

Titre du projet de thèse :

DÉVELOPPEMENT DE PRODUITS SPATIAUX ANCIENS INÉDITS POUR ÉVALUER LES EFFETS DES CHANGEMENTS PASSÉS SUR LA BIODIVERSITÉ ACTUELLE

I) Directeurs / Co-directeurs :

Directeur : Dominique Schwartz - Professeur en Géographie - UMR 7362 CNRS/Université de Strasbourg, LIVE

Co-directeurs :

- Pierre-Alexis Herrault - Maître de conférence en Géographie - UMR 7362 CNRS/Université de Strasbourg, LIVE
- Germain Forestier - Professeur en Informatique - IRIMAS - Université de Haute Alsace

II) Description :

Dans un contexte actuel de déclin de la biodiversité, la connaissance et la compréhension des mécanismes agissant sur la présence des espèces faunistiques et floristiques dans nos paysages sont des enjeux majeurs pour les années à venir [Cardinale et al., 2012]. Cela permet de mieux les préserver ou bien d'encourager leur présence afin qu'elles continuent à jouer leur rôle dans le maintien des écosystèmes (notion de services écosystémiques : Reid et al., 2006). Un des mécanismes potentiels pouvant agir concerne l'histoire des paysages. En se tournant vers le passé, la biodiversité actuelle est en partie une conséquence des modes d'utilisation des milieux. Et, vers l'avenir, la trajectoire temporelle des systèmes est également une clef de la biodiversité. En effet, certaines espèces sont susceptibles d'exprimer un délai de réponse aux perturbations subies. Leur réaction (disparition, régression, ou au contraire, installation, expansion) n'est par conséquent pas visible aujourd'hui mais pourrait l'être dans un futur plus ou moins proche (notion de dette d'extinction ou de crédit de colonisation) [Kuussari et al., 2009 ; Cristofoli et al., 2010]. Ces délais peuvent varier en fonction des changements eux mêmes (vitesse, rythme, intensité) mais également en fonction des traits de l'espèce, notamment leur capacité de dispersion. Il est donc nécessaire de **reconstruire nos paysages à des échelles spatiales adaptées et sur un temps suffisamment long** pour comprendre comment ces bouleversements structurent les patrons actuels de biodiversité.

Les données spatiales anciennes sont des données cruciales pour reconstruire l'évolution des paysages. Parmi elles, les clichés aériens issus des missions anciennes de l'IGN (Institut Géographique National) sont largement sous-exploités alors qu'ils constituent une base d'information gratuite, au recul sans précédent (pour des observations systématiques) et à très haute résolution spatiale (inférieure ou égale à 1m) [Giordano et al., 2017]. Ces photographies ont longtemps été capturées en Noir et Blanc avant d'être acquises en couleurs (ou infrarouge ponctuellement) au début des années 1960. L'intervalle d'acquisition inter-annuel sur une région donnée est en moyenne de 5 ans alors qu'on dispose en moyenne d'une ou deux dates d'acquisition par an. Toutefois, le niveau de qualité variable (géométrie, radiométrie) de ces données complique considérablement leur exploitation, notamment pour les clichés panchromatiques. En effet, les méthodes de classification utilisées pour cartographier automatiquement les éléments au sol montrent des performances moyennes en raison d'un manque d'attributs exploitables pour être calibrés. **Il en résulte des trajectoires paysagères souvent biaisées pouvant potentiellement affecter la réponse des modèles espèces-habitats.** [Jager et al., 2004].

Un autre problème concerne le type d'information qu'il est possible d'extraire de ces données. Une fois les éléments extraits aux différentes dates, la caractérisation des changements est relativement limitée et essentiellement de deux types : (1) morphologique, c'est à dire qu'il est possible de suivre la dynamique d'une forme au cours du temps (expansion, attrition, fusion) ou (2) sémantique, en décrivant l'évolution de la nature de l'objet sur un intervalle de temps [Herrault et al., 2015, 2016]. Ces informations sont riches mais peinent parfois à expliquer la présence de biodiversité actuelle. En effet, la mise en évidence des pratiques de gestion n'est pas permise alors que ces dernières jouent un rôle certain sur le maintien des espèces dans un paysage. Pour les détecter, le cycle phénologique intra-annuel est souvent utilisé comme proxy mais sa caractérisation dépend fortement de la fréquence d'acquisition et du type de bandes spectrales disponibles, caractéristiques souvent défectueuses dans les missions aériennes anciennes. Il est donc nécessaire de **développer des approches permettant d'enrichir ces données à la fois spectralement et temporellement** pour être en mesure de reconstruire les dynamiques phénologiques intra-annuelles et inter-annuelles du passé.

