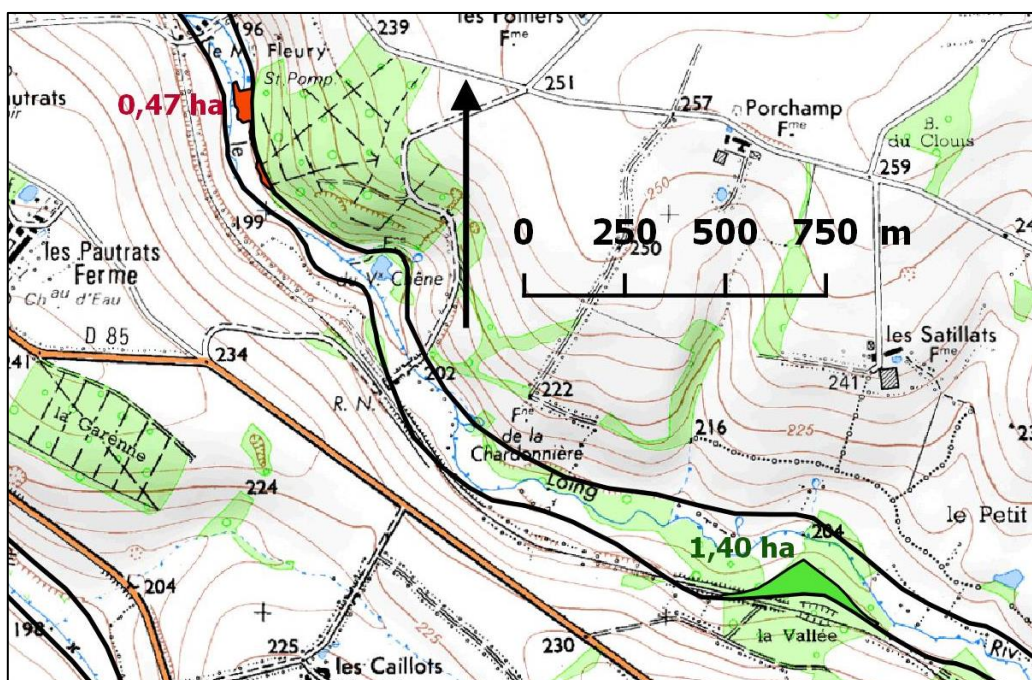
- AB : ripisylve ancienne (en forêt en 1837 et 2007) en bon état (cf. « ECons_FA » du fichier 6),
- AD : ripisylve ancienne en mauvais état,
- RF : ripisylve récente (absente en 1837) en forêt subnaturelle (cf. « TFC_RC07 » du fichier 5),
- RP : ripisylve récente en peupleraie,
- RI : ripisylve récente intermédiaire.

Vert : bon état de conservation. Rouge : mauvais état. Le tracé noir indique la zone alluviale.

Annexe 2a (suite) : Répartition des forêts anciennes sur le Loing

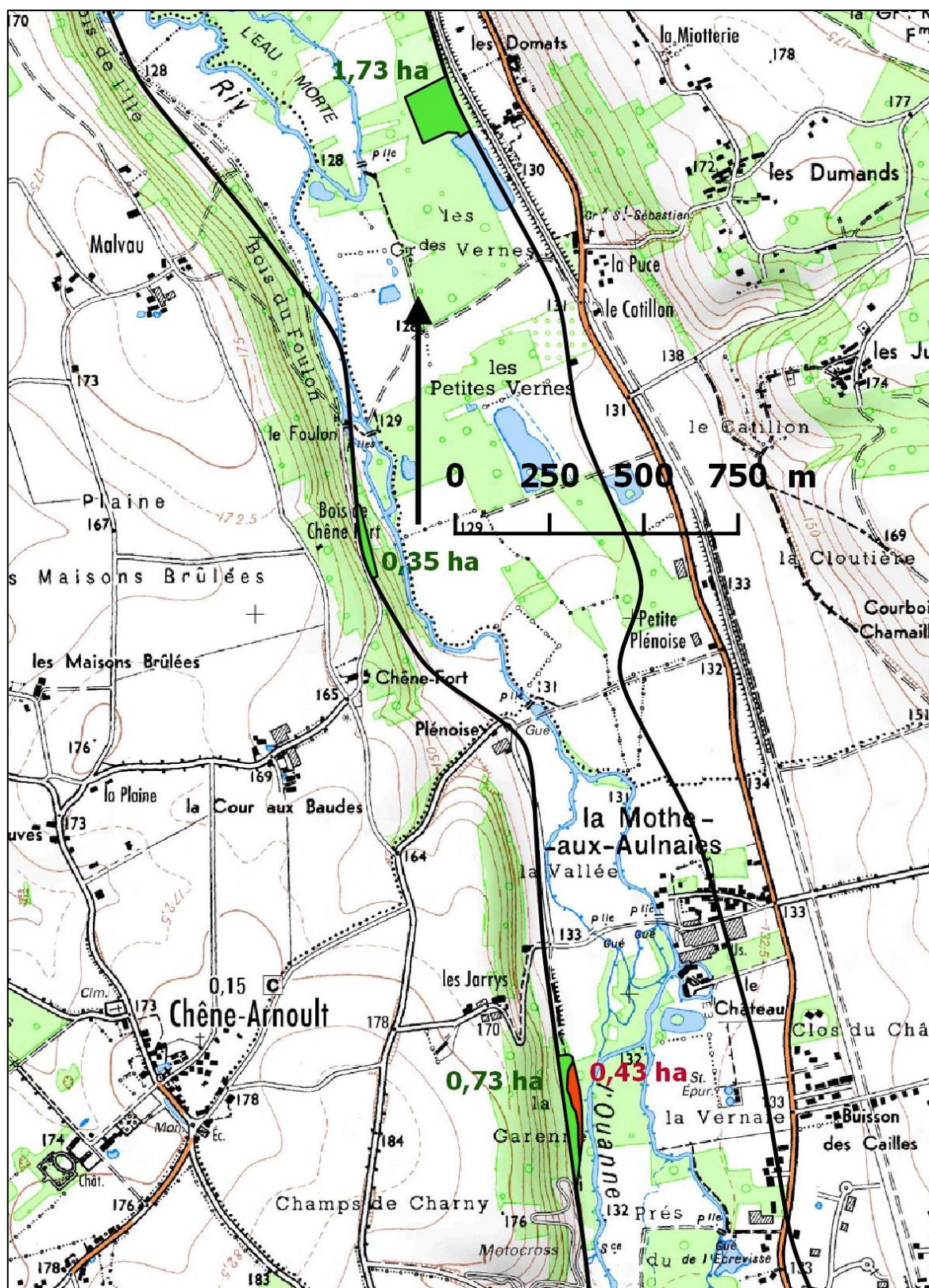


Annexe 2a (fin) : Répartition des forêts anciennes sur le Loing



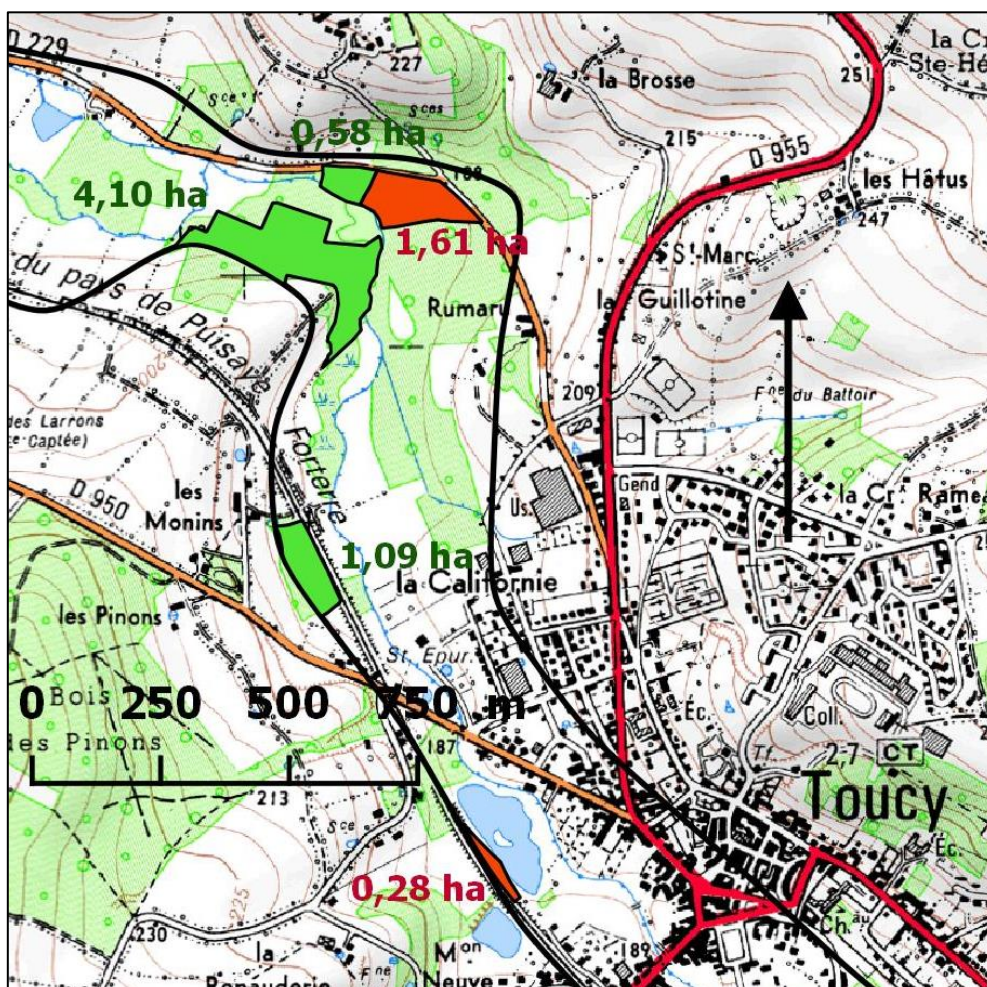
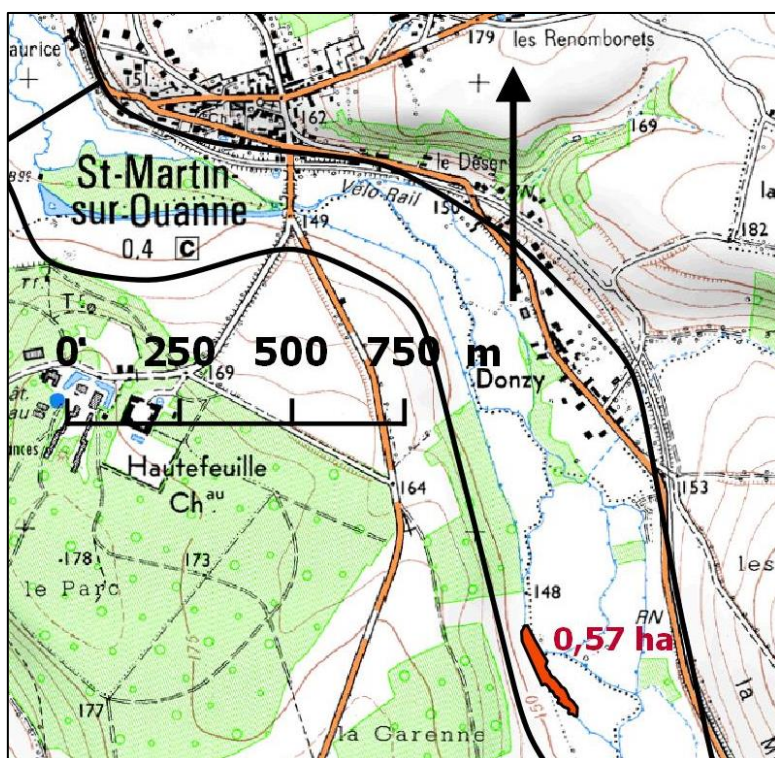
Annexe 2b : Répartition des forêts anciennes sur l'Ouanne aval

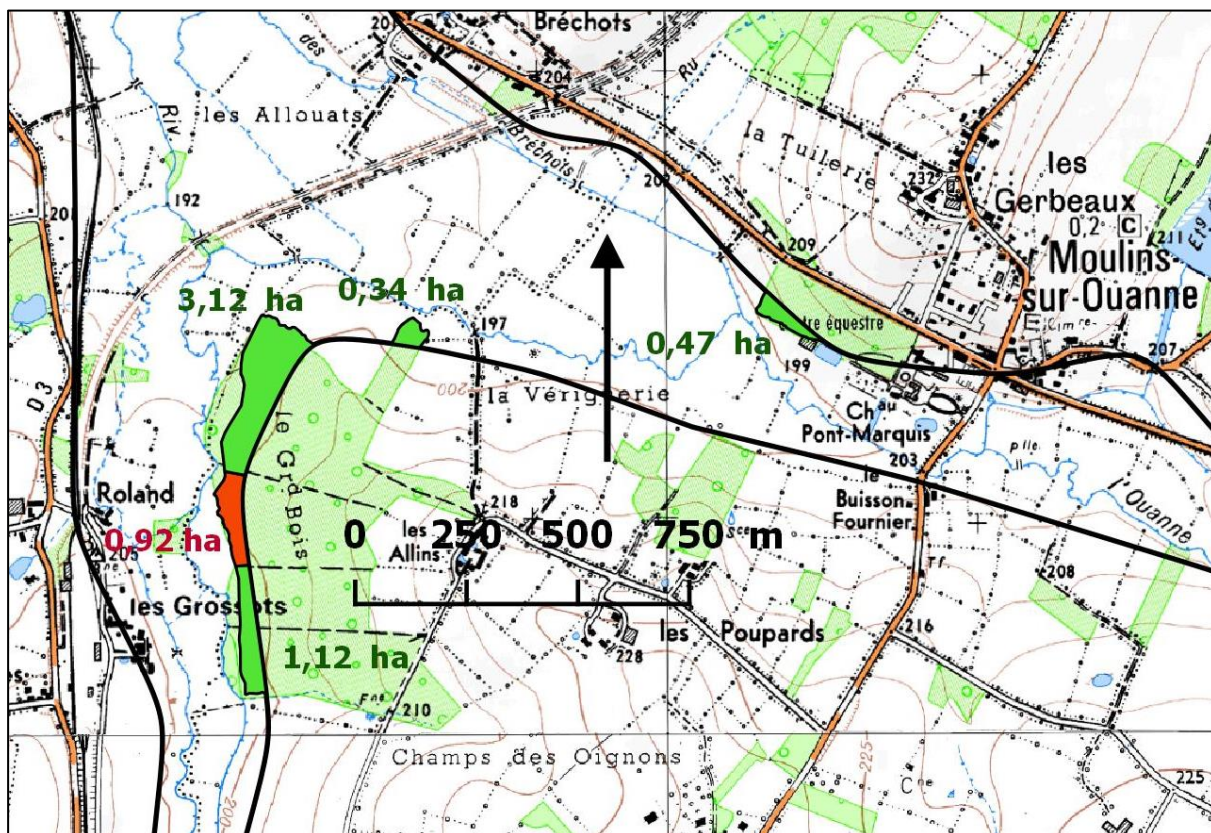
Vert : bon état de conservation. Rouge : mauvais état. Le tracé noir indique la zone alluviale.



Annexe 2c (début) : Répartition des forêts anciennes sur l'Ouanne amont

Vert : bon état de conservation. Rouge : mauvais état. Le tracé noir indique la zone alluviale.

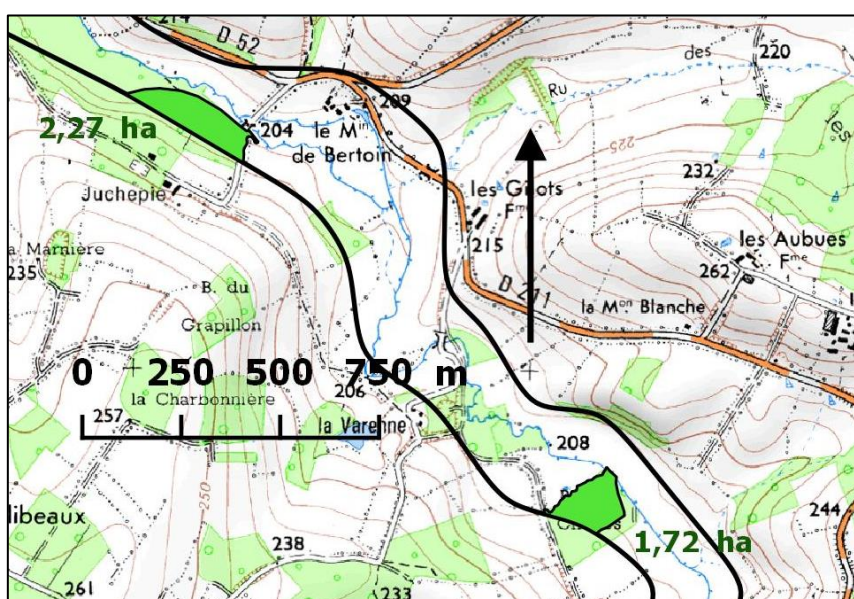
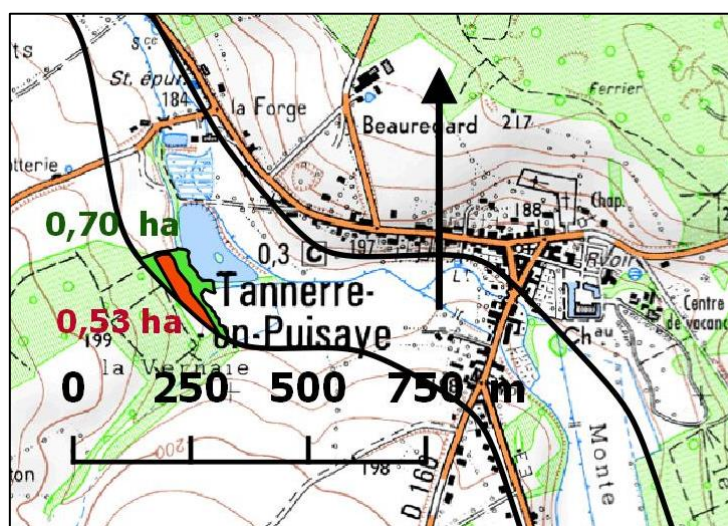
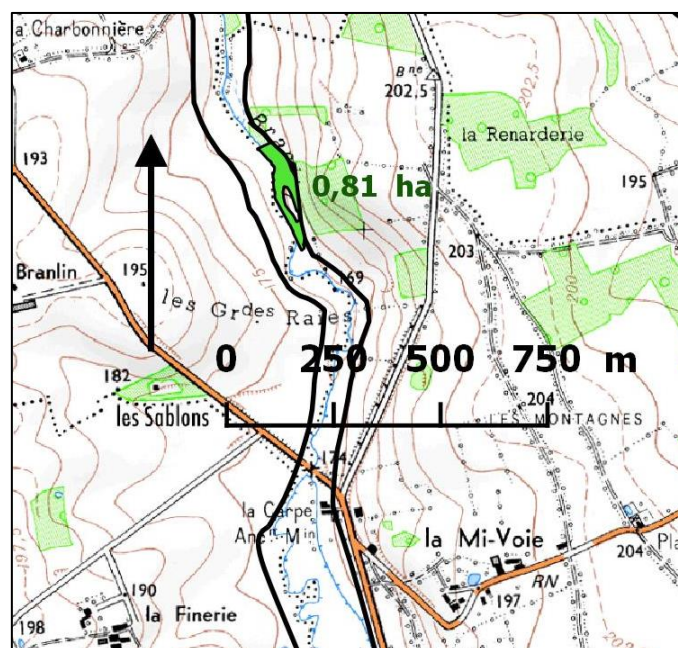




