EXTRACTION DE FRAGMENTS FORESTIERS ET CARACTÉRISATION DE LEURS ÉVOLUTIONS SPATIO-TEMPORELLES POUR ÉVALUER L'EFFET DE L'HISTOIRE SUR LA BIODIVERSITÉ

par Pierre-Alexis Herrault

UMR CESBIO-Centre d'Etude Spatiale de la BIOsphère
18 avenue Edouard Belin, bpi 2801, 31401 Toulouse cedex 9

La biodiversité dans un paysage dépend des caractéristiques de ce paysage mais peut aussi être influencée par son histoire. En effet, certaines espèces ne réagissent pas immédiatement à une perturbation mais peuvent montrer un temps de réponse plus ou moins long. De ce fait, la prise en compte de l'évolution de l'habitat des espèces est devenue un enjeu important en écologie depuis quelques années, pour mieux comprendre la présence ou la diversité biologique actuelle. L'objectif de cette thèse en géomatique s'inscrit dans ce contexte applicatif d'écologie historique. Le sujet que nous traitons porte sur l'extraction automatique d'îlots boisés et la caractérisation de leur évolution spatiotemporelle depuis le milieu du XIXe siècle pour modéliser l'effet de leur trajectoire historique sur la diversité actuelle en syrphes forestiers (Diptera : Syrphidae). Le site d'étude est un paysage agri-forestier des Coteaux de Gascogne. La démarche générale proposée est composée de trois étapes principales : (1) la constitution de la base de données spatiales des îlots boisés intégrant plusieurs sources de données hétérogènes, (2) l'appariement des îlots boisés aux différentes dates avec la caractérisation de leur évolution spatio-temporelle, (3) la modélisation statistique des relations espèces-habitats intégrant l'histoire comme un des facteurs explicatifs de la diversité en syrphes observée. Plusieurs contributions méthodologiques ont été apportées à cette démarche. Nous avons proposé une nouvelle méthode de correction géométrique fondée sur la régression ridge à noyau pour rendre compatibles les données spatiales anciennes et actuelles mobilisées. Nous avons également développé une approche et un outil de vectorisation automatique des forêts dans les dessins-minutes de la carte d'Etat-Major du XIXe siècle. Enfin, une première évaluation de l'impact de l'incertitude spatiale sur la réponse des modèles espèces-habitats a également été initiée. D'un point de vue écologique, les résultats ont révélé un effet significatif de la continuité temporelle des habitats sur la diversité en syrphes forestiers. Nous avons montré que les forêts les plus isolées présentaient une dette d'extinction ou un crédit de colonisation selon le type d'évolutions apparues au cours de la dernière période étudiée (1979-2010). Il s'est avéré qu'une durée de 30 ans n'était pas suffisante aux syrphes forestiers pour qu'ils retrouvent un état d'équilibre à la suite d'une évolution spatiale de leur habitat isolé.

Cette thèse a été réalisée conjointement à l'UMR DYNAFOR et l'UMR GEODE entre 2011 et 2015 sous la direction de Martin Paegelow et David Sheeren. Elle vise à répondre à différents questionnements en géomatique, télédétection et en statistique pour évaluer le rôle de l'histoire de 48 forêts des Coteaux de Gascogne (31) sur une communauté actuelle de syrphes forestiers. Celle-ci se décompose en trois étapes majeures : (1) Extraire les espaces forestiers anciens et actuels à partir de sources de données hétérogènes, (2) Apparier les forêts et caractériser leurs évolutions spatio-temporelles et (3) Modéliser les effets des évolutions spatio-temporelles des forêts et de leurs incertitudes sur la biodiversité.

Extraire les espaces forestiers anciens et actuels à partir de sources de données hétérogènes

La première partie de ce travail de thèse a consisté à produire une base de données spatiale historique forestière. Celle-ci devait permettre de retracer l'évolution des forêts contenant des relevés biologiques à travers le temps, en disposant du recul suffisant pour pouvoir évaluer les effets de l'histoire sur la variation de biodiversité actuelle. La première tâche à accomplir a été de sélectionner des données spatiales adaptées à notre objectif en essayant de minimiser les différences entre les sources tout en disposant du plus grand nombre d'informations possibles avec la plus grande

fiabilité possible (fig.1). Au total, cinq sources ont été sélectionnées permettant de disposer de l'état forestier à cinq instants d'une ligne de temps allant de 1850 à 2010 : les minutes d'Etat-Major du XIXe siècle (1/40000e, couleur), la révision de la carte d'Etat-Major Type 1900 (1/80000e, noir et blanc), les photographies aériennes Noir et Blanc pour les années 1954 et 1979 ainsi que la BD ortho-photographique de l'IGN de 2010.