L'émergence des techniques d'apprentissage (*machine learning*, *deep learning*) permet d'envisager de nouvelles approches pour être en mesure de maximiser le potentiel de missions aériennes anciennes. En particulier, l'usage de ces techniques en traitement d'image permet d'apprendre des modèles de correspondance entre paire de photographies dans le but de transférer les attributs d'une scène vers une autre (transfert de canaux de couleurs vers une image N et B par exemple, Figure 1) [Isola et al., 2016 ; Zhu et al., 2017]. Leur usage pour les produits géographiques a toutefois été peu étudié alors qu'elles permettraient d'enrichir les clichés anciens à l'aide d'attributs actuels, voire prédire de nouvelles données là où il existe des manques lors de périodes clés (Figure 1). La reconstruction des trajectoires spatio-temporelles paysagères et la fiabilité des modèles espèces-habitats pourraient alors en bénéficier. **Il est à noter que ces approches renforceraient aussi la dimension patrimoniale de ces données en mettant à disposition de produits spatiaux anciens inédits, plus faciles à appréhender par les structures territoriales ou le grand public.**



Figure 1 : Exemple de produits spatiaux inédits sur la commune de Niederhausbergen (Bas-Rhin) en 1956 (Stage de Master 2 - Quentin Poterek). (à gauche) Photographie initiale N et B ; (au centre) Photographie colorisée à l'aide d'un modèle d'apprentissage profond, (à droite) Photographie fausses couleurs infra-rouge produite à l'aide de l'apprentissage par transfert

Cette thèse s'intéresse au développement de produits spatiaux anciens inédits à partir des archives aériennes de l'IGN pour évaluer les effets des dynamiques spatio-temporelles des prairies anciennes sur la diversité actuelle de la flore [Piqueray et al., 2011]. Nous proposons d'exploiter les clichés disponibles depuis les années 30 jusqu'à aujourd'hui pour reconstruire ces trajectoires au sein de deux zones distinctes : (1) les communes de Marmoutier, Singrist et Dimbathal présentant à la fois des paysages très fragmentés mais également des zones soumises à une réelle stabilité au cours du temps (Bas-Rhin, 72 missions IGN disponibles depuis 1932 jusqu'à aujourd'hui) (2) les coteaux de Gascogne (Haute Garonne) paysage de polyculture élevage et fortement fragmenté (Zone Atelier PYGAR, 62 missions IGN disponibles entre 1942 et aujourd'hui). La thèse s'articule autour de trois objectifs majeurs :

(1) **Développer un modèle de colorisation des photographies aériennes anciennes N et B à l'aide de l'apprentissage profond.** Nous considérons que l'apport de la couleur dans les clichés N et B peut améliorer la performance des modèles de classification des prairies et la cohérence des trajectoires spatio-temporelles reconstruites.

(2) **Prédire de nouvelles bandes spectrales (infrarouge) et de nouvelles acquisitions en exploitant les techniques d'apprentissage par transfert.** Cela doit nous permettre de différencier les prairies détectées du point de vue des pratiques de gestion qu'elles ont subies au cours du temps.

(3) **Mesurer les effets des trajectoires spatio-temporelles des prairies sur la richesse spécifique des plantes.** Ce troisième volet vise à vérifier si, en fonction de l'histoire qu'elles ont connues, les prairies actuelles présentent une diversité de flore différente. L'apport des développements méthodologiques présentés dans les deux précédents volets sera vérifiée à travers une analyse d'incertitude des modèles « espèces-habitats ».

III) Encadrement :

Ce projet de thèse requiert des compétences en géographie du paysage, en télédétection et en informatique. La structure d'encadrement prévue pour cette thèse répond ainsi parfaitement à ces attentes en regroupant trois encadrants aux compétences spécifiques et complémentaires. **Dominique Schwartz** (UMR LIVE CNRS/ UNISTRA) est spécialiste des dynamiques des agrosystèmes sur le temps long. **Pierre-Alexis Herrault** (UMR LIVE CNRS/UNISTRA) est depuis Septembre 2017, Maître de conférences en Géographie spécialisée dans le domaine de la Géomatique et de la Télédétection. Ses recherches s'intéressent principalement à l'exploitation des données spatiales anciennes et actuelles dans un contexte d'écologie du paysage et historique. Enfin, **Germain Forestier**, professeur d'Informatique à l'Université de Haute Alsace (Institut de Recherche en Informatique, Mathématiques, Automatique et Signal, IRIMAS) dispose d'une forte expertise dans les nouvelles méthodes d'apprentissage automatique (apprentissage profond, apprentissage par transfert). Une grande partie de ses recherches est spécifiquement dédiée à l'exploitation des produits spatiaux [Fawaz et al., 2018a,2018b].