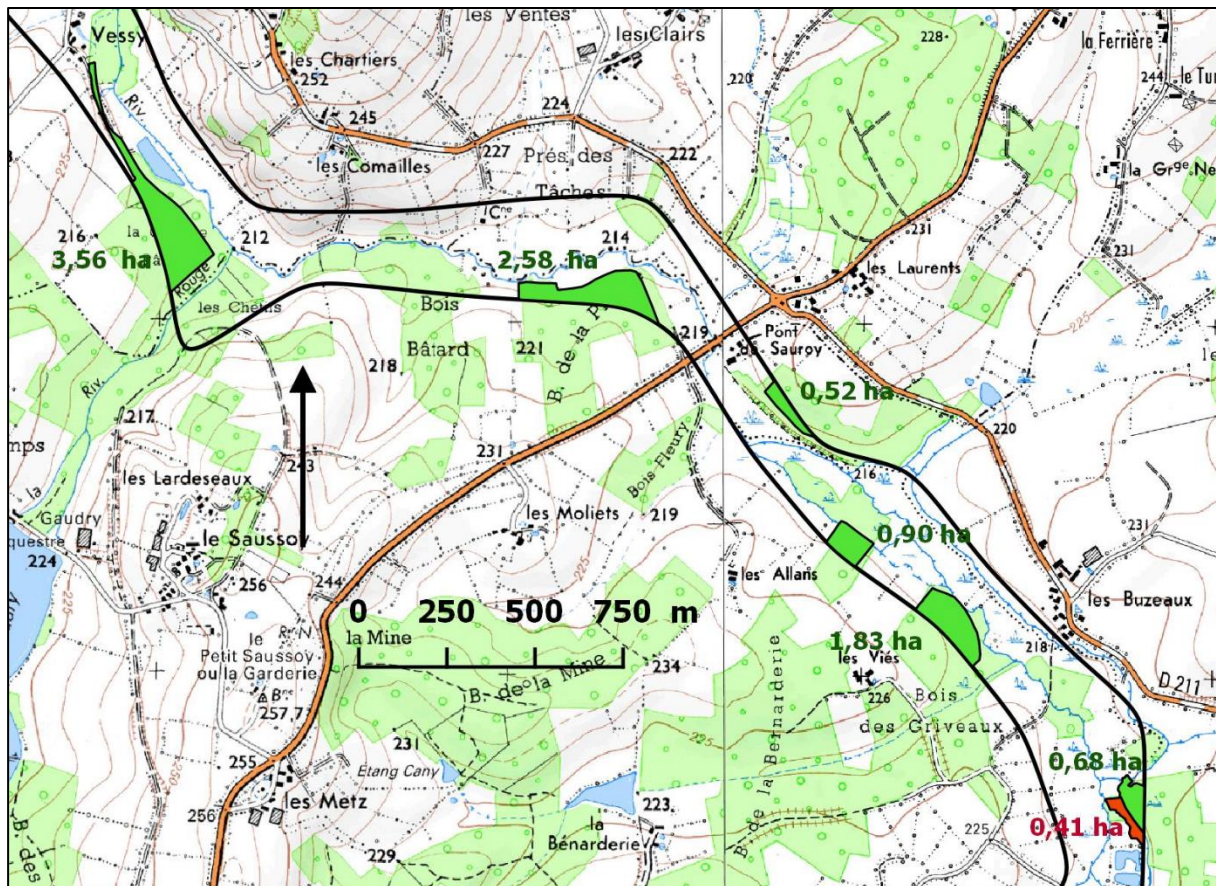
Action 3 : Cartographie des forêts et ripisylves anciennes des vallées de Puisaye

Annexe 2d (début) : Répartition des forêts anciennes sur le Branlin

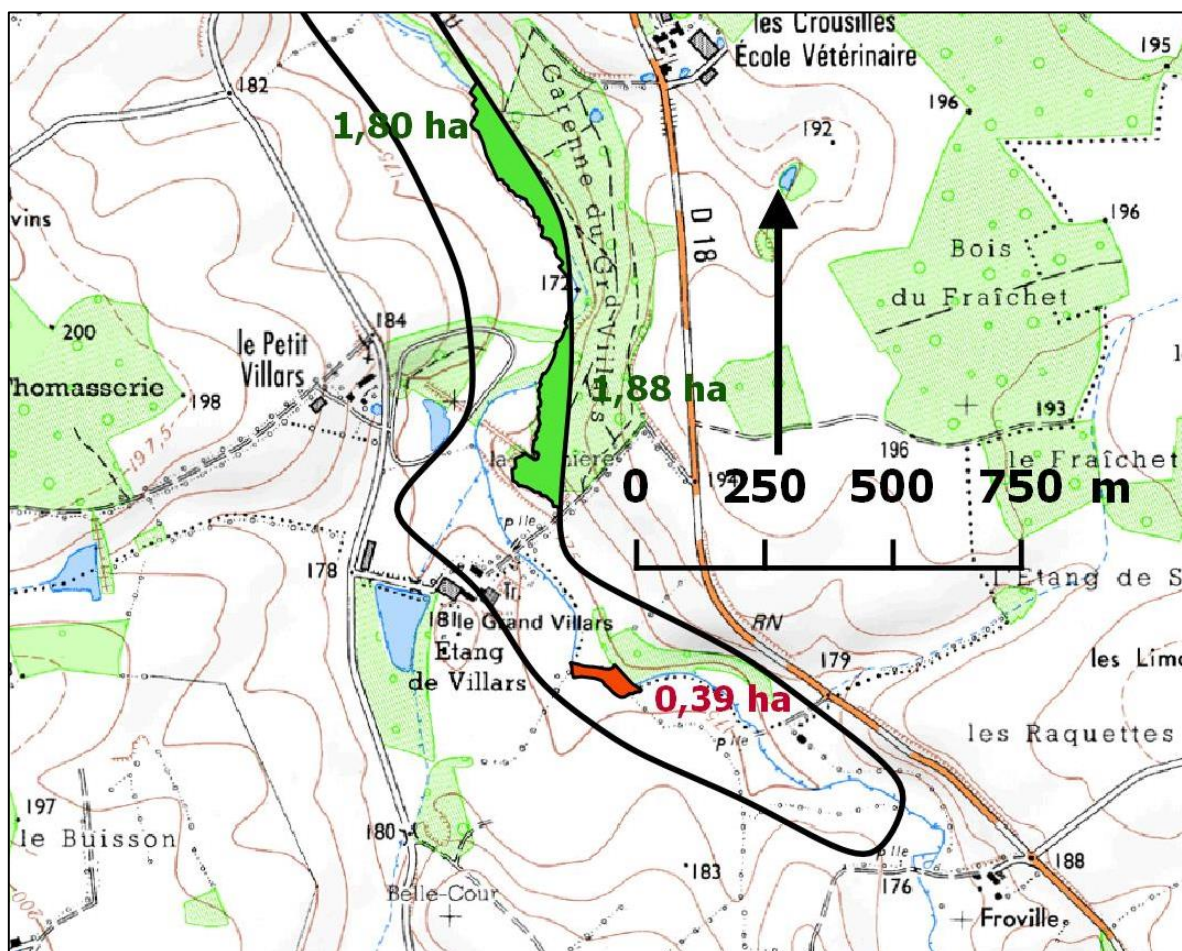
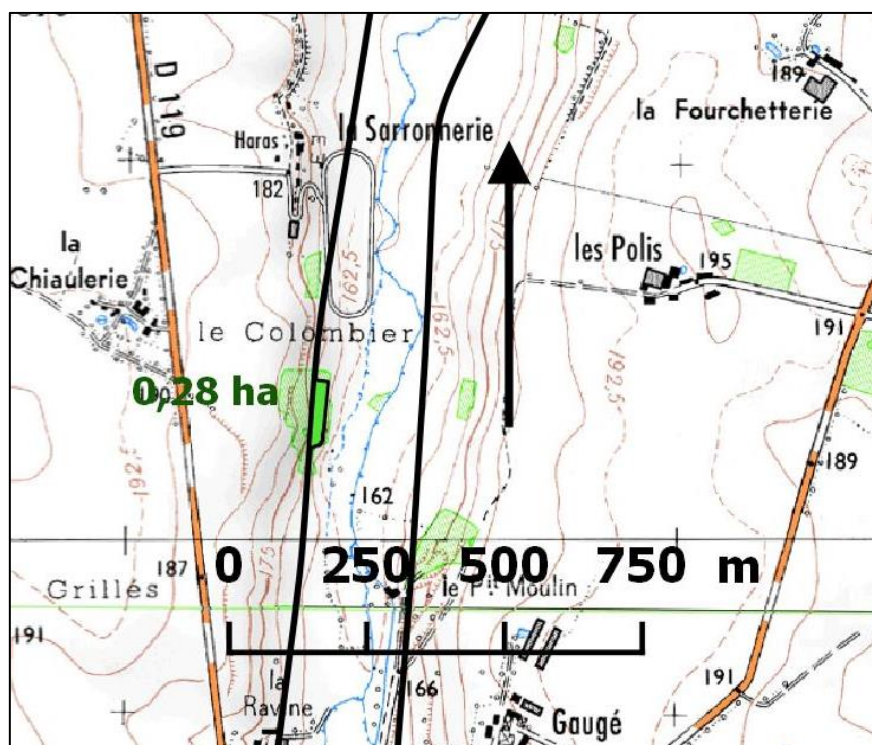
Vert : bon état de conservation. Rouge : mauvais état. Le tracé noir indique la zone alluviale.



Annexe 2d (suite) : Répartition des forêts anciennes sur le Branlin



Annexe 2d (fin) : Répartition des forêts anciennes sur le Branlin (Agréau)



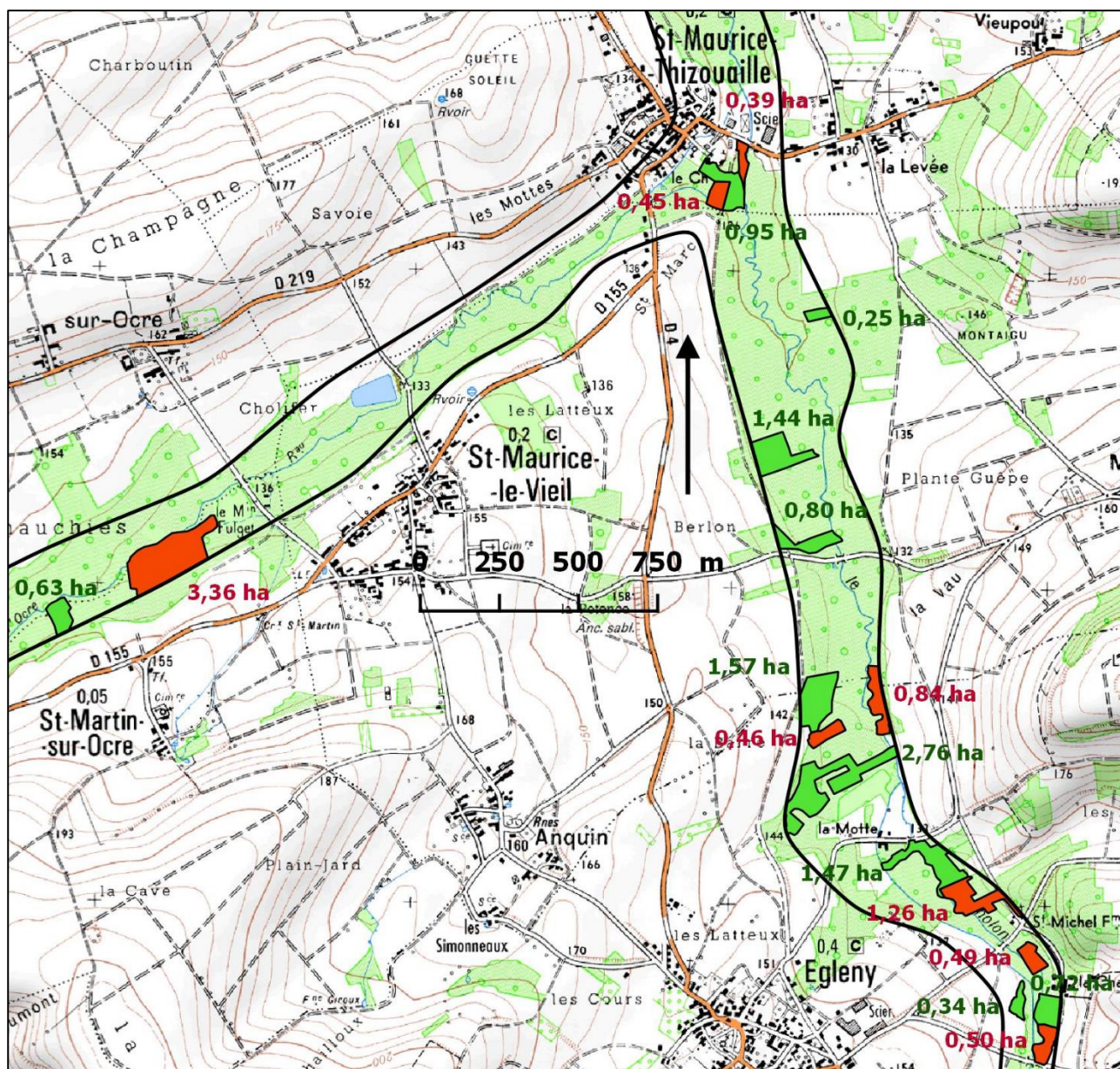
Annexe 2e : Répartition des forêts anciennes sur le Vrin

Topographic map of the Somme region. The map shows the Bois de la Bruyère and Bois du Temple. A black arrow points to the Bois de la Bruyère. A scale bar indicates 0, 250, 500, and 750 meters. The map includes labels for 'les Rousserons', 'le Vieux Château', 'le Pit Temple', 'le Grd Temple', 'le Min de Chasserat', and 'Somme-caise'.

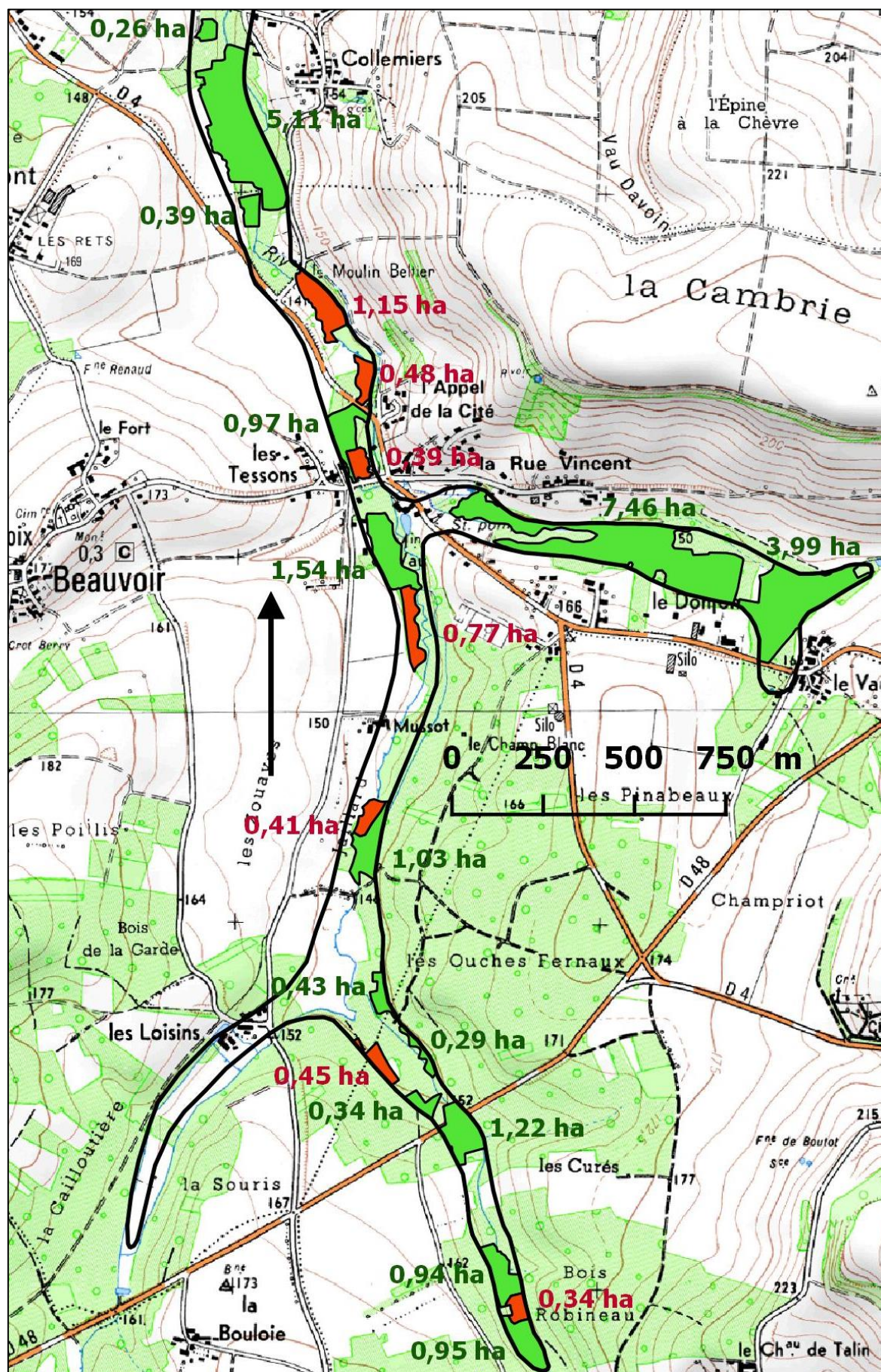
Action 3 : Cartographie des forêts et ripisylves anciennes des vallées de Puisaye

Annexe 2f (début) : Répartition des forêts anciennes sur le Tholon

Vert : bon état de conservation. Rouge : mauvais état. Le tracé noir indique la zone alluviale.