La seconde tâche a concerné spécifiquement le recalage géométrique des données spatiales anciennes afin de pouvoir les intégrer dans un système de coordonnées actuel et procéder à un certain nombre de comparaisons (e.g. les minutes et la Révision de l'Etat-Major). Ces dernières souffrent d'erreurs locales qui ne peuvent être toujours corrigées efficacement par les modèles de recalage couramment utilisés. Elles sont causées par divers paramètres tels que (1) la faible qualité des instruments topographiques de l'époque, (2) le manque de spécifications cartographiques et (3) la diversité des ingénieurs et des campagnes de relevés. Nous avons alors proposé l'utilisation d'une nouvelle approche basée sur la Régression Ridge à noyau pour répondre à ces objectifs. Les résultats ont montré un fort potentiel de la part de ces méthodes et en font aujourd'hui une alternative intéressante pour le recalage géométrique des cartes historiques (Herrault et al., 2012). La troisième tâche de cette partie a été d'extraire les espaces forestiers des différentes sources spatiales retenues. Les techniques employées aujourd'hui pour cartographier les éléments dans les données spatiales anciennes s'appuient majoritairement sur des méthodes manuelles (la digitalisation). Or, ces techniques sont très coûteuses en termes de moyens humains et peu reproductibles sur de vastes étendues. Il est donc crucial de développer des approches automatisées qui permettent de combler ces manques. Une attention particulière a été donnée aux minutes d'Etat-Major du XIXe siècle puisqu'elles sont très largement utilisées depuis quelques années à travers de nombreuses études concernant l'évolution des milieux naturels, des villes ou des réseaux de communication. Nous avons ainsi développé un outil d'extraction automatique permettant de cartographier les espaces boisés sur ces documents (Outil « Historical Map »). Les résultats des tests effectués dans ce travail de thèse ont démontré un haut niveau de performance tout en mettant en évidence l'applicabilité de la méthode à plusieurs thèmes présents sur ces cartes (fig.2 ; Herrault et al., 2014). En figure 2 les polygones représentant les forêts sont extraits automatiquement des cartes.

Apparier les espaces forestiers et caractériser les évolutions spatio-temporelles

La deuxième partie a porté sur la caractérisation des évolutions spatio-temporelles des espaces boisés. Ce second volet a eu pour objectif de définir une méthodologie permettant de caractériser les évolutions de la structure spatiale des forêts suivies afin qu'elles puissent être mises en relation avec les données de biodiversité actuelle dont nous disposions. La première tâche s'est focalisée sur l'appariement des forêts extraites dans les différentes sources spatiales et la reconstruction de leur généalogie. Cette étape est cruciale puisqu'elle sert de base à l'analyse des évolutions. Nous nous sommes appuyés sur différents critères d'appariement (proximité, taille, ...) pour mettre en évidence les liens de filiation des forêts et ceci a permis d'obtenir une première vision globale des évolutions spatio-temporelles survenues à l'échelle du groupe de forêts. Ensuite, une seconde tâche a concerné la caractérisation des différents états forestiers (aux cinq dates) afin d'être en mesure d'évaluer les évolutions liées à la structure spatiale des bois. Pour cela, nous avons sélectionné plusieurs métriques descriptives adaptées (des métriques paysagères) qui ont permis de caractériser la morphologie et l'isolement de chaque forêt identifiée aux différentes dates (fig.3). Enfin, la caractérisation des évolutions spatio-temporelles à proprement parler a été effectuée au travers de deux approches distinctes. Une première approche a consisté à dériver les taux d'évolution de chaque forêt entre deux dates sur la base des métriques descriptives sélectionnées. Elle nous a ainsi permis de produire des variables d'évolution pour chaque forêt suivie qui ont été mobilisées dans la dernière partie de notre travail au moment de modéliser statistiquement le rôle de l'histoire sur la biodiversité. La seconde approche s'est appuyée sur l'Analyse en Composantes Principales pour reconstruire les trajectoires d'évolution des forêts. Une procédure de classification a finalement offert la possibilité de faire ressortir les grandes tendances d'évolutions parmi les bois étudiés.