IV) Environnement :

Le doctorant sera considéré comme un membre à part entière du laboratoire et des axes de recherche « IMAGE » et « Dynamique des Paysages ». Il bénéficiera des mêmes conditions de travail, à savoir un poste de travail et des équipements informatiques nécessaires à la réalisation de ce projet de thèse. En particulier, l'accès aux ressources du méso-centre de calcul de l'UNISTRA permettra de bénéficier de toutes les infrastructures nécessaires à la mise en œuvre de calculs relatifs à l'apprentissage profond (CPU, GPU). L'utilisation des ressources du méso-centre est une pratique déjà bien développée au sein de l'équipe IMAGE de l'UMR LIVE et du laboratoire IRIMAS. Le doctorant profitera également d'un environnement de recherche très riche puisque plusieurs projets en cours ou en démarrage soutiendront la réalisation de projet :

(1) L'ANR HIATUS (Historical Image Analysis for Territory evolution Stories – 2019-2023) démarrera en Juin 2019 et vise à développer des approches pour la reconstruction automatisée des territoires anciens en 2D et 3D. Le portage de ce projet étant assuré par un membre du laboratoire MATIS (IGN), cette ANR constituera un socle important pour la réalisation de cette thèse à différents niveaux : a) en apportant un soutien financier au doctorant, b) en fournissant une expertise de haut niveau au sujet de la qualité et la disponibilité des archives aériennes anciennes de l'IGN, c) en mettant à disposition un cadre de recherche stimulant et complémentaire aux recherches développées tout au long de ce projet de thèse.

(2) D'autres projets en cours¹ viendront appuyer financièrement le doctorant durant la première année de la thèse

(3) Nous prévoyons également de répondre à divers appels à projets pour compléter les ressources nécessaires au bon fonctionnement du doctorant.

¹ Projet RASTER (Reconnaissance Automatisée d'anciennes Structures agraires à partir de données de Télédétection) IDEX, 2018-2020, 30000 €
Projet ESPA (Extension Spatiale des Parcelles Anciens) MISHA, 2019-2020, 5000 €

Bibliographie

- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., ... & Kinzig, A. P. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, *486*(7401), 59.
- Cristofoli, S., Piqueray, J., Dufrière, M., Bizoux, J. P., & Mahy, G. (2010). Colonization credit in restored wet heathlands. *Restoration Ecology*, *18*(5), 645-655.
- Fawaz, H. I., Forestier, G., Weber, J., Idoumghar, L., & Muller, P. A. (2018, December). Transfer learning for time series classification. In *2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (pp. 1367-1376). IEEE
- Fawaz, H. I., Forestier, G., Weber, J., Idoumghar, L., & Muller, P. A. (2018). Deep learning for time series classification: a review. *arXiv preprint arXiv:1809.04356*.
- Giordano, S., Le Bris, A., & Mallet, C. (2017, March). Fully automatic analysis of archival aerial images current status and challenges. In *2017 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE)* (pp. 1-4). IEEE.
- 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: une approche multi-sources* (Doctoral dissertation, Université Toulouse le Mirail-Toulouse II).
- Herrault, P. A., Larrieu, L., Cordier, S., Gimmi, U., Lachat, T., Quin, A., ... & Sheeren, D. (2016). Combined effects of area, connectivity, history and structural heterogeneity of woodlands on the species richness of hoverflies (Diptera: Syrphidae). *Landscape ecology*, *31*(4), 877-893.
- Isola, P., Zhu, J. Y., Zhou, T., & Efros, A. A. (2017). Image-to-image translation with conditional adversarial networks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1125-1134).
- Jager, H. I., & King, A. W. (2004). Spatial uncertainty and ecological models. *Ecosystems*, *7*(8), 841-847.
- Kuussaari, M., Bommarco, R., Heikkinen, R. K., Helm, A., Krauss, J., Lindborg, R., ... & Stefanescu, C. (2009). Extinction debt: a challenge for biodiversity conservation. *Trends in ecology & evolution*, *24*(10), 564-571.
- Piqueray, J., Cristofoli, S., Bisteau, E., Palm, R., & Mahy, G. (2011). Testing coexistence of extinction debt and colonization credit in fragmented calcareous grasslands with complex historical dynamics. *Landscape Ecology*, *26*(6), 823-836.
- Reid, W. V., Mooney, H. A., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., Cropper, A. ...& Pingali, P. (2006). Nature: the many benefits of ecosystem services. *Nature*, *443*(7113), 749
- Zhu, J. Y., Park, T., Isola, P., & Efros, A. A. (2017). Unpaired image-to-image translation using cycle-consistent adversarial networks. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* (pp. 2223-2232)