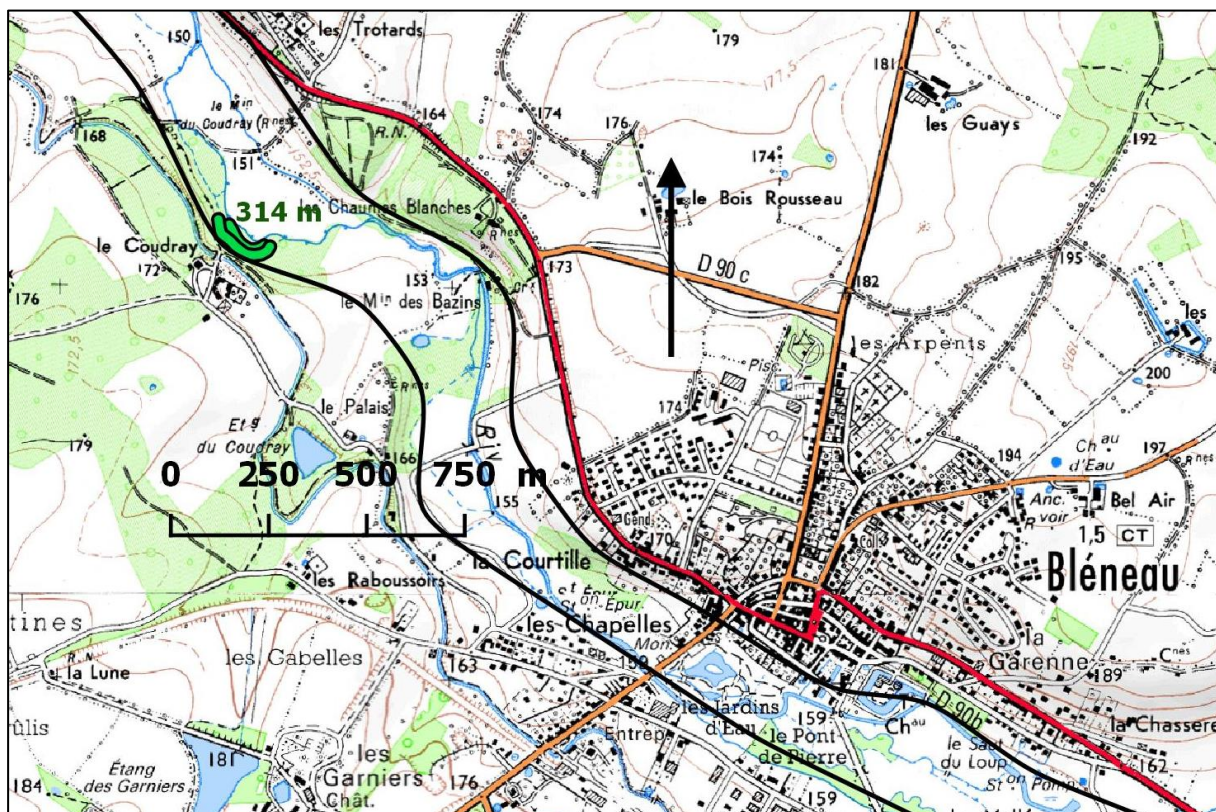
Annexe 2f (fin) : Répartition des forêts anciennes sur le Tholon



Action 3 : Cartographie des forêts et ripisylves anciennes des vallées de Puisaye

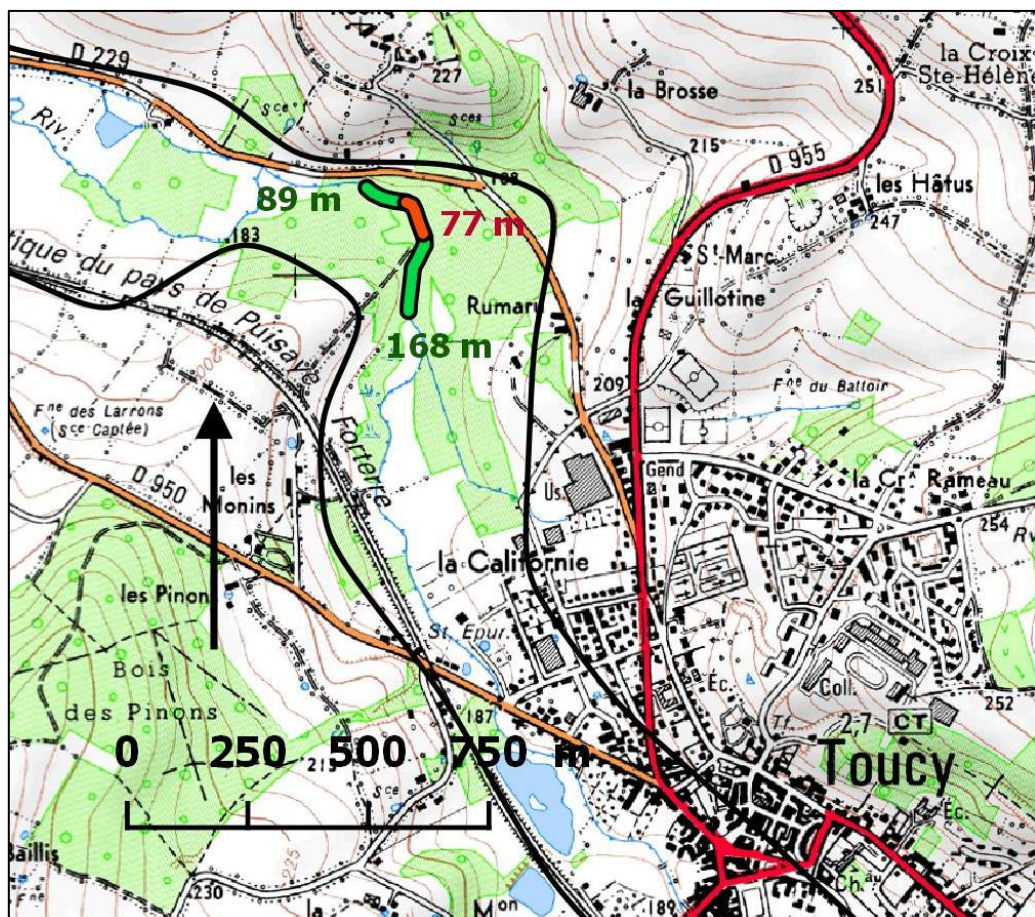
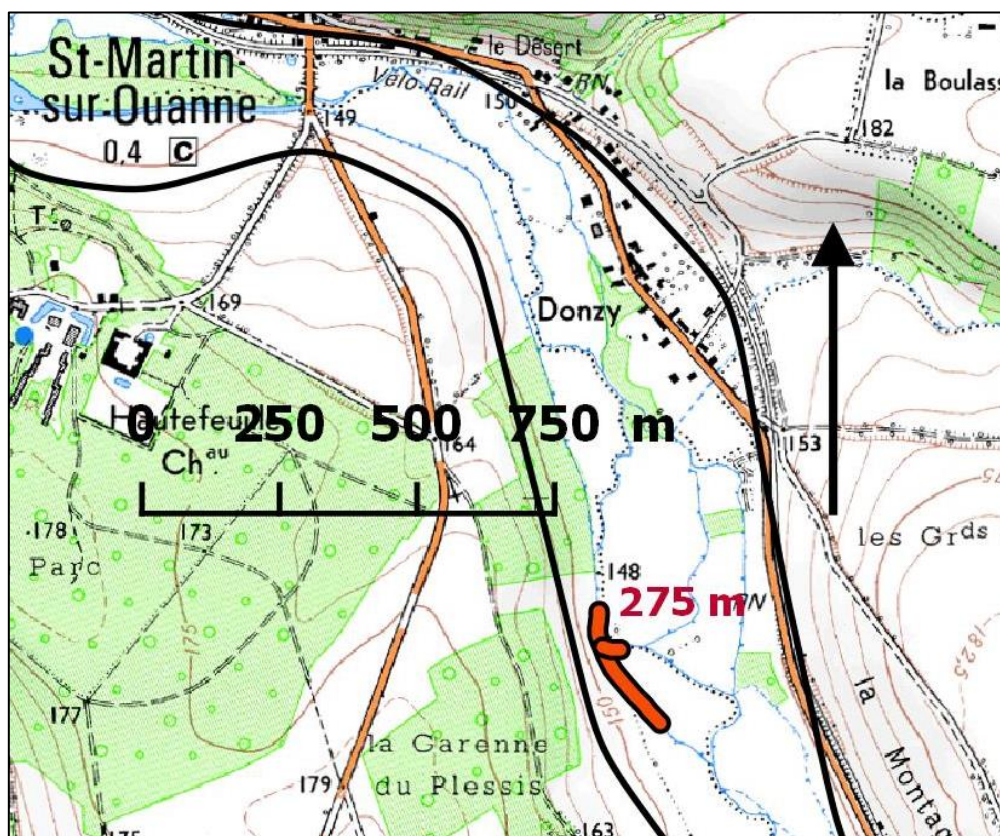
Annexe 3a : Répartition des ripisylves anciennes sur le Loing

Vert : bon état de conservation. Rouge : mauvais état. Le tracé noir indique la zone alluviale.



Annexe 3b : Répartition des ripisylves anciennes sur l'Ouanne amont

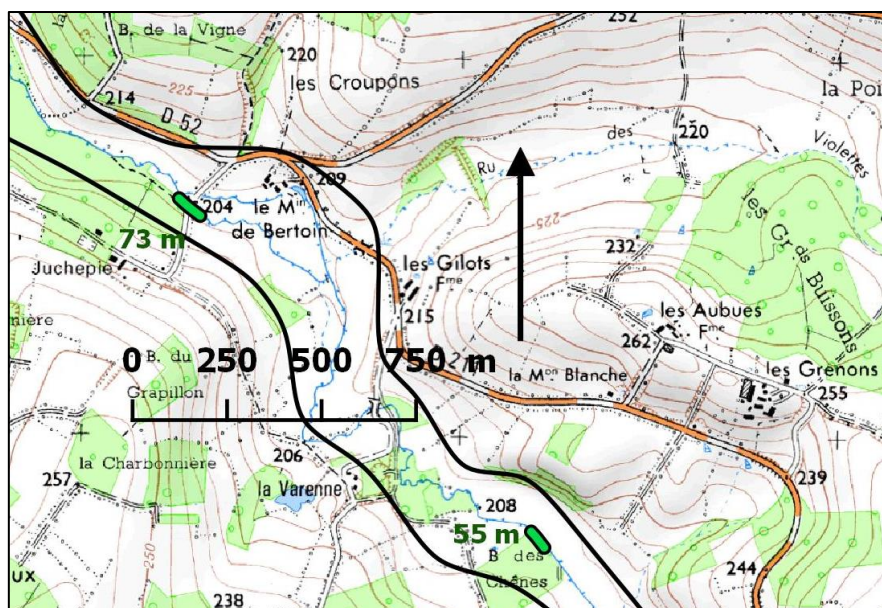
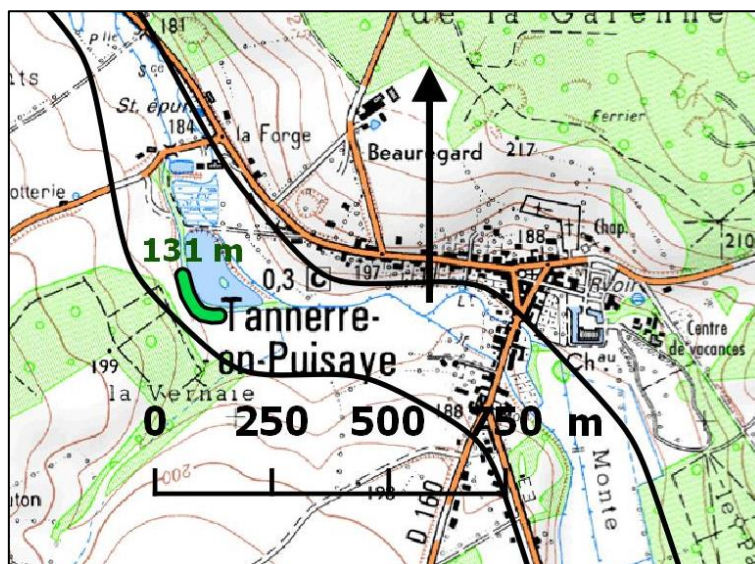
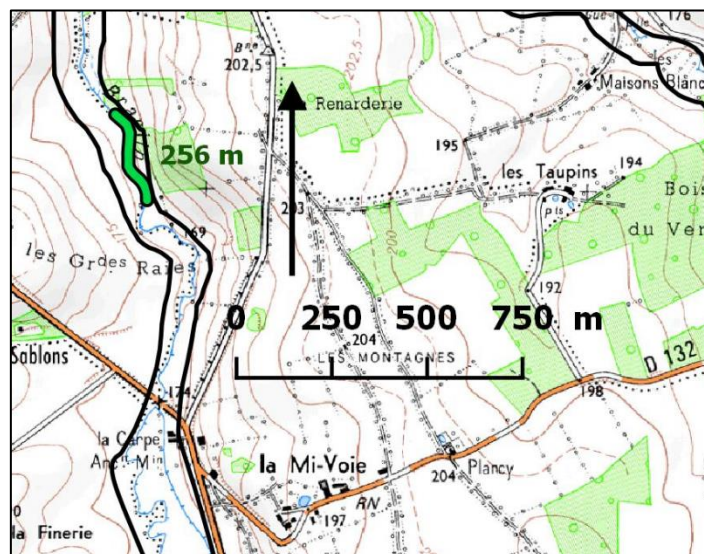
Vert : bon état de conservation. Rouge : mauvais état. Le tracé noir indique la zone alluviale.

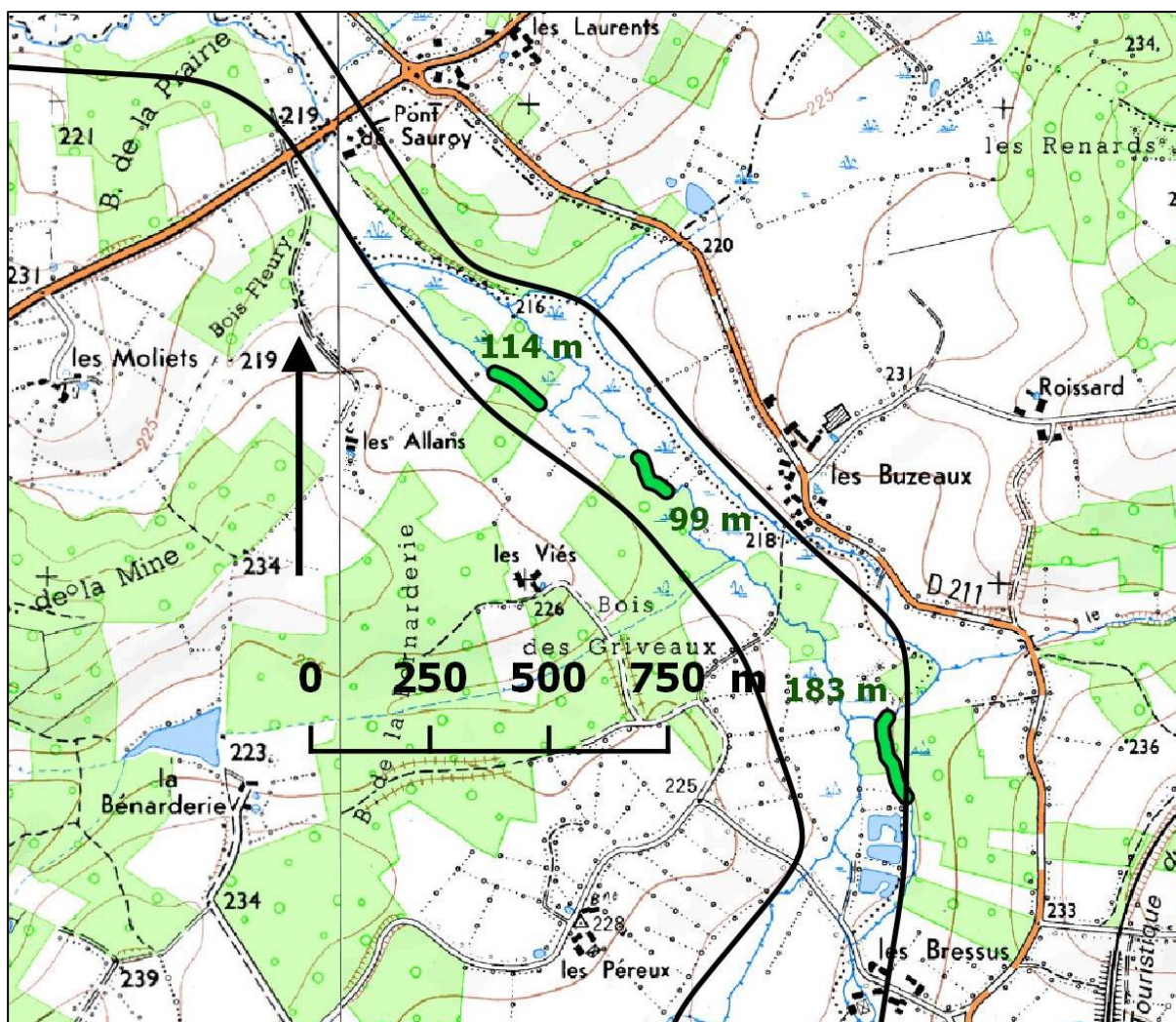


Action 3 : Cartographie des forêts et ripisylves anciennes des vallées de Puisaye

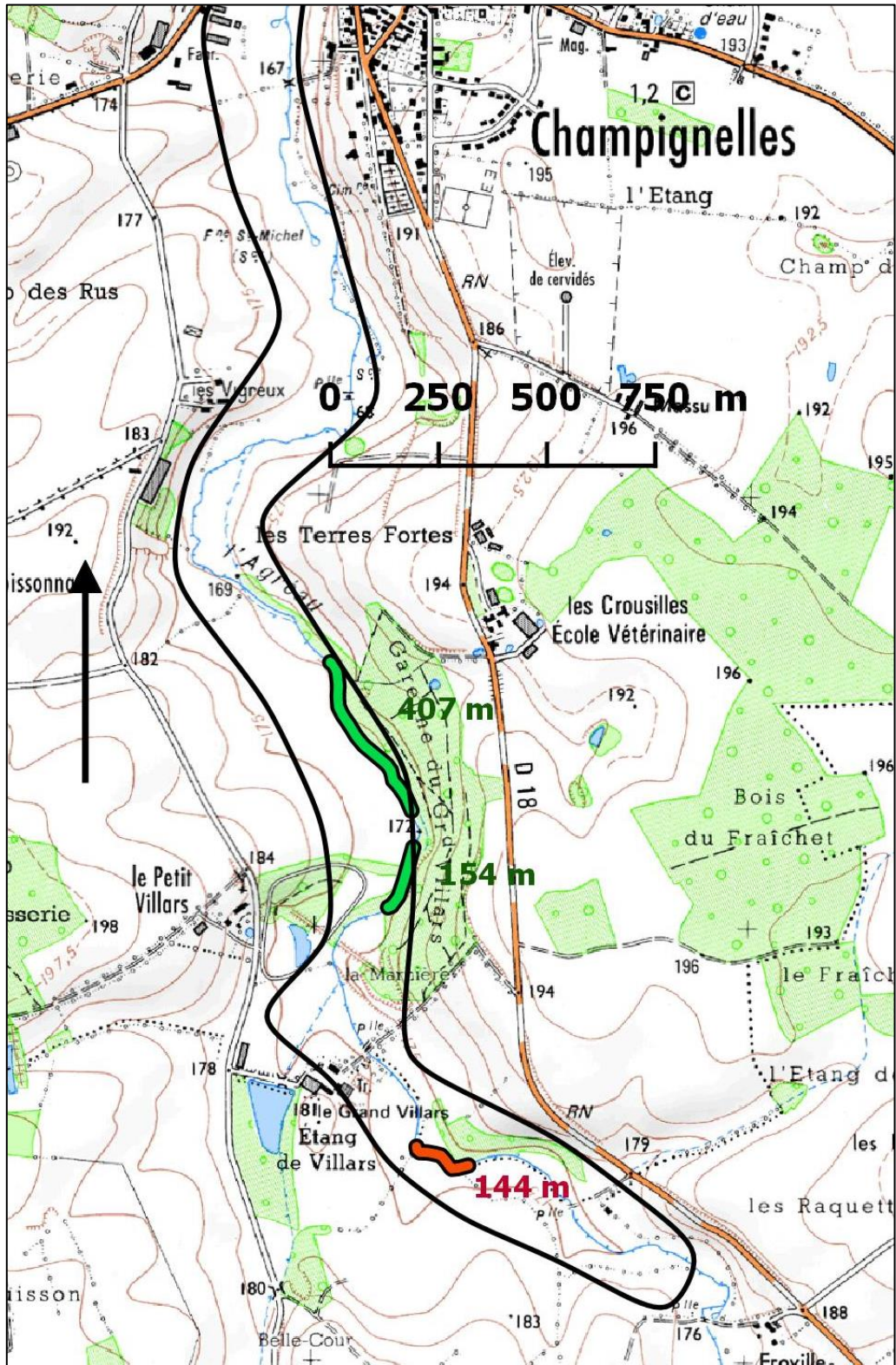
Annexe 3c (début) : Répartition des ripisylves anciennes sur le Branlin

Vert : bon état de conservation. Rouge : mauvais état. Le tracé noir indique la zone alluviale.