Modéliser les effets des évolutions spatio-temporelles des forêts et de leurs incertitudes sur la biodiversité

Cette dernière partie a consisté à développer une démarche de modélisation espèces/habitat pour évaluer statistiquement le rôle de la dynamique forestière sur les patrons de biodiversité actuelle. Pour cela, les variables d'évolution des forêts produites en partie 2 (les variables explicatives) ont été remobilisées pour être intégrées

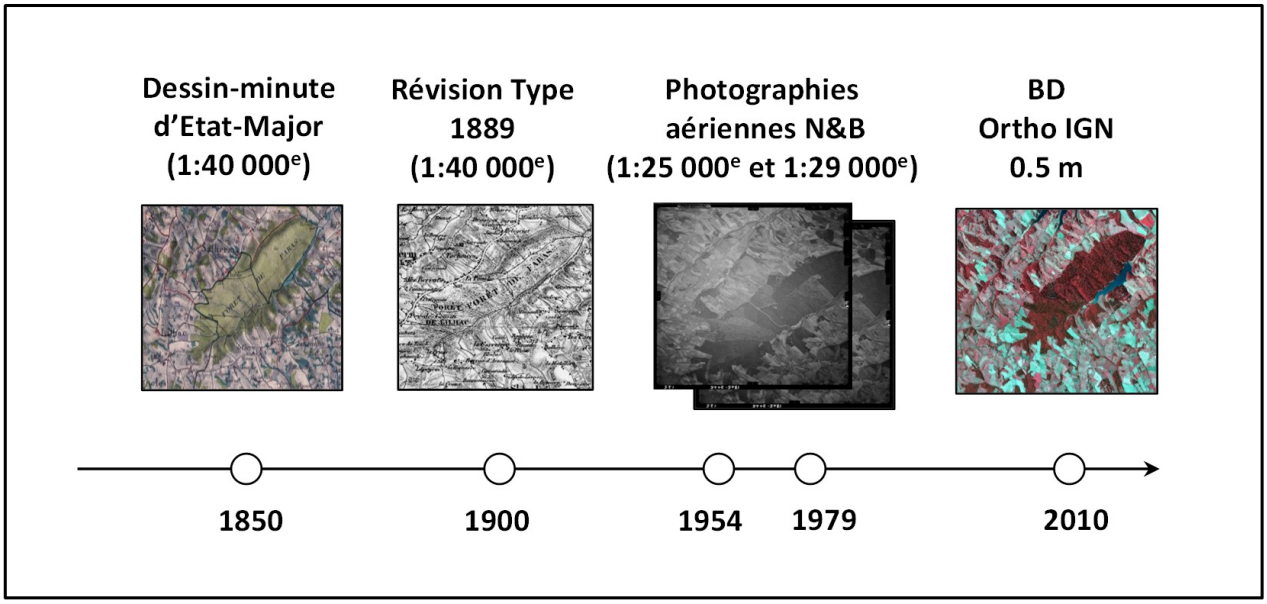

Figure 1 : Récapitulatif des données spatiales mobilisées pour le suivi de la dynamique forestière sur le temps long dans les Coteaux de Gascogne (31, Haute-Garonne).

Figure 2 : Exemple de cartographie automatisée des espaces forestiers sur un dessin-minute d'Etat-Major à partir de l'outil « Historical Map » (Feuille 230 « Toulouse », quart de feuille 230SO).