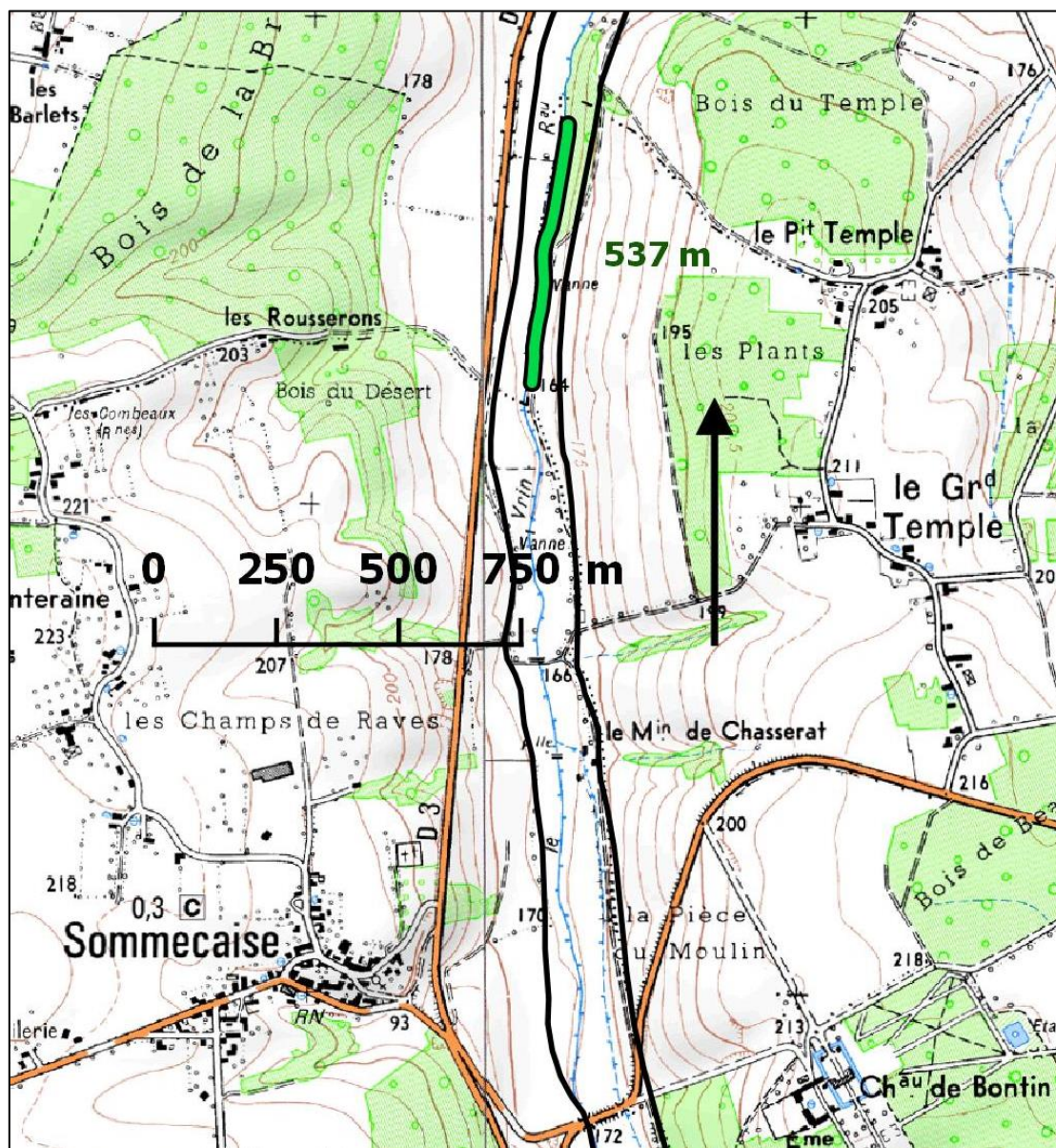


Annexe 3c (fin) : Répartition des ripisylves anciennes sur le Branlin (Agréau)



Annexe 3d : Répartition des ripisylves anciennes sur le Vrin

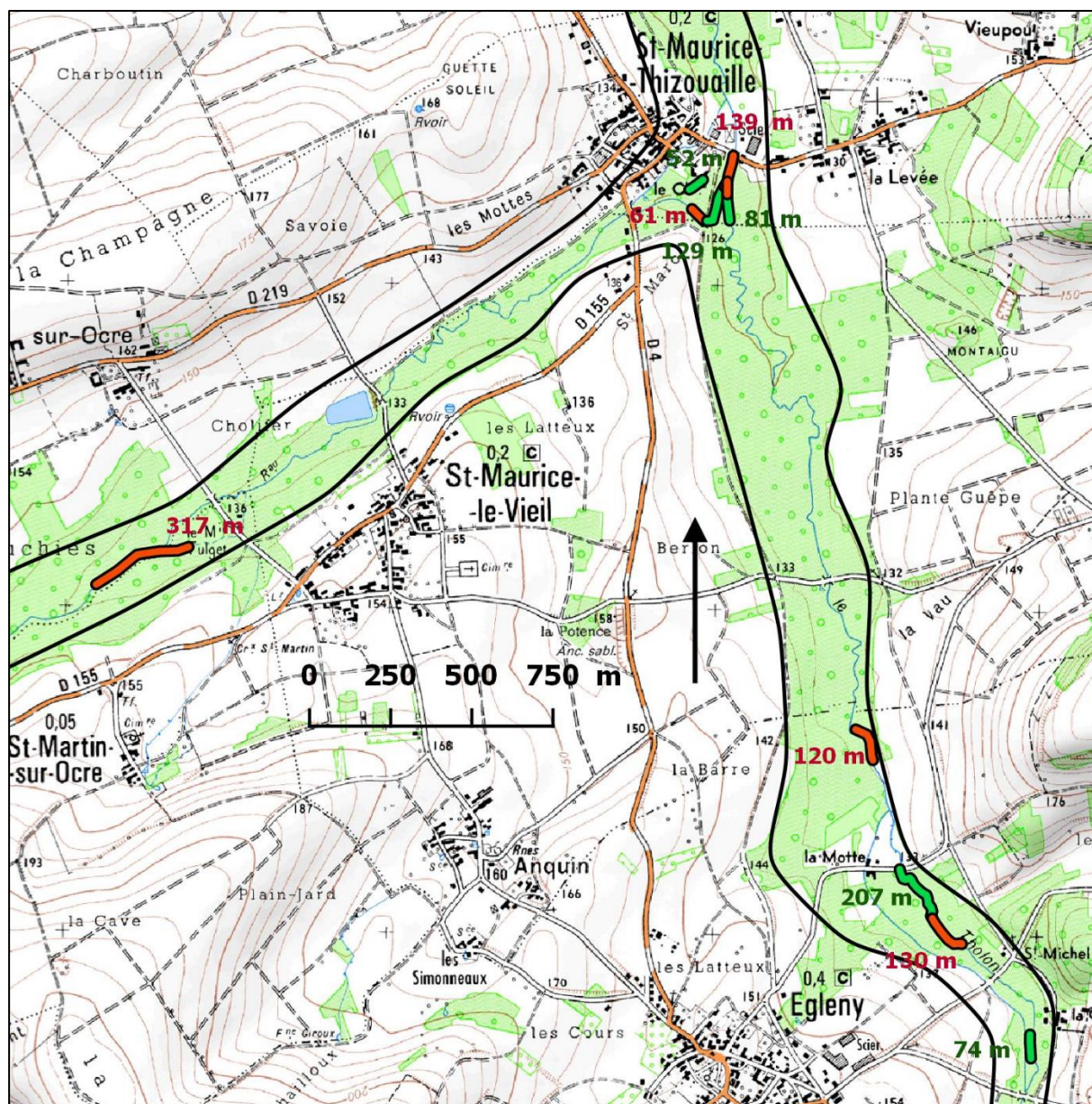
Vert : bon état de conservation. Rouge : mauvais état. Le tracé noir indique la zone alluviale.



Action 3 : Cartographie des forêts et ripisylves anciennes des vallées de Puisaye

Annexe 3e (début) : Répartition des ripisylves anciennes sur le Tholon

Vert : bon état de conservation. Rouge : mauvais état. Le tracé noir indique la zone alluviale.





Action 4 : TEST DU CONCEPT DE RIPISYLVE ANCIENNE POUR LES MACROINVERTÉBRÉS AQUATIQUES

Action portée par **Céline Le PICHON (INRAE, UR HYCAR, Antony-92)** celine.lepichon@inrae.fr

En collaboration avec : Évelyne TALES (INRAE, UR HYCAR, Antony-92)
Aliénor JELIAZKOV (INRAE, UR HYCAR, Antony-92)
Amandine ZAHM (INRAE, UR HYCAR, Antony-92)
Mathieu GIRON DIN (INRAE, UR HYCAR, Antony-92)

Relevés de terrain : Amandine ZAHM, Mathieu GIRON DIN

INTRODUCTION

De façon générale, l'effet de la ripisylve sur le fonctionnement écologique des cours d'eau est bien connu. Son rôle est pluriel : elle fournit des habitats ligneux pour les organismes aquatiques ainsi que des ressources alimentaires via l'apport de détritus allochtones ; elle a un effet filtre du fait de sa position d'interface entre le bassin versant et le cours d'eau pour retenir les polluants et les matières fines ; par l'ombrage qu'elle fournit elle peut contribuer à limiter la température de l'eau. La plupart du temps, la ripisylve est considérée comme un élément d'habitat, une caractérisation du contexte du corridor rivulaire. Cependant, la ripisylve est également un compartiment vivant constitué d'espèces végétales. Notamment l'âge de la ripisylve conditionne les communautés qui la composent. L'objectif de cette étude est de s'intéresser justement à la ripisylve non plus seulement en tant qu'élément descriptif des habitats des cours d'eau, mais aussi comme communauté pouvant interagir avec les communautés aquatiques, plus précisément les macroinvertébrés benthiques.

Deux voies d'analyse sont testées :

- Si la ripisylve est ancienne, cela suppose que le cours d'eau a subi peu d'altérations géomorphologiques et donc que les peuplements de macroinvertébrés benthiques sont moins altérés. La littérature récente indique un effet parfois prépondérant de l'occupation ancienne du bassin versant par rapport à l'occupation récente sur l'état des peuplements de macroinvertébrés benthiques.
- Est-ce que les différences observées dans les communautés floristiques entre ripisylve ancienne et récente peuvent également influencer la composition des communautés aquatiques ?

MÉTHODE

Sur la base de la cartographie des forêts anciennes dans les vallées de Puisaye (cf. Action 3), nous avons sélectionné une zone d'étude limitée à l'Ouanne amont (incluant le Branlin) de manière à rester dans un même bassin versant. Ces cours d'eau se situent dans la même hydroécocorégion (HER 9 Tables calcaires). Dans cette zone, huit stations d'échantillonnage des macroinvertébrés ont été positionnées selon la présence de forêt ancienne ou récente au contact du cours d'eau (et par conséquent, contrastées en termes de présence de ripisylve ancienne ou récente) (cf. Figure 1).

Les peuplements de macroinvertébrés benthiques ont été échantillonnés en mai-juin 2018 selon le protocole standard pour évaluer la qualité biologique des petits cours d'eau pour permettre le calcul de l'I2M2 : douze prélèvements sont réalisés à l'aide d'un filet Surber dans divers supports selon leur taux de recouvrement dans la station. Les prélèvements sont fixés sur le terrain puis ramenés au laboratoire pour trier la macrofaune et la déterminer à la loupe binoculaire. L'utilisation de cette méthode a été privilégiée pour pouvoir par la suite compléter ces données par les données recueillies dans le cadre des réseaux de surveillance de la qualité des cours d'eau et élargir le jeu de données analysé (cf. Action 5).

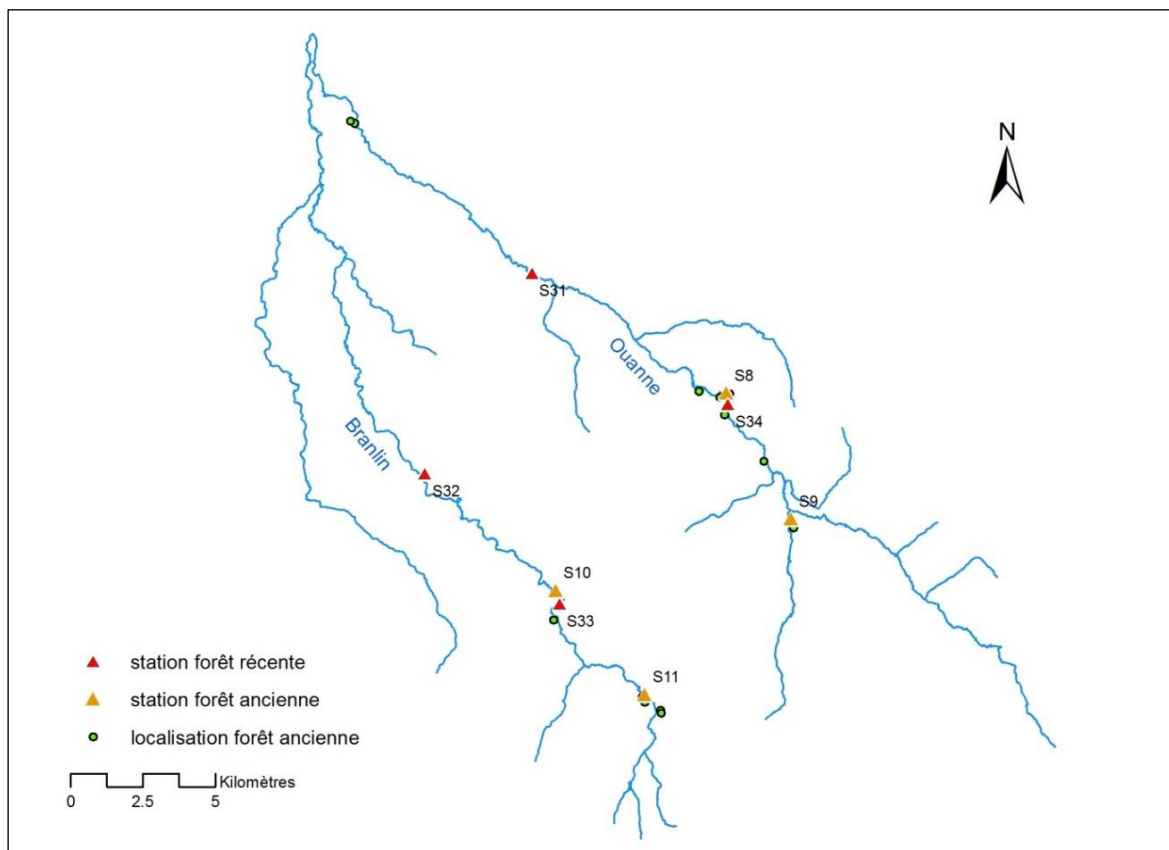


Figure 1 : Localisation des huit stations d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques.

Des relevés floristiques ont été réalisés dans les zones de forêt et ripisylve ancienne et récente selon le protocole précédemment décrit dans l'Action 2, ce qui permettra d'analyser localement les relations entre communautés floristiques de la ripisylve et communautés de macroinvertébrés. Un inventaire dendrométrique de la bande rivulaire sur une largeur de 2 m a été réalisé et permet de rendre compte de la composition dendrologique le long de la station d'échantillonnage des invertébrés (cf. Figure 2).

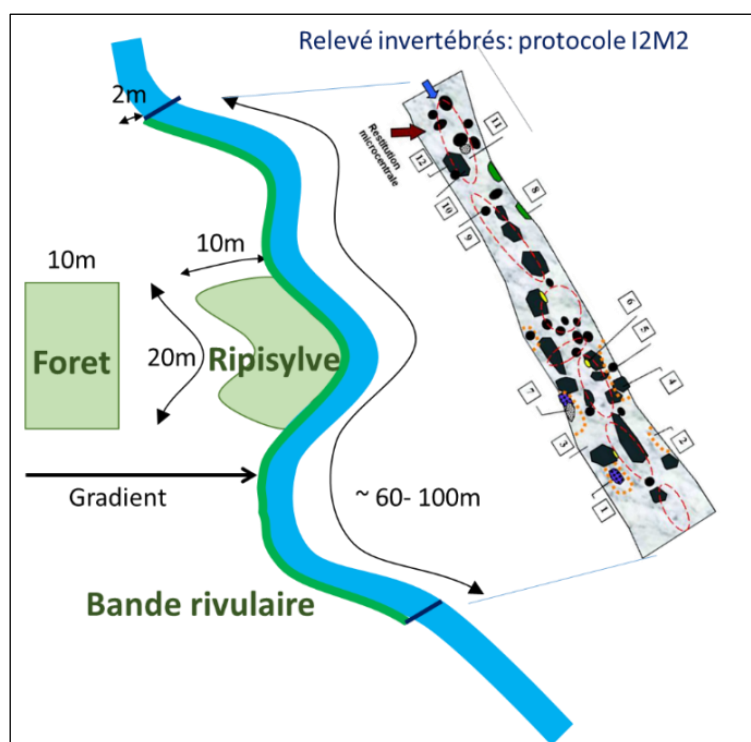


Figure 2 : Schématisation du protocole d'échantillonnage des divers compartiments : forêt, ripisylve, bande rivulaire et cours d'eau.

RÉSULTATS

Sur les huit stations échantillonnées, quatre en ripisylve ancienne (RA) et quatre en ripisylve récente (RR), 77 taxons ont été recensés dont 14 représentés par un seul individu. La première analyse consiste à utiliser le bioindicateur I2M2 pour évaluer quantitativement la qualité écologique du milieu sur la base des peuplements. L'I2M2 - Indice Invertébrés Multi-Métrique - est un indice couramment utilisé pour résumer la qualité écologique d'une rivière et se base sur l'évaluation des communautés de macroinvertébrés par rapport à un état de référence. Le calcul de l'indice repose sur la combinaison de cinq métriques qui apportent des informations complémentaires sur l'état du milieu : les indices de richesse spécifique et d'équitabilité des abondances entre espèces qui renseignent sur la quantité et la structure de la diversité taxonomique, respectivement, les proportions d'espèces ovovivipares et polyvoltines qui renseignent sur le niveau d'altération physico-chimique de l'eau et l'instabilité du milieu respectivement, et le degré de polluo-sensibilité du peuplement (ASPT = Average Score Per Taxon ; plus l'ASPT est grand, moins le milieu est pollué). Les 5 métriques de l'I2M2 ont été calculées, ainsi que l'abondance totale en individus et la valeur totale de l'I2M2 (cf. Tableau 1).

Tableau 1 : Valeurs des métriques de l'I2M2 aux huit stations échantillonnées.

Station		Age ripisylve	Date	ShannonDiv	ASPT	Freq- Polyvoltin	Freq- Ovovivipare	Richesse	I2M2	Abondance totale
S8	Ouanne à Toucy	Ancien	20/06/2018	2,0734	5,25	0,387	0,3153	27	0,2041	1999
S9	Ru de Fontenoy à Moulin-sur-Ouanne	Ancien	21/06/2018	1,9957	5,95	0,3686	0,1658	30	0,4658	1157
S10	Branlin à Mézilles	Ancien	28/05/2018	2,8913	6,1	0,3338	0,2311	32	0,4639	3765
S11	Branlin à Saint-Sauveur-en-Puisaye	Ancien	29/05/2018	2,6894	5	0,4127	0,2268	23	0,2548	1017
S31	Ouanne à Villiers ST Benoit	Recent	20/06/2018	3,5404	6,05	0,3142	0,1615	38	0,6076	2844
S32	Branlin à Tannerre-en-Puisaye	Recent	28/05/2018	1,9252	5,85	0,3576	0,2241	24	0,3352	3363
S33	Branlin à Mézilles	Recent	29/05/2018	2,9153	6,24	0,3295	0,2052	29	0,343	1326
S34	Ouanne à Toucy	Recent	21/06/2018	2,6487	5	0,3702	0,2289	36	0,4975	2041

Les valeurs de l'I2M2 indiquent que la qualité va de médiocre (intervalle de 0,148 à 0,295) à bonne (intervalle de 0,443 à 0,665) selon les limites en vigueur. Cela indique que la qualité est globalement plus dégradée qu'attendu car ces masses d'eau sont toutes classées en bon état selon le dernier état des lieux (2019).

Comme le nombre de stations est réduit, seules les tendances des métriques entre stations à RA et celles à RR sont observées (cf. Figure 3). La majorité des métriques calculées a tendance à avoir des valeurs supérieures pour les stations dont la ripisylve est récente : les peuplements de macroinvertébrés de ces stations sont en moyenne plus riches, plus diversifiés (Shannon), plus abondants. La fréquence des taxons ovovivipares et polyvoltins a tendance à être supérieure dans les stations à ripisylve ancienne (cf. Figure 3). L'augmentation de la fréquence de ces taxons indique que les milieux sont plus exposés à des stress. De fait, **les valeurs de l'I2M2 sont en moyenne inférieures dans les stations à ripisylve ancienne.**

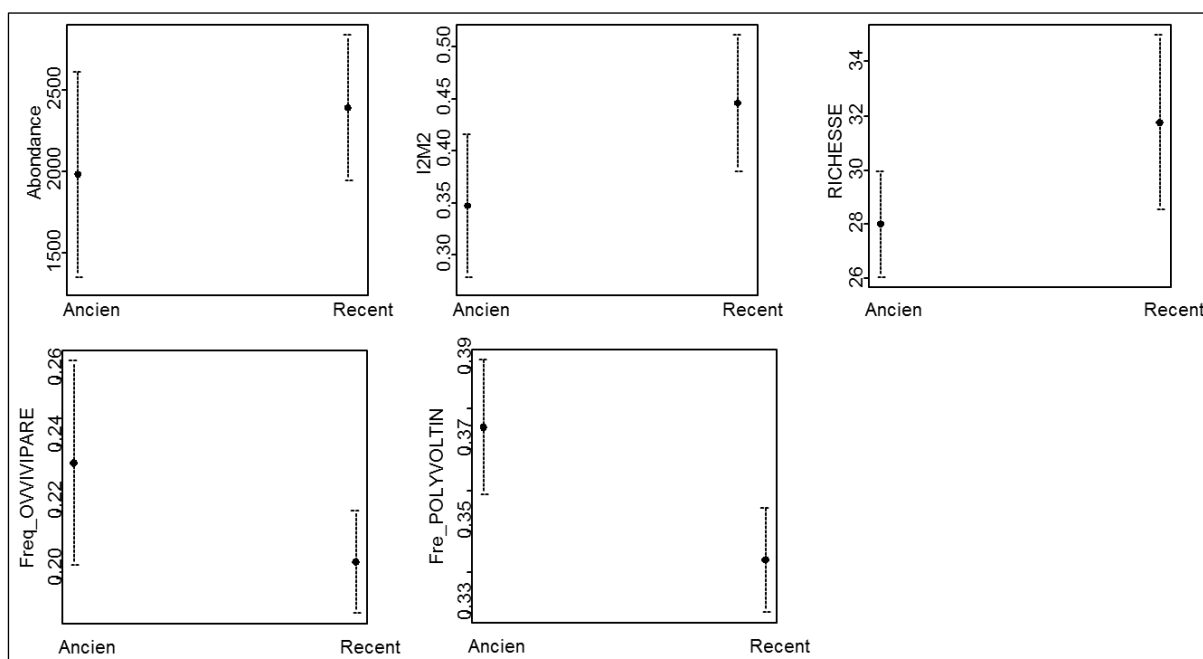


Figure 3 : Moyennes et erreurs standards de quelques métriques de l'I2M2 dans les huit stations selon l'ancienneté de la ripisylve.

Les habitats locaux (supports décrits lors de l'échantillonnage des stations) sont assez similaires dans les deux groupes de stations. Puisque ce sont des stations avec de la ripisylve, les litières, les branchages et les racines sont toujours présentes, et à l'inverse, à cause de l'ombrage lié à la ripisylve, les végétaux aquatiques sont absents. Les supports dominants sont constitués majoritairement par des granulats grossiers. Les écarts observés ne sont donc vraisemblablement pas attribuables à des différences de supports locaux.

La méthode de l'I2M2 dispose d'un outil diagnostique sur le site du SEE (<http://seee.eaufrance.fr/>) qui permet d'évaluer, sur la base des listes faunistiques, les pressions les plus probables qui s'exercent sur les cours d'eau. Six pressions sont relatives à la qualité physicochimique et chimique de l'eau (matières organiques MO, matières phosphorées Pmat, matières azotées Nmat, nitrates NO3, HAP et pesticides) et les six autres sont plutôt relatives aux habitats et contexte du bassin versant (Ripisylve, voies de communication, urbanisation, colmatage, instabilité hydrologique, anthropisation). Cet outil a été utilisé pour évaluer quelles pressions étaient potentiellement à l'œuvre sur les stations à ripisylve ancienne (RA) et à ripisylve récente (RR) (cf. Figure 4).

Globalement les profils sont assez similaires entre stations à RA et RR, indiquant que les milieux sont très probablement anthropisés (valeurs proches de 0,8) ; notamment la probabilité d'un impact lié à la dégradation de la ripisylve est de l'ordre de 0,6, semblable dans les deux catégories de stations. Les probabilités d'impacts liés à la pression physicochimique (MO, P-mat et N-mat) sont globalement très faibles, ce qui est assez cohérent avec l'effet atténuateur de la ripisylve sur l'apport de nutriments.

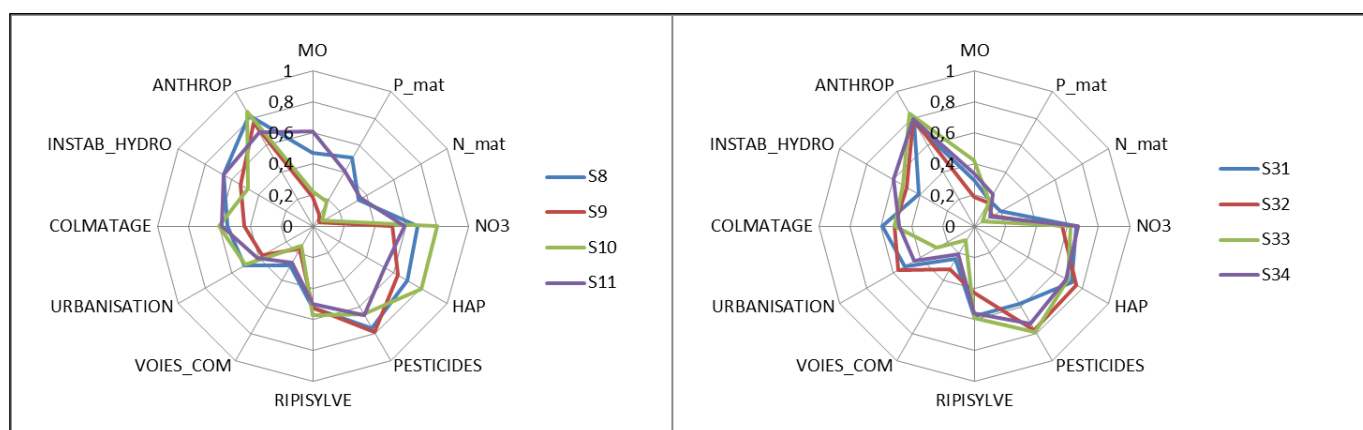


Figure 4 : Diagramme radar des probabilités de pressions sur les stations à RA (partie gauche) et à RR (partie droite).

Les peuplements de macroinvertébrés benthiques ont également été analysés du point de vue de leur composition par une analyse multivariée (cf. Action 5). Pour cette analyse, les données relatives à ces huit stations cibles ont été complétées avec d'autres données existantes (36 stations au total). Cette analyse qui contextualise ces stations plus globalement dans les bassins versants du Loing et de l'Ouanne suggère que **les stations à RA vont présenter des assemblages taxonomiquement différents de ceux à RR.**

Pour préciser un éventuel effet du niveau de maturation dendrologique des ripisylves anciennes et récentes, nous avons analysé la composition en arbres (dont ligneux du sous-étage) de la bande rivulaire qui se situe sur la berge du cours d'eau. La richesse en espèce d'arbres, le nombre d'arbres vivants à l'hectare (classe D1,30 m $\geq$ 5 cm) et leur surface terrière (m^2/ha) sont calculés (cf. Tableau 2).

La richesse spécifique de la bande rivulaire de la RR est légèrement supérieure à celle de la RA (7,3 contre 5,5 pour RA). Comme pour les résultats concernant la flore (cf. Action 2), on trouve en moyenne une composition dominée par les espèces pionnières (aulne et saules) pour la RR et dominée par les espèces post-pionnières (charme et chênes) pour la RA.

La surface terrière est plus faible pour les RA. **Les relations avec les métriques invertébrés montrent peu de tendances, seul le lien positif entre richesse des macroinvertébrés (I2M2) et la richesse en essences forestières semble se dégager** (cf. Figure 5) mais le nombre de stations étant faible il est difficile de conclure. Des analyses complémentaires sur le lien avec les traits fonctionnels pourraient permettre de préciser un effet éventuel de la différence entre aulne-saule et charme-chêne.

Tableau 2 : Caractéristiques dendrométriques de la bande rivulaire des stations échantillonnées pour le peuplement de macroinvertébrés.

Station	Age ripisylve	Richesse spécifique arbres	Nombre total arbres vivants/ha	Nombre Aulnes et Saules vivants/ha	Nombre Charmes et Chênes vivants/ha	Surface terrière totale (m²/ha)
S8	Ancien	6	6483	50	167	45
S9	Ancien	6	7783	150	4067	137
S10	Ancien	5	8417	700	7300	83
S11	Ancien	5	4083	0	1417	71
Moyenne	Ancien	5,5	6692	225	3238	84
S31	Récent	10	9350	100	1983	115
S32	Récent	6	6967	2800	0	206
S33	Récent	6	15400	2533	2267	150
S34	Récent	7	2567	1917	0	133
Moyenne	Récent	7,3	8571	1838	1063	151

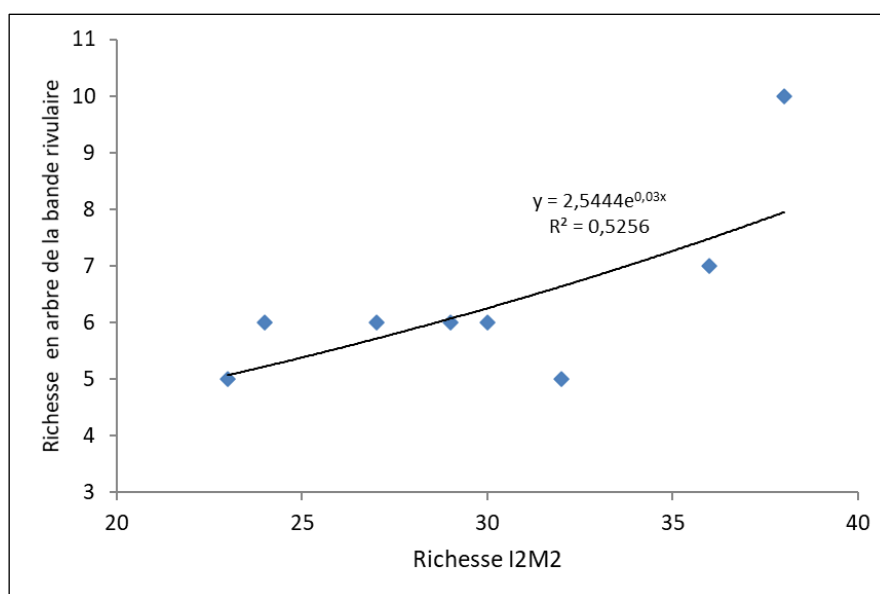


Figure 5 : Relation entre la richesse en macroinvertébrés aquatiques (I2M2) et la richesse en espèces d'arbres de la bande rivulaire.

CONCLUSION

Les résultats obtenus ne confirment pas l'hypothèse selon laquelle la présence de forêt ancienne signifierait que le cours d'eau est de meilleure qualité, en tous cas mesurée à partir des peuplements de macroinvertébrés benthiques. En effet, les stations localisées en ripisylve ancienne sont caractérisées par des indices I2M2 en moyenne plus faibles que ceux des stations localisées en ripisylve récente. Ces résultats sont difficilement explicables si on considère par ailleurs que les stations sont plutôt homogènes du point de vue de leur qualité physicochimique et des microhabitats présents dans les stations étudiées. On aurait pu s'attendre à ce qu'il n'y ait éventuellement pas de différence du tout.

Cependant, l'analyse des peuplements semble indiquer qu'il existe des différences de composition entre les communautés des stations en ripisylve ancienne et celles à ripisylve récente. La nature des communautés aquatiques serait donc différente. De fait, il serait intéressant d'examiner ces données plutôt sous un angle fonctionnel.

L'analyse quantitative de la variété des espèces d'arbres dans la bande rivulaire est cohérente avec ces résultats. Elle est à l'avantage des ripisylves récentes qui potentiellement renferment plus d'espèces et en effectifs plus abondants.

Le nombre de sites étant limité, tout comme le nombre de forêts anciennes et donc de ripisylves anciennes sur le secteur étudié, il est difficile de tirer des conclusions plus précises.

Action 5 : INFLUENCE DU PAYSAGE ACTUEL ET HISTORIQUE SUR LA FAUNE AQUATIQUE

Action portée par **Céline Le PICHON (INRAE, UR HYCAR, Antony-92)** celine.lepichon@inrae.fr

En collaboration avec : Aliénor JELIAZKOV (INRAE, UR HYCAR, Antony-92)

Éveline TALES (INRAE, UR HYCAR, Antony-92)

Amandine ZAHM (INRAE, UR HYCAR, Antony-92)

INTRODUCTION

L'étude a pour objectif de tester l'influence du paysage sur la qualité écologique du milieu aquatique et sur la diversité de ses assemblages faunistiques. En particulier, nous interrogeons les rôles respectifs de la structure de la ripisylve et de l'occupation du sol par les forêts anciennes (FA) par rapport aux forêts récentes (FR) dans la réponse de la biodiversité aquatique à différentes échelles. Afin d'ancrer nos résultats dans une logique de gestion du territoire, nous étudions cette question à la lumière des contextes paysager et longitudinal.

Nous nous attendons à un effet de la ripisylve (continue, dense et haute) sur la diversité locale, en favorisant un apport de ressources (e.g., apport de litière) et de nouveaux habitats pour un certain nombre d'espèces. En particulier, nous attendons un effet de la prévalence de forêts anciennes (FA) autour des stations sur la diversité locale car l'histoire du milieu s'est avérée bien expliquer les communautés actuelles. En effet, d'après la littérature, les caractéristiques actuelles des milieux sont fortement corrélées aux usages passés remontant jusqu'à 50 ans dans le passé. Il existe donc un fort conservatisme des traits au cours de l'histoire des communautés. Au-delà de la présence ou non de forêt (et donc de ripisylve), c'est l'ancienneté de l'usage des sols aux abords des cours d'eau qui peut influencer notamment les communautés de macroinvertébrés benthiques.

On peut de plus supposer que la présence de forêts ou prairies anciennes signifie que les paysages auront été préservés d'interventions humaines impactantes, et que les cours d'eau auront moins subi d'aménagements. Dans ce contexte, un résultat attendu serait que les communautés soient plus stables en présence d'usages du sol anciens, en réponse à des conditions hydromorphologiques non altérées.

MÉTHODES

Méthode d'analyse du paysage

Pour une description générale de la zone d'étude, cf. Fiche Action 1.

Afin de disposer d'un jeu de données bien réparti sur les cours d'eau, nous avons ciblé les bassins versants de l'Ouanne, du Branlin et du Loing dans leurs parties situées en Puisaye icaunaise. Nous avons ainsi utilisé un jeu de données existant de 36 stations de relevés d'invertébrés benthiques (prélèvements et détermination selon la méthode I2M2), et de 13 stations piscicoles (échantillonnage par pêche électrique), dont 4 stations communes. La carte en Figure 1 présente leur répartition sur les trois cours d'eau. La période d'acquisition de ces données s'étend de 2011 à 2018.

Nous avons caractérisé le paysage pour chacune de ces stations à différentes échelles ou enveloppes (cf. Figure 1) :

- Bassin-versant amont de la station.
- Zone alluviale en amont de la station (alluvions modernes Fz sur cartes géologiques au 1/50 000^{ème}).
- Zone tampon de 100 m de part et d'autre du cours d'eau sur 1km en amont de la station.
- Zone tampon de 30 m de part et d'autre du cours d'eau sur 1km en amont de la station.

Dans ces enveloppes, nous avons caractérisé l'occupation du sol selon 5 classes : terrain artificialisé (urbain, industriel et commercial, transport et énergie), terrain agricole (cultures, vergers et vignes), terrain boisé, prairies et surfaces en eau. Nous avons aussi calculé pour chaque station le taux de recouvrement de forêts anciennes incluses dans ces enveloppes. Il s'agit des forêts actuelles déjà présentes en 1950 et en 1837 (pour une description détaillée de la méthode de cartographie des forêts anciennes, cf. fiche Action 3).

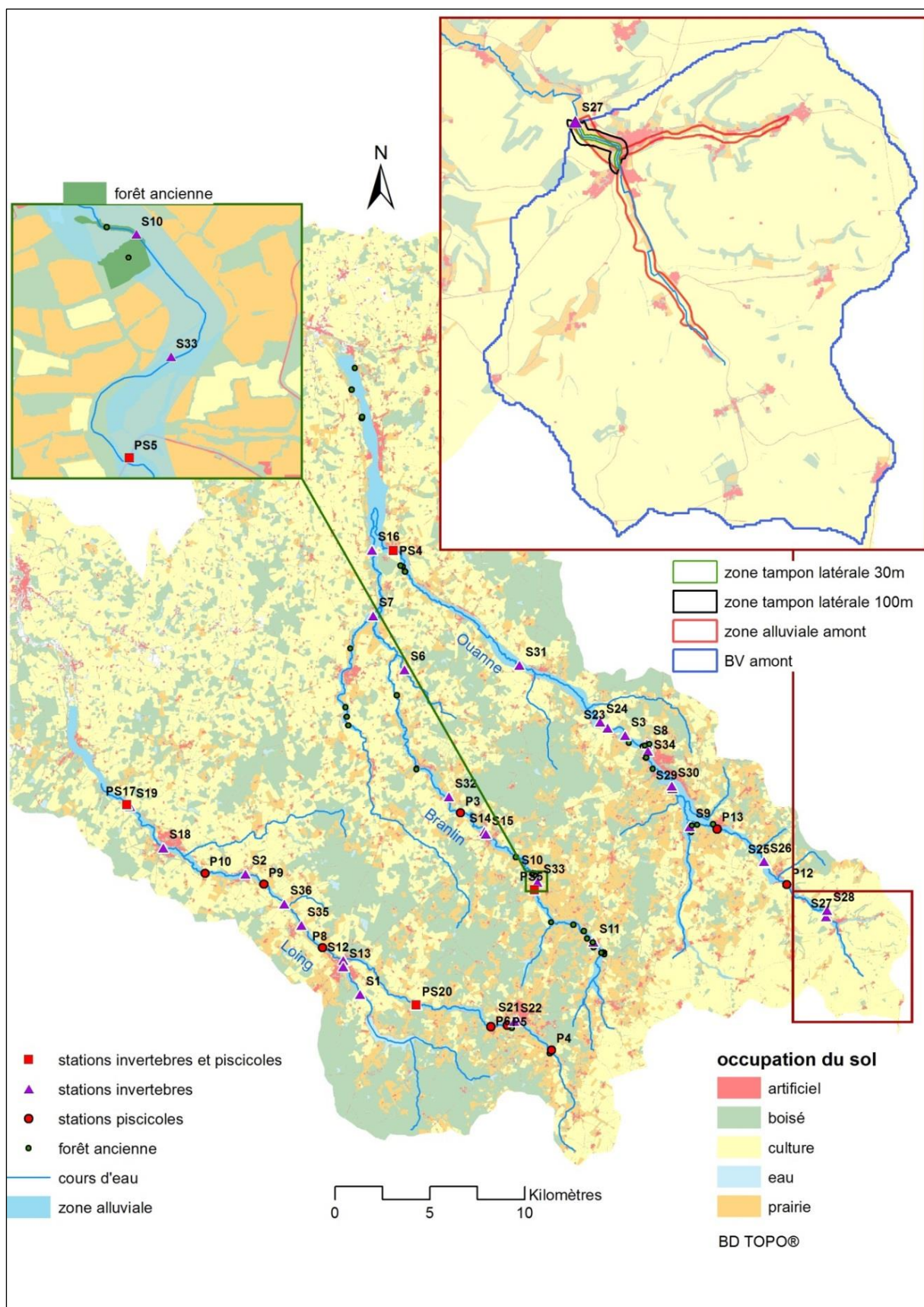


Figure 1 : Répartition spatiale des données utilisées sur les trois cours d'eau étudiés.