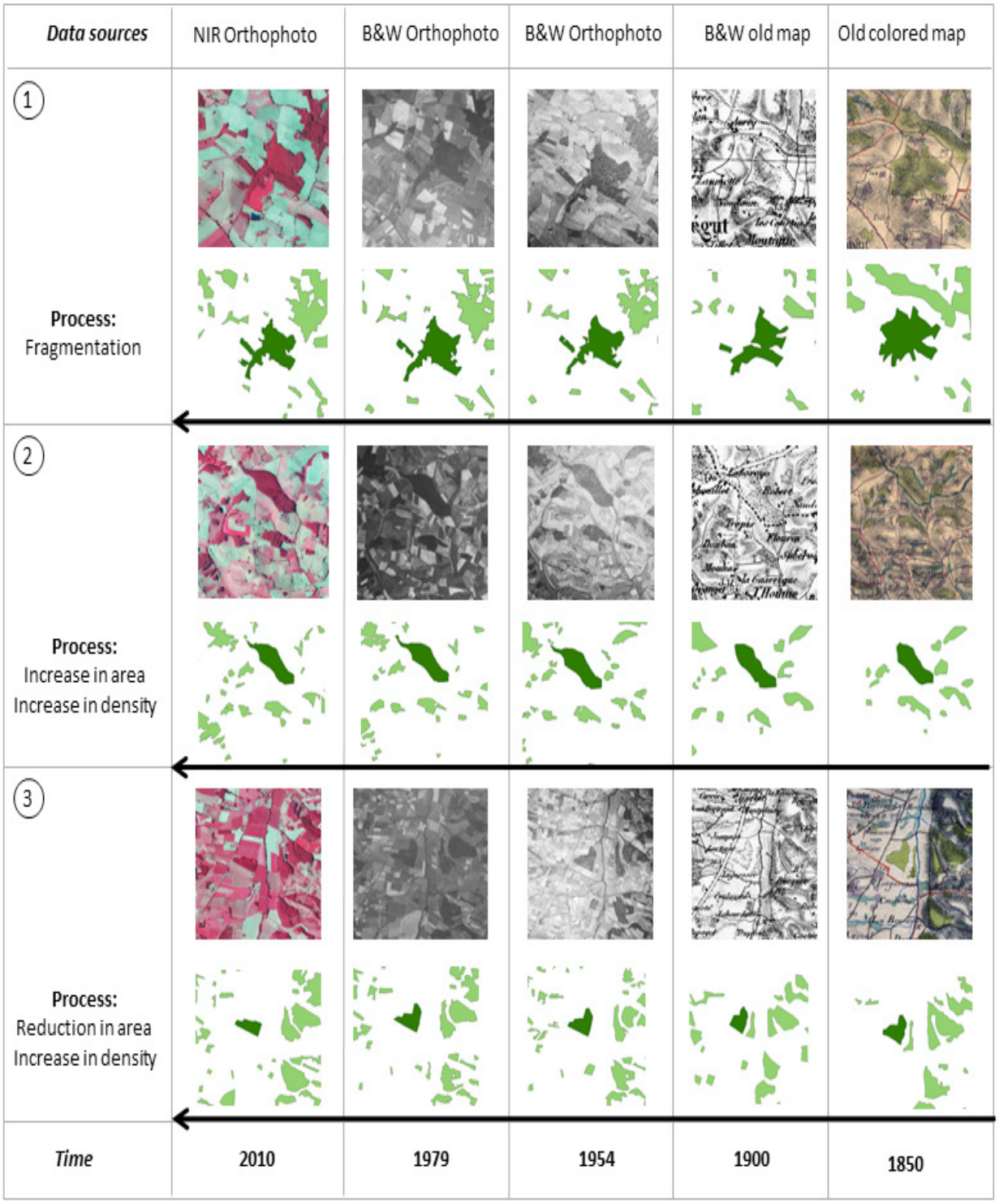

Figure 3 : Extraits des sources de données spatiales et exemples d'évolution de trois forêts échantillonnées (en vert foncé ; Herrault et al., 2015)

au sein d'un modèle linéaire généralisé (GLM) dans le but d'expliquer la richesse actuelle de syrphes forestiers (la variable réponse). Cela a mis en lumière un résultat crucial à savoir la présence d'une dette d'extinction et d'un crédit de colonisation chez les syrphes forestiers. En effet, ces derniers ont répondu avec une forte inertie aux perturbations de leurs habitats, notamment ceux qui se situaient dans les forêts plus isolées, ce qui représente une connaissance majeure dans le domaine de l'écologie des communautés de syrphes dans les paysages agricoles (Herrault et al., 2015b). L'ultime point abordé dans ce travail de thèse a concerné l'impact que pouvaient avoir les données spatiales anciennes et les processus qui y sont liés sur la validité des modèles espèces/habitat. En reprenant les GLM construits précédemment, différents aspects ont été évalués, notamment les procédures de classification automatique développées. Les résultats ont démontré des impacts significatifs de ces processus sur la réponse des modèles espèces/habitat (Herrault et al., 2015a).

Bibliographie

Herrault P.-A., 2015. *Extraction de fragments forestiers et caractérisation de leurs évolutions spatio-temporelles pour évaluer l'effet de l'histoire sur la biodiversité*, Thèse de doctorat en géographie, Université Toulouse 2 Jean Jaurès, 331 p + Annexes

Herrault P.-A., Larrieu L., Cordier S., Gimmi U., Lachat T., Ouin A., Sarthou J.-P. & Sheeren D., 2015. *Combined effects of area, connectivity, history and structural heterogeneity of woodlands on the species richness of hoverflies (Diptera: Syrphidae)*, Landscape Ecology, in press

Herrault P.-A., S Sheeren D., Fauvel., M. & Paegelow., M. ,2014. *Vectorisation automatique des forêts dans les minutes de la carte d'Etat-Major du XIXe siècle*, Revue Internationale de géomatique, 25(1), p*p. 35-51*

Herrault P.-A., S Sheeren D., Fauvel., M., Monteil C. & Paegelow.*,* 2013. *A comparative study of geometric transformation models for the historical 'Map of France' registration,* Geographia Technica, 17(1), pp. 34-46