Les données du diagnostic géolocalisé réalisé par la Fédération des eaux Puisaye Forterre (FEFP), consistant en un recueil de données de terrain, afin de bancariser un grand nombre de caractéristiques du cours d'eau et de ses berges, nous ont permis de calculer un score ripisylve rendant compte de la

densité de la ripisylve. Nous nous sommes inspirés pour ce faire du score ripisylve de la méthode CarHyce.

Cela consiste à attribuer une valeur à la ripisylve présente à la station selon sa continuité (0 : absente, 10 : ponctuelle, 30 : discontinue ou 50 : continue), sa hauteur (33 : absente, 66 : arbustive, 100 : arborée, 83 : mixte), et son épaisseur (0 : nulle, 33 : faible, 66 : moyenne, 100 : large et touffue). La valeur de continuité correspond à la somme des valeurs des deux rives. Les valeurs de hauteur et d'épaisseur sont constituées de la moyenne des valeurs de chaque berge. Comme le montre la Figure 2, nous obtenons ainsi trois valeurs et le score ripisylve est l'aire du triangle du graphique radar correspondant. Afin d'obtenir un résultat standardisé, nous avons ramené ce score à un indice compris entre 0 et 1.

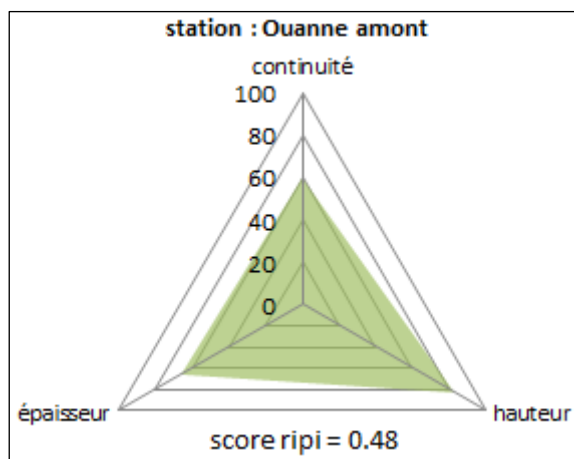


Figure 2 : Exemple de calcul du score ripisylve pour la station Ouanne amont.

Méthode d'échantillonnage de la faune aquatique

La sélection des stations biologiques, présentant des échantillonnages de macroinvertébrés aquatiques et/ou de poissons, a été réalisée à partir des données issues de Naïades, de l'observatoire des poissons du bassin Seine Normandie et des données fournies par le conseil départemental et la fédération de pêche de l'Yonne. Huit prélèvements invertébrés ont également été réalisés par Irstea Antony (cf. fiche Action 4) :

- Macro-invertébrés benthiques (N=36 stations, S1 à S36).
- Poissons (N=13, P1 à P13) (cf. Tableau 1).

Les échantillonnages de poissons ont été réalisés par pêche électrique pratiquée à pied en suivant un protocole de pêche complète ou stratifiée "grands milieux" à un ou deux passages. Les effectifs totaux d'individus de chaque espèce ont été normalisés par rapport à la surface échantillonnée et s'expriment en nombre d'individus par 100 m². Pour cinq stations (S2, S4, S20, PS5 et PS4) où nous disposons de plusieurs années d'observations (2, 2, 4, 4 et 2 respectivement), nous avons moyenné les données. Deux stations qui n'étaient pas renseignées pour leurs caractéristiques de ripisylve (S12 Le Bourdon Aval et S13 Le Bourdon Médiane) ont été exclues des analyses qui suivent.

Contrairement aux stations « cibles » (cf. fiche Action 4) qui ont été positionnées selon la présence de forêt ancienne, ces stations existantes ne sont pas forcément à proximité de forêt ancienne (cf. Figure 1). C'est pourquoi leur étude est davantage adaptée à l'évaluation de l'impact des éléments paysagers dans leur ensemble qu'à la réponse à la présence de forêt ancienne au sens strict.

Tableau 1 : Caractéristiques des stations échantillonnées pour le peuplement de poissons.

ID Station	Code station	Cours d'eau	Origine des données	Année	Surface échantillonnée (m²)
3056160	PS5	Le Branlin	<i>Exploitation Bourgogne</i>	2010	384
3056160	PS5	Le Branlin	<i>Exploitation Bourgogne</i>	2011	318
3056160	PS5	Le Branlin	<i>Exploitation Bourgogne</i>	2012	412
3056160	PS5	Le Branlin	<i>Exploitation Bourgogne</i>	2013	413
03056087	PS4	L'Ouanne	<i>Exploitation Bourgogne</i>	2011	1243
03056087	PS4	L'Ouanne	<i>Exploitation Bourgogne</i>	2013	937
10000401	P3	Le Branlin	<i>FDAAPPMA89</i>	2017	298
LOI-007000	P4	Le Loing	<i>FDAAPPMA89</i>	2015	175
LOI-010100	P5	Le Loing	<i>FDAAPPMA89</i>	2015	210
LOI-010880	P6	Le Loing	<i>FDAAPPMA89</i>	2015	243
LOI-015320	PS20	Le Loing	<i>FDAAPPMA89</i>	2015	416
LOI-022250	P8	Le Loing	<i>FDAAPPMA89</i>	2015	469
LOI-027350	P9	Le Loing	<i>FDAAPPMA89</i>	2015	460
LOI-031170	P10	Le Loing	<i>FDAAPPMA89</i>	2015	756
LOI-037870	PS17	Le Loing	<i>FDAAPPMA89</i>	2015	640
OUA-003930	P12	L'Ouanne	<i>FDAAPPMA89</i>	2017	372
Ouanne-001	P13	L'Ouanne	<i>FDAAPPMA89</i>	2017	274

RÉSULTATS-DISCUSSION

Description des données paysagères et forestières

La dominance des types de couverts paysagers diffère selon l'échelle spatiale à laquelle on se place pour l'analyse (cf. Figure 3). On passe d'une dominance forestière à fine échelle, à une dominance prairiale à échelles intermédiaires, puis à un relatif équilibre agricole/forestier à plus large échelle. On note par ailleurs la distribution fortement asymétrique de la variable d'occupation par les forêts anciennes (FA) à fine échelle avec des pourcentages essentiellement nuls et seulement 4 à 5 stations associées à de la FA. Les données sont plus exploitables à **l'échelle de la zone alluviale** avec une distribution des valeurs de couvert en FA plus homogène quoique forcément resserrée (entre 0 et 5% en proportion absolue et entre 0 et 15% par rapport au couvert de forêt total) au vu de la rareté de ce type de couvert dans la zone d'étude. Nous choisissons donc d'exploiter les données paysagères de cette échelle.

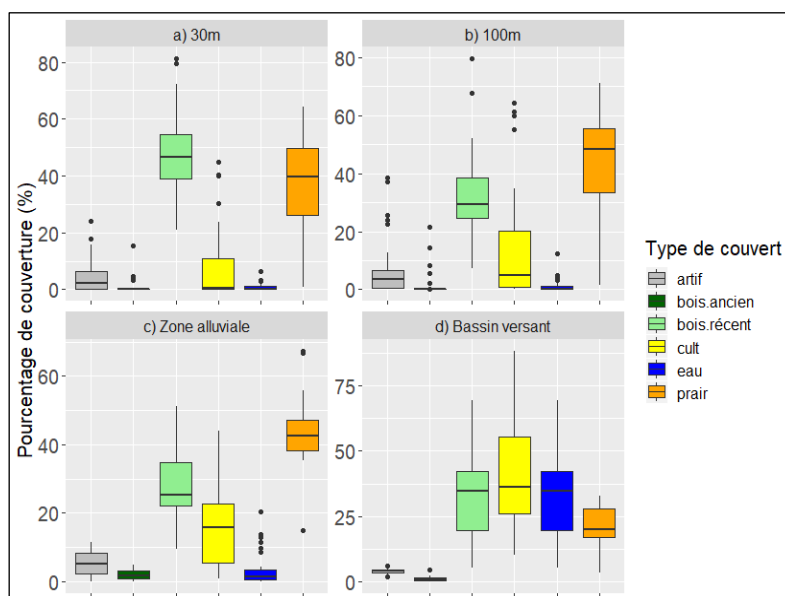


Figure 3 : Distribution des données de pourcentages de couverture par les différents éléments du paysage à travers les quatre échelles d'analyse : a) buffer de 30m, b) buffer de 100m, c) zone alluviale amont de la station et d) bassin versant amont de la station.

Aussi, étant donné que dans de nombreux cas, la proportion de FA n'a vraiment de sens qu'au regard de la proportion de forêt totale en présence (ces deux composantes étant intimement liées), nous considérons comme information supplémentaire dans la suite des analyses le couvert de forêt ancienne par rapport au couvert de forêt totale (soit le **ratio de proportion de forêts anciennes (%) / proportion de forêt totale (%)**).

Une analyse approfondie du paysage met en évidence de fortes relations entre les différents couverts paysagers quelle que soit l'échelle à laquelle on se place. A l'échelle alluviale, l'occupation par les FA est fortement **anti-corrélée aux couverts artificialisés** et positivement **associée soit aux zones humides, soit aux complexes bois-prairies** (cf. Figure 4).

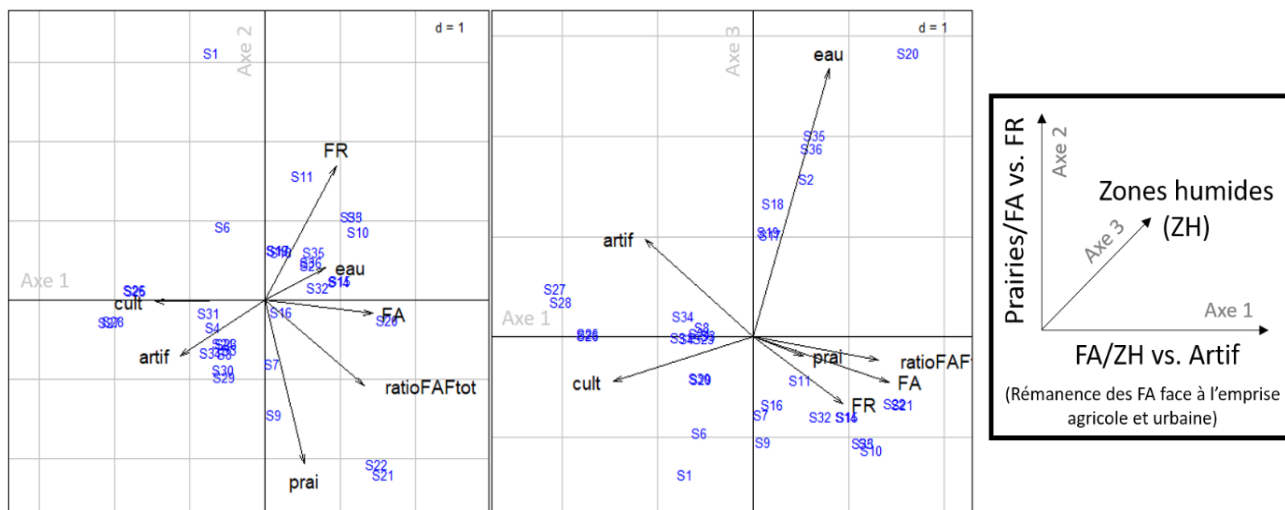


Figure 4. Résultats d'Analyse en Composantes Principales (ACP) du paysage à l'échelle alluviale. Les trois premiers axes d'ACP expliquent 90% de la variation totale des données paysagères (axe 1 = 53%, axe 2 = 25% et axe 3 = 12%). Une interprétation de ces axes est proposée dans l'encadré à droite. FA=Forêts Anciennes, FR=Forêts Récentes, Ftot=Forêts totales, ZH=Zones humides.

Ces liens paysagers rendent délicat le démêlage des effets « purs » des FA sur la biodiversité. C'est pourquoi, nous ne testerons pas ces effets de manière indépendante mais plutôt des effets de **gradients** associés aux **caractéristiques anciennes du paysage par rapport aux plus récentes modifications (i.e. agriculture, urbanisation)** et au **couplage prairies-FA**.

Ainsi, les résultats de cette analyse vont être utilisés pour produire deux variables synthétiques relatives associées (1) au gradient d'artificialisation des stations (axe 1 de l'ACP) et (2) au gradient d'ancienneté des usages (axe 2 de l'ACP : contraste entre « forêt récente » et « forêt ou prairie ancienne »). Dans la section qui suit, nous testons les effets potentiels de ces variables, ainsi que de la structure de la ripisylve et de la situation longitudinale des stations sur la qualité écologique et la biodiversité des stations.

Liens entre paysage et qualité écologique du milieu aquatique (base I2M2)

L'I2M2 (*IND_I2M2*) - Indice Invertébrés Multi-Métrique - est un indice couramment utilisé pour résumer la qualité écologique d'une rivière et se base sur l'évaluation des communautés de macroinvertébrés par rapport à un état de référence. Le calcul de l'indice repose sur la combinaison de cinq métriques qui apportent des informations complémentaires sur l'état du milieu : les indices de richesse spécifique (*RICHESSSE_I2M2*) et d'équitabilité des abondances entre espèces (*SHANNON*) qui renseignent sur la quantité et la structure de la diversité taxonomique respectivement, les proportions d'espèces ovovivipares (*OVOVIVIPARE*) et poly-voltines (*POLYVOLTIN*) qui renseignent sur le niveau d'altération physico-chimique de l'eau et l'instabilité du milieu respectivement, et le degré de polluo-sensibilité du peuplement (*ASPT* = Average Score Per Taxon ; plus l'ASPT est grand, moins le milieu est pollué).

Dans la zone d'étude, la **qualité écologique du milieu augmente d'amont en aval**, avec notamment une augmentation de l'I2M2 et une diminution du poly-voltinisme (cf. Figures 5d, 5e et Annexe 5.1). De plus, on observe une **richesse spécifique et un score ASPT plus élevés** dans les paysages où forêts récentes, prairies et forêts anciennes cohabitent équitablement, c'est-à-dire, **dans les paysages les plus diversifiés en milieux semi-naturels / naturels et ayant subi le moins d'altérations récentes** (cf. Figures 5a et 5b).

Une exploration des interactions suggère par ailleurs que **les relations entre qualité écologique et paysage vont dépendre du contexte**. Ainsi, nous notons un effet potentiellement négatif des FA sur l'I2M2 lorsque celles-ci sont associées à des prairies, ce qui n'est pas le cas lorsqu'elles sont associées à des FR. Un lien négatif entre I2M2 et score ripisylve est également observé lorsque la zone alluviale est dominée par les FA tandis que ce lien devient positif lorsque la zone est dominée par les milieux artificialisés. Ce résultat suggère que **la présence de ripisylve dense et continue est un atout en tant qu'interface lorsque le contexte autour du cours d'eau est dégradé**, par exemple en tant que source d'ombrage ou de zone tampon pour la rétention de polluants. En contexte forestier, elle pourrait toutefois amplifier l'apport de matière organique au cours d'eau, favorisant potentiellement des taxons saprobes au détriment d'une majorité d'espèces plus catharobes, ce qui expliquerait une diminution de l'I2M2 sur la base de la richesse.

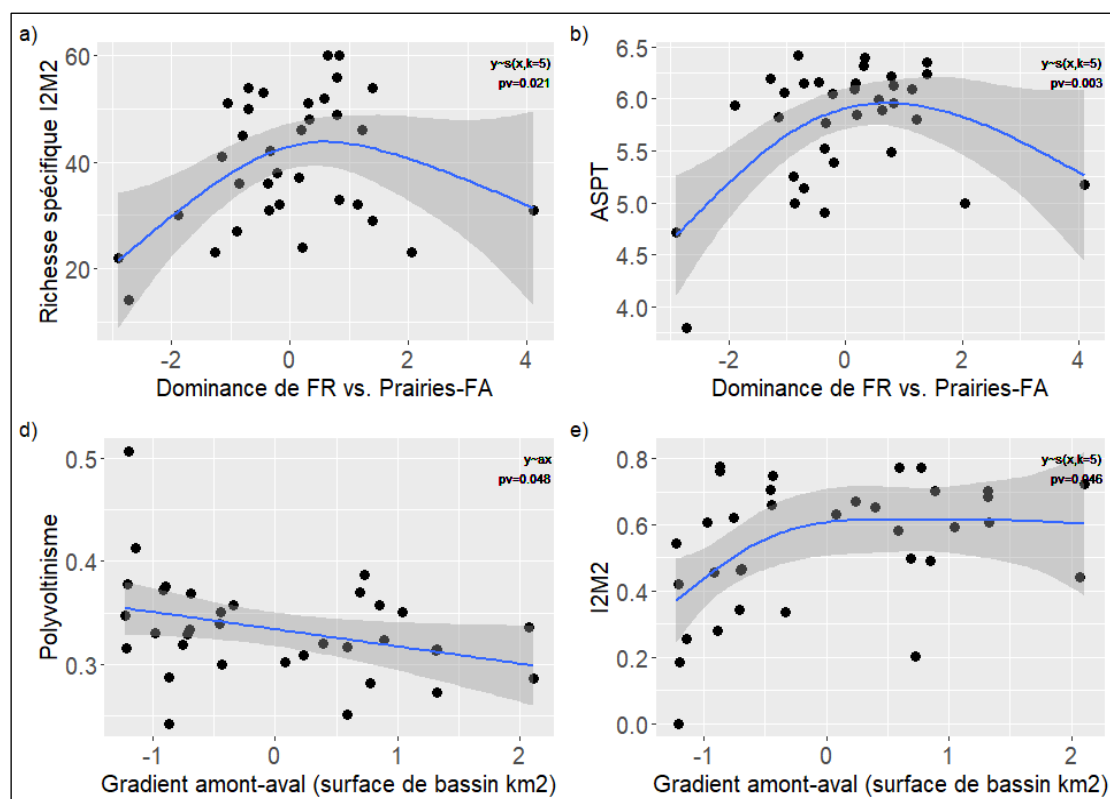


Figure 5 : Principales relations entre la qualité écologique du milieu aquatique, sur la base de métriques de l'I2M2, et les caractéristiques du paysage, le gradient amont-aval. pv=p-value associée à un test de significativité univarié paramétrique ou non paramétrique selon la nature de la relation.

Dans la section suivante, nous approfondissons ces hypothèses en étudiant plus en détail les patrons spatiaux de diversités locale et régionale et de composition des communautés en réponse aux mêmes facteurs paysagers.

Liens entre paysage et diversités des communautés de macroinvertébrés

La zone d'étude présente un total de 196 taxons qui constituent sa diversité régionale (gamma). Les différences de diversité locale (diversité alpha) entre stations sont plus ou moins marquées selon que l'on pondère différemment les espèces en fonction de leur abondance. Quand on donne plus de poids aux espèces abondantes dans les estimations de diversité, les stations se démarquent plus entre elles dans leur diversité locale (diversité alpha).

De même, lorsqu'on s'intéresse aux différences de composition taxonomique entre stations (diversité beta), l'analyse générale des assemblages à travers les stations suggère **que seuls quelques taxons, dominants par leurs fortes abondances, influencent fortement la structure des communautés** (cf. Figure 6a). Une exploration graphique des assemblages centrée uniquement sur les stations cibles FA vs. FR suggère **que les stations FA vont présenter des assemblages taxonomiquement différents de ceux de FR** (ce que nous ne pouvons toutefois pas tester statistiquement étant donnée la taille trop réduite de l'échantillon) (cf. Figure 6b).

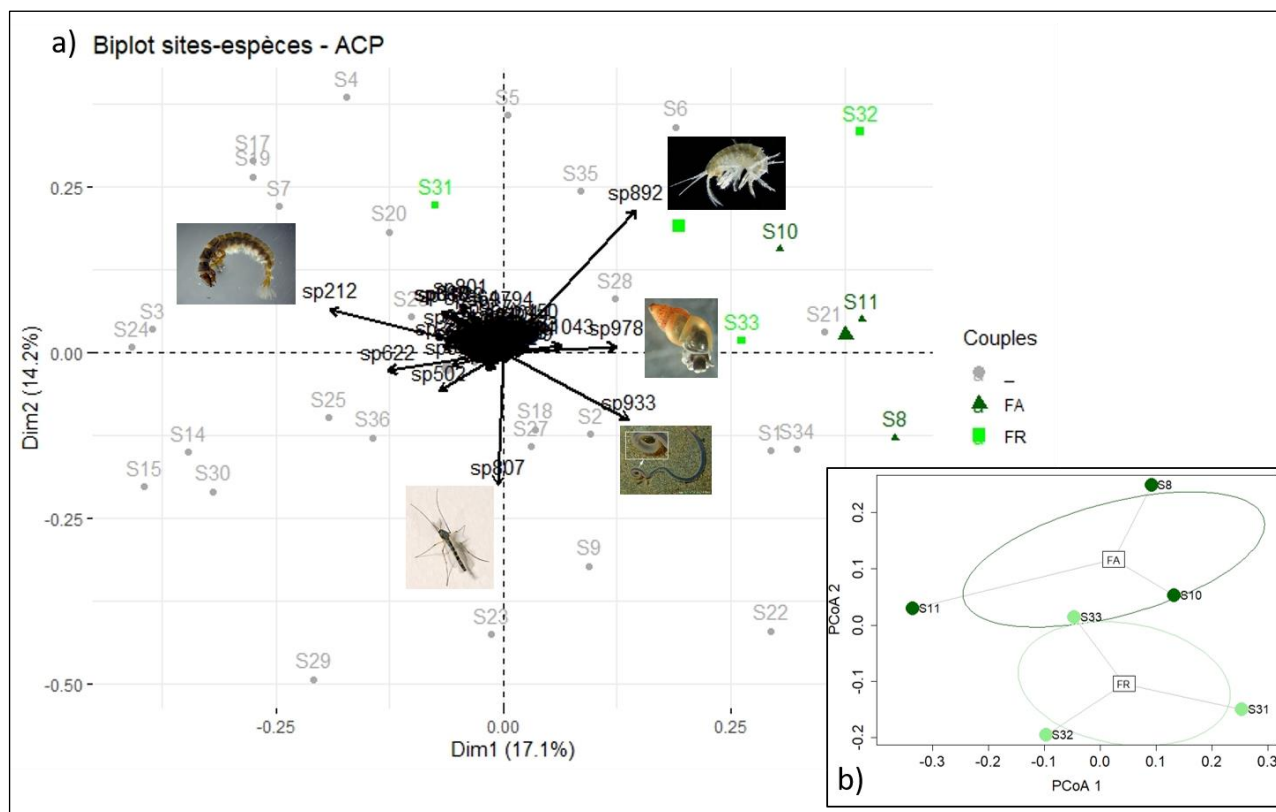
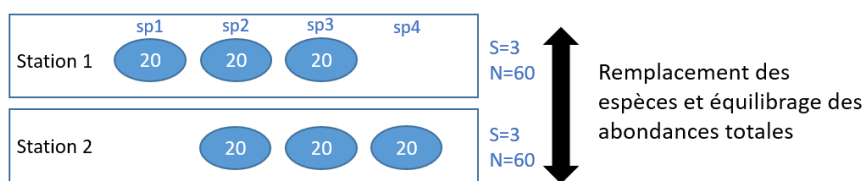


Figure 6 : a) Analyse en Composantes Principales (ACP) des abondances (préalablement Hellinger-transformées) de macroinvertébrés sur l'ensemble des 36 stations. Une minorité d'espèces très abondantes va *a priori* influencer la différenciation des sites, notamment les Chironomidae (sp807), Hydropsyche (sp212), gammarus (sp892), hydrobies (sp978) et oligochètes (sp933). b) Exploration graphique des assemblages en stations-cibles FA et FR via une Analyse en Coordonnées Principales (ACoP) sur la base des distances inter-sites de Bray-Curtis.

Une analyse de partitionnement de la diversité régionale (diversité gamma) en ses composantes alpha et beta selon différentes pondérations des espèces montre que la diversité beta contribue de façon modérée (19%) à la diversité régionale quand on pondère fortement les espèces à forte abondance. Ceci confirme que les **quelques espèces communes vont le plus influencer les différences d'assemblages entre stations** (cf. Annexe 5.2). **La diversité alpha reste la plus importante pour expliquer la diversité régionale**, notamment du fait de la présence de **nombreuses espèces minoritaires dans les stations** (i.e. espèces à faibles abondances).

Une analyse complémentaire de la décomposition de la diversité beta montre que la diversité beta est davantage due aux remaniements des assemblages plutôt qu'à des pertes ou des gains d'espèces à diversité constante. De plus, lorsque les assemblages sont remaniés à diversité constante, les abondances totales ont tendance à s'équilibrer tandis que lorsque les assemblages perdent ou gagnent des espèces d'un site à l'autre, les abondances sont également déséquilibrées (pour une visualisation schématique des processus supposés à l'origine de nos observations, cf. Figure 7). **Ces résultats suggèrent l'existence d'une spécialisation à l'habitat**, avec des assemblages distincts selon les stations. Ainsi, **les stations de FA et/ou à fort score ripisylve pourraient abriter des assemblages spécifiques que l'on ne trouverait pas dans les autres stations** (c'est ce que nous testons ci-après).

Observation majoritaire au sein de nos stations



Observation minoritaire au sein de nos stations

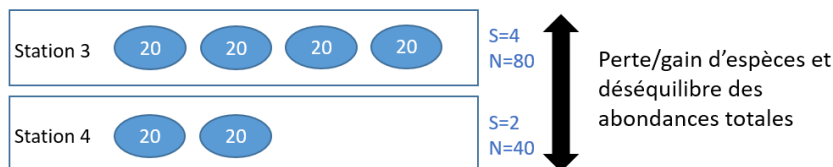


Figure 7 : Adapté de Baselga (2013). Schéma représentant les deux principaux processus sous-tendant potentiellement la diversité de composition taxonomique entre les stations (diversité beta) dans notre zone d'étude. Les valeurs sont uniquement à titre d'exemple. S=nombre d'espèces, N=abondances totales par site.

Liens entre paysage et traits des communautés aquatiques

Nous voyons dans les sections précédentes que la composition taxonomique des communautés diffère selon le contexte paysager et les caractéristiques de ripisylve des stations. Nous testons dans cette section si ces différences sont attribuables aux traits écologiques des taxons. Pour renseigner les traits écologiques des macroinvertébrés, nous nous appuyons sur la base de données particulièrement riche de Tachet *et al.* (2010) qui fournit une information semi-quantitative sur 22 traits soit 118 modalités.

De façon générale, nous notons que les nombreuses **espèces minoritaires constituent en grande partie la diversité fonctionnelle** tandis que les quelques espèces communes (mentionnées dans les sections précédentes) **sont fonctionnellement plus proches** (cf. Figure 8). Plus les taxons sont abondants, plus ils sont fonctionnellement proches : ce sont vraisemblablement des **taxons généralistes**.

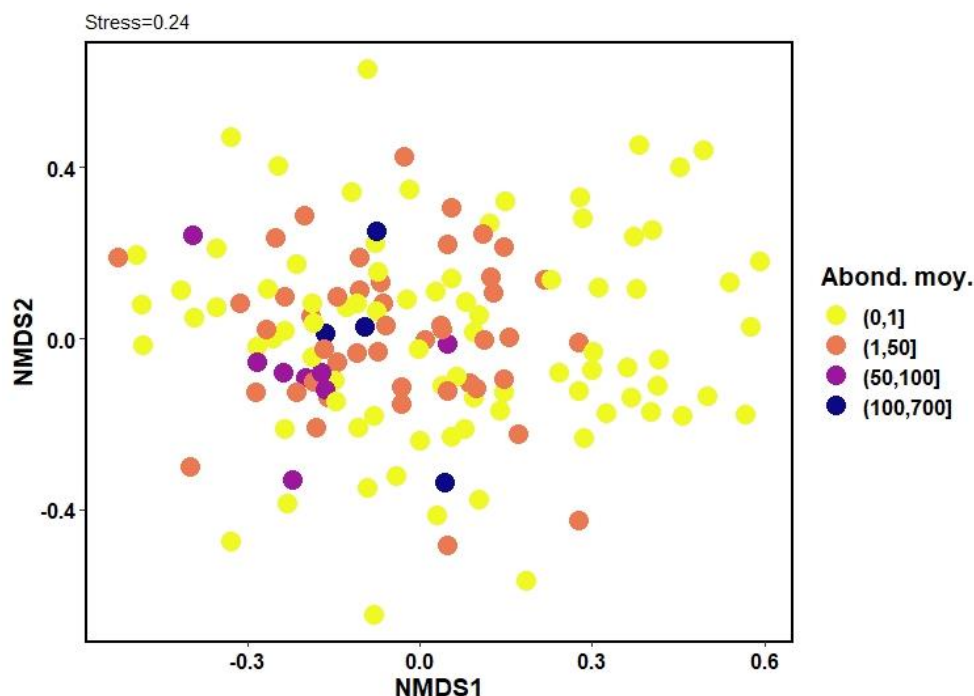


Figure 8 : Résultats de l'Analyse d'ordination Multidimensionnelle Non-Métrique (Non-Metric Multi-Dimensional Scaling) des taxons de macroinvertébrés (points) dans l'espace des 118 modalités de traits fonctionnels que nous avons réduit à deux dimensions (NMDS1 et NMDS2, $R^2=0.73$, stress=0.24). La couleur des points indique la classe d'abondance moyenne des taxons.

Dans les stations à **ripisylve dense**, nous nous attendons à trouver des traits liés à l'utilisation de la matière organique tombée dans l'eau (feuilles mortes, branches, etc.), tels que préférence pour les substrats de types litière et racines, préférence pour la nourriture de type plantes mortes de gros calibre, mode de prise alimentaire de types perceur et déchiqueteur, et méso- voire poly-saprobie. Nous explorons la potentielle existence de ces liens traits-environnement - ici trait-score ripisylve - par le biais d'une analyse de quatrième coin (Dray et Legendre, 2008). Deux traits semblent suivre nos prédictions de façon significative, à savoir la **préférence pour les feuilles mortes de gros calibre** et le mode de **prise alimentaire de type déchiqueteur** (cf. Annexe 5.3).

Dans les stations potentiellement exposées à l'**influence des FA** par le biais de la zone alluviale, **nous nous attendons à trouver des traits liés à la stabilité du milieu**, tels que longévité (durée de cycle de vie de plus d'un an), mono voltinisme (un cycle par an), reproduction ovipare, et dispersion limitée (par exemple aquatique passive). **L'analyse des traits ne soutient aucune de ces prédictions** (cf. Annexe 5.3), probablement du fait de l'éloignement de la FA pour la majorité des stations qui rend le signal trait-environnement trop faible à ces échelles spatiales pour être détectable.

Nous retrouvons par ailleurs des effets intéressants associés aux autres composantes du paysage (cf. Annexe 5.3) qui viennent compléter nos résultats des sections précédentes : a) un lien négatif entre la surface de bassin versant et les taxons polyvoltins, et b) un lien négatif entre FR et taxons méso saprobie qui **suggère qu'à l'échelle de la zone alluviale, les habitats forestiers défavorisent les organismes à forte valeur saprobiale**, peut-être en jouant un rôle épurateur des cours d'eau.

Liens entre peuplements de poissons et les FA et le gradient amont-aval

Les abondances relatives (abondance de l'espèce par rapport à toutes les espèces capturées) et les occurrences (nombre de stations où une espèce est présente sur l'ensemble des stations échantillonnées) ont été calculées (cf. Tableau 2). Vingt-huit espèces ont été capturées sur l'ensemble des 13 stations mais seulement 6 espèces ont une abondance relative supérieure à 2%. Les trois espèces les plus abondantes totalisent 73% des effectifs et sont caractéristiques des petits cours d'eau de tête de bassin versant : chabot, loche franche et vairon. Elles accompagnent généralement la truite commune, qui n'est ici présente que sur trois stations (une sur chaque cours d'eau) et en très faible abondance. Ces espèces sont classées comme espèces sensibles à la dégradation de la qualité physico-chimique de l'eau et de l'habitat. Le chevesne et le goujon fréquentent principalement les eaux courantes et s'adaptent à de nombreux habitats dans des cours d'eau de tailles variées. Enfin, des espèces d'eaux plus calmes, moins exigeantes en termes de qualité d'eau et d'habitat sont également présentes (perche, épinocchette, gardon, perche soleil, rotengle, sandre). On peut noter sur une station (P10) la loche de rivière et l'able de Heckel, espèces dont la répartition est très localisée ; la première est considérée comme très sensible aux pollutions des fonds vaseux dans lesquels elle s'enfonce, c'est un excellent bioindicateur de la qualité des eaux.

La richesse spécifique a été calculée et représentée à chaque station (cf. Figure 9). On observe une augmentation classique de la richesse de l'amont vers l'aval de 4 à 19 espèces, plus marquée sur le Loing que sur l'Ouanne. L'analyse du contexte paysager des stations où les poissons sont échantillonnés est assez semblable à celle des stations « invertébrés » (cf. Figure 4) et montre un contexte plus artificiel et agricole pour l'Ouanne s'opposant à un contexte avec forêts anciennes et prairies sur le Loing et le Branlin amont. Un fort ratio de forêt ancienne s'observe sur le Loing aval (P10, PS17).

Tableau 2 – Liste des espèces de poissons capturées

Nom commun	Code de l'espèce	Abondance relative	Occurrence (sur 13 stations)
Chabot	CHA	28.92%	13
Loche franche	LOF	24.64%	13
Vairon	VAI	19.18%	8
Chevaine	CHE	9.60%	12
Goujon	GOU	4.59%	12
Gardon	GAR	2.21%	9
Lamproie de Planer	LPP	1.97%	6
Rotengle	ROT	1.72%	4
Poisson chat	PCH	1.57%	6
Perche commune	PER	1.39%	8
Brème commune	BRE	1.38%	5
Vandoise	VAN	0.88%	7
Perche soleil	PES	0.57%	5
Spirilin	SPI	0.54%	1
Epinochette	EPT	0.16%	3
Sandre	SAN	0.11%	3
Brème bordelière	BRB	0.09%	1
Anguille	ANG	0.09%	4
Truite commune	TRF	0.07%	3
Ablette	ABL	0.07%	1
Brochet	BRO	0.06%	3
Barbeau	BAF	0.06%	2
Carpe commune	CCO	0.03%	3
Loche rivière	LOR	0.03%	1
Truite arc en ciel	TAC	0.03%	2
Hotu	HOT	0.02%	1
Tanche	TAN	0.02%	1
Able de Heckel	ABH	0.01%	1

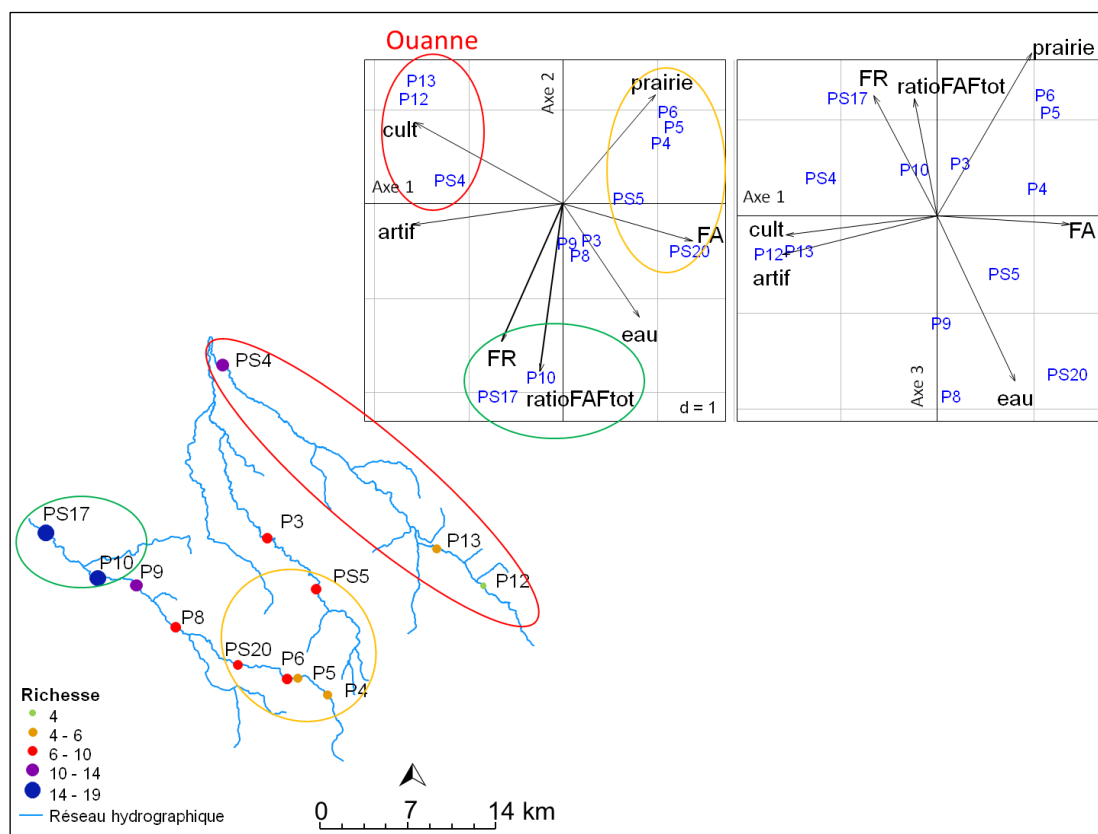


Figure 9 : Richesse spécifique à chaque station d'échantillonnage des poissons et analyse en Composantes Principales (ACP) du paysage à l'échelle alluviale.

Une analyse du peuplement de poissons par station est réalisée (Figure 10). Le premier axe de l'analyse oppose les stations situées les plus en amont des cours d'eau étudiés (P12, P13, P4, P5) où le peuplement de poissons est principalement composé des espèces abondantes caractéristiques des petits cours d'eau, et la station P9 où l'on trouve deux espèces introduites, poisson chat et perche soleil. Le deuxième axe est caractérisé par les stations plus aval des cours d'eau (PS4 sur l'Ouanne, PS17 sur le Loing) dont le peuplement comprend des espèces plus adaptées au cours d'eau de plus grande taille (barbeau, hotu, brochet...) et la station P10 où des espèces rares sont capturées (loche de rivière, ablette de Heckel et truite commune).

Il semble donc que pour les peuplements de poissons, le gradient amont-aval reste prépondérant par rapport aux usages des sols dans la zone alluviale du cours d'eau. A noter cependant que sur le Loing, la localisation des FA a tendance à se superposer au gradient amont aval.

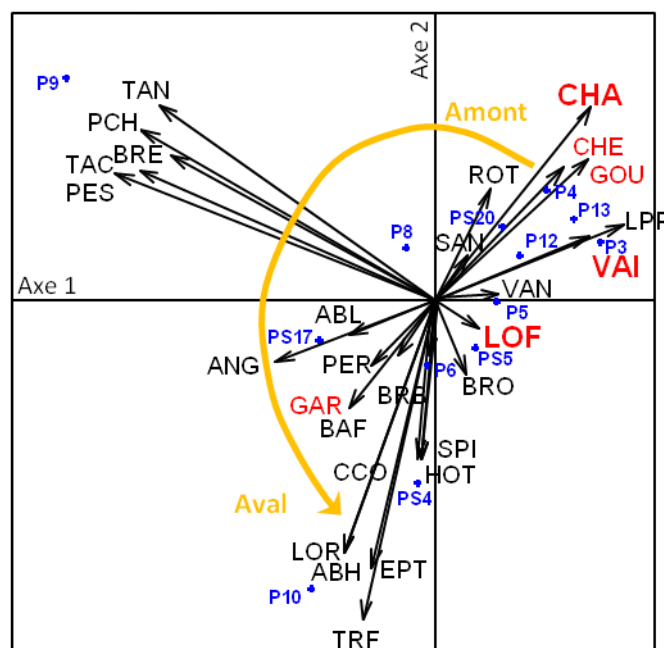


Figure 10 : Analyse du peuplement de poissons par station à l'aide d'une ACP qui donne le même poids aux espèces abondantes ou rares. Les espèces en rouge sont les 6 plus abondantes (cf. Tableau 2), la flèche orange indique une tendance d'évolution des stations de l'amont vers l'aval.

CONCLUSIONS-PERSPECTIVES

Cette étude montre que les cours d'eau de l'Ouanne, du Loing et du Branlin, dans la zone de Puisaye icaunaise, présentent une qualité écologique variable. La diversité taxonomique régionale des peuplements de macroinvertébrés benthiques (168 taxons) est en majeure partie le fait de la richesse locale moyenne avec une majorité de stations à forte richesse du fait de la présence de nombreux taxons rares dans les stations. Quelques taxons communs participent toutefois à la différenciation des assemblages d'une station à l'autre : en d'autres termes, les taxons les plus abondants ne sont pas les mêmes d'une station à l'autre taxonomiquement parlant mais sont fonctionnellement proches et probablement des espèces généralistes.

Les relations entre qualité écologique et habitats dépendent du contexte paysager. Ainsi, nous avons vu par exemple que **la présence de ripisylve dense et continue est un atout en tant qu'interface lorsque le contexte paysager est dégradé**, par exemple en tant que source d'ombrage aux abords urbanisés ou en tant que zone tampon pour la rétention de polluants agricoles. **En contexte forestier**, elle pourrait toutefois amplifier l'apport de matière organique favorisant potentiellement des taxons saprobes et spécialistes des litières, au détriment d'une majorité d'espèces plus généralistes et catharobes, ce qui expliquerait la **légère diminution de la qualité écologique du milieu aquatique aux abords directs des ripisylves forestières**. A l'échelle alluviale toutefois, une occupation intermédiaire par les habitats forestiers garantit en moyenne la bonne qualité du milieu aquatique (peut-être parce que leur rôle épurateur opère à des échelles de temps plus longues par rapport à leur rôle enrichisseur via la ripisylve).

La présence de forêts anciennes (FA) en zone alluviale, bien que très limitée dans notre cas, **pourrait jouer un rôle dans la différenciation taxonomique des communautés de macroinvertébrés** entre les stations. Ce rôle reste toutefois difficile à traduire en termes de traits

écologiques favorisés par les FA du fait du nombre trop faible de stations-cibles présentant un voisinage direct de FA.

Concernant les **peuplements de poissons** (28 taxons), **il semble que le gradient amont aval soit prépondérant** par rapport à l'ancienneté de l'usage des sols dans la zone alluviale des cours d'eau.

Il est important de noter que **cette étude est de nature exploratoire** et que **les résultats inférentiels sont à traiter avec précaution, en particulier en ce qui concerne l'effet des FA**. En effet, 1) il aurait fallu disposer de davantage de stations échantillonnées aux abords directs de FA pour tester cet effet correctement, et 2) la taille du jeu de données limite notre capacité à tester l'ensemble de nos hypothèses de façon robuste (10 paramètres à estimer pour 34 observations, soit un ratio de 1 paramètre pour 3,4 observations au lieu de la règle d'or de 1 pour 10).

BIBLIOGRAPHIE

BASELGA A. 2013 – Separating the two components of abundance-based dissimilarity: balanced changes in abundance vs. abundance gradients. *Methods in Ecology and Evolution*, 4 : 552-557.

DRAY S. et LEGENDRE P. 2008 – Testing the Species Traits–Environment Relationships: The Fourth-Corner Problem Revisited. *Ecology*, 89 : 3400-3412.

TACHET H., RICHOUX P., BOURNAUD M. et USSEGLIO-POLATERA P. 2010 – *Invertébrés d'eau douce : Systématique, biologie, écologie*. CNRS, <http://books.google.fr/books?id=9xJKewAACAAJ>.

Annexe 5.1 : Evolution des métriques de l'I2M2 le long du gradient amont-aval

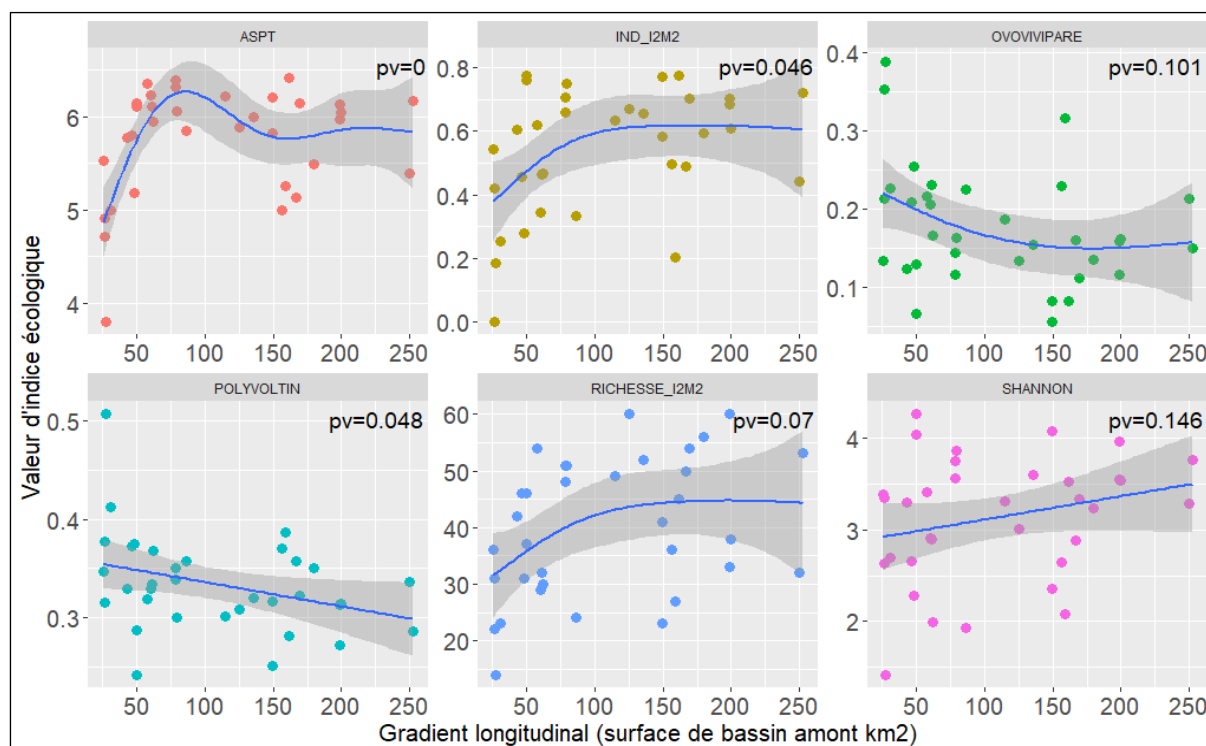


Figure S5.1 : Tendances amont-aval des métriques écologiques de l'I2M2. pv =p-value du terme non-linéaire dans une régression de modèle généralisé additif testant le lien entre la variable « indice » et la variable « surface de bassin amont ».

Annexe 5.2 : Partitionnement de la diversité régionale gamma en ses composantes alpha et beta

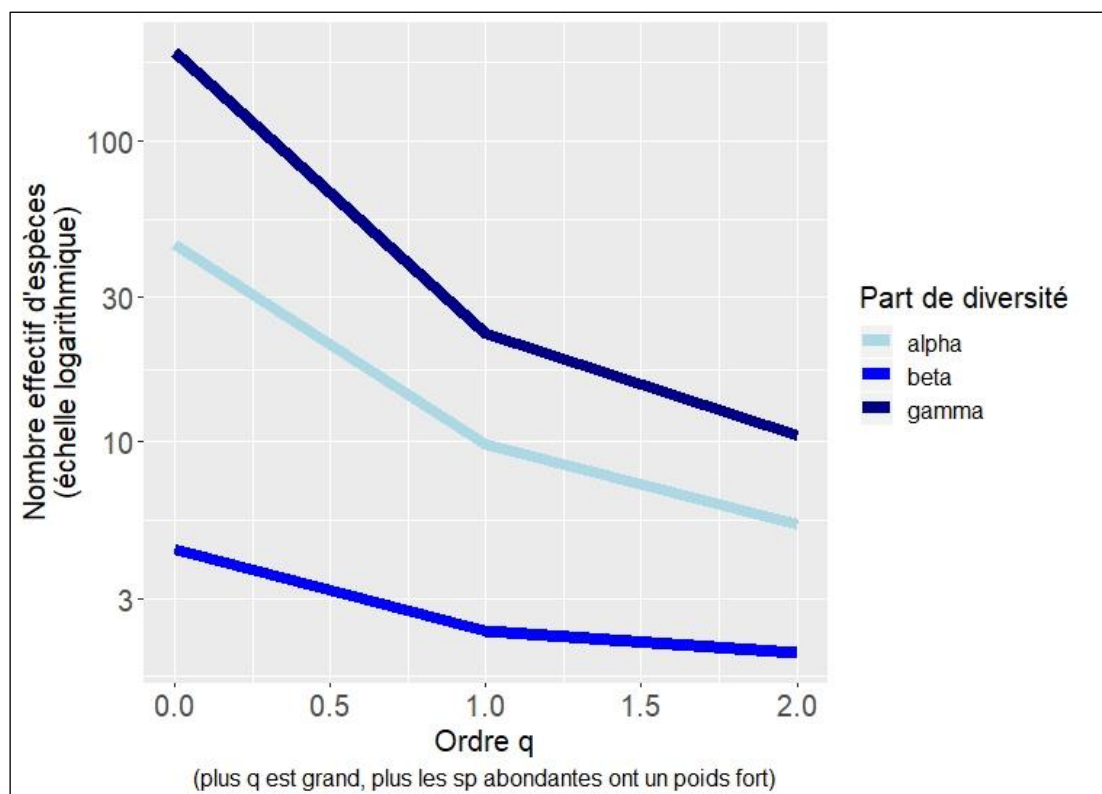


Figure S5.2 : Valeurs de diversités alpha, beta et gamma sur l'ensemble de la zone d'étude exprimées en nombre effectif d'espèces selon l'ordre q. Plus q est grand, plus les espèces communes pèsent dans le calcul de diversité. A contrario, quand $q=0$, les espèces faiblement abondantes ont le même poids que les autres dans le calcul (calcul sur la base de la richesse spécifique).

Annexe 5.3 : Analyse exploratoire des liens entre traits des communautés et variables paysagères

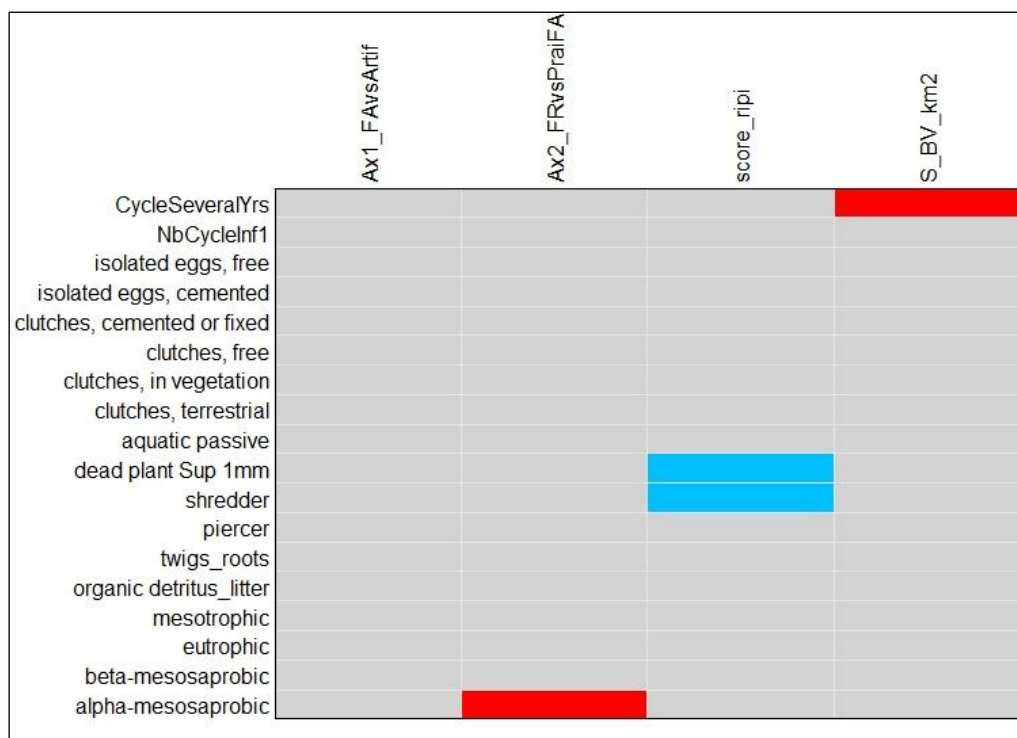


Figure S5.3 : Résultats exploratoires d'une analyse de quatrième coin des liens entre 18 modalités de traits liés au voltinisme, au régime alimentaire, à la prise de nourriture, au mode de reproduction, au préférendum d'habitats et à la saprobie et nos quatre variables d'intérêt (paysage, ripisylve, gradient longitudinal). Les cases rouges et bleues correspondent aux corrélations notables ($p \leq 0.05$) négatives et positives, respectivement.

CONCLUSION GÉNÉRALE et RÉSUMÉ

Le projet FRAPVAL (Forêts et Ripisylves Anciennes des Petites Vallées de la Puisaye) fait réponse à l'appel à projets « Protection de la ressource en eau et des milieux humides dans l'Yonne », soutenu par le Conseil Départemental de l'Yonne (89), dans le cadre de sa politique de protection des Espaces Naturels Sensibles (ENS).

Le premier objectif a été de tester le concept de forêt ancienne, valide dans les grandes vallées comme celles de Champagne mais, à notre connaissance, non testé dans des vallées plus modestes. A partir d'un échantillon de 24 sites dans le bassin de l'Ouanne (89), pour moitié en conditions de forêt ancienne (boisé depuis au moins 180 ans d'après la carte d'État-major) et pour l'autre moitié en condition forestière plus récente, **les concepts de forêt ancienne, mais aussi de ripisylve ancienne ont été validés pour la flore**, avec significativement plus d'espèces indicatrices de forêt ancienne sur les sites dont le caractère forestier ancien est révélé par les documents carto-photographiques.

Par ailleurs, les ripisylves comptabilisent plus d'espèces de la **flore indicatrice des forêts anciennes (ripisylve ancienne > forêt ancienne = ripisylve récente > forêt récente)** et constituent un couloir privilégié d'abri et/ou de circulation de ces espèces.

Forts de ces résultats, la cartographie des forêts anciennes et récentes a été réalisée sur l'ensemble des vallées de Puisaye icaunaise (Loing, Ouanne, Branlin, Vrin et Tholon). **En 180 ans, le taux de boisement est passé de 3 à 15 % et environ les 2/3 de la superficie forestière de 1837 se sont maintenus jusqu'à aujourd'hui**, dans un état de conservation globalement correct. Avec seulement 103 ha, éparpillés en 71 entités, la forêt ancienne est rare et morcelée dans les vallées étudiées.

Une étude exploratoire complémentaire de la biodiversité des macroinvertébrés benthiques a été réalisée sur 8 des 24 sites d'étude de la flore, dont la moitié en ripisylve ancienne. Les résultats obtenus ne permettent pas de valider l'hypothèse selon laquelle la présence de forêt ancienne impliquerait un cours d'eau de meilleure qualité. En effet, **les quatre stations localisées en ripisylve ancienne sont caractérisées par des indices hydrobiologiques I2M2 (Indice Invertébrés Multi-Métrique) en moyenne moins favorables** que ceux des quatre stations localisées en ripisylve récente, mais ce jeu de données de taille trop limitée ne permet pas de tester la significativité de cette tendance.

En joignant nos données à d'autres données préexistantes sur la zone d'étude (au total 36 sites pour les macroinvertébrés), nous avons réalisé une étude complémentaire qui intègre plus largement le contexte paysager actuel et historique. Cette étude montre que **les relations entre qualité écologique et habitats dépendent du contexte paysager**. Ainsi, la présence de **ripisylve dense et continue semble être un atout en tant qu'interface lorsque le contexte paysager est dégradé**, par exemple en tant que source d'ombrage aux abords urbanisés ou en tant que zone tampon pour la rétention de polluants agricoles. **En contexte forestier, elle pourrait toutefois amplifier l'apport de matière organique, ce qui expliquerait la légère diminution de la qualité écologique du milieu aquatique aux abords directs des ripisylves forestières**. A l'échelle alluviale enfin, une occupation intermédiaire par les habitats forestiers garantirait en moyenne la bonne qualité du milieu aquatique.

Une analyse complémentaire sur les communautés de poissons (13 sites) montre quant à elle que le gradient amont-aval reste prépondérant par rapport aux usages des sols actuels et passés dans la zone alluviale du cours d'eau.

Aussi bien pour la flore que pour les macroinvertébrés benthiques, nous observons **des différences de composition entre les situations de forêt ancienne et celles de forêt récente, signifiant une contribution de concert à la diversité écologique (= des habitats)**, avec un caractère patrimonial marqué pour la flore dans les forêts récentes les plus humides.

Si ces résultats et les cartographies produites constituent une base de connaissance, utilisable pour développer une stratégie de conservation des forêts alluviales et ripisylves de Puisaye, ils mériteraient des investigations complémentaires, en particulier pour les macroinvertébrés benthiques, du fait de la faible pression d'échantillonnage.

Mots clés : Biodiversité, flore, macroinvertébrés benthiques, poissons, vallée alluviale, forêt, ripisylve, forêt ancienne, Puisaye, bassin du Loing, paysage, occupation du sol, cartographie.