

2021 - PROPOSITION D'UN SUJET DE THESE LIVE A L'ED413

Sujet de thèse : Télédétection 'hypertemporelle' de la végétation urbaine : apport pour une gestion durable de la strate arborée urbaine

Laboratoire d'accueil : Laboratoire Image, Ville, Environnement (LIVE, URM 7362 CNRS) - Axe 'IMAGE' / Université de Strasbourg

Ecole doctorale : Sciences de la Terre et Environnement (ED413)

Directeur de thèse : Anne Puissant (PR) – anne.puissant@live-cnrs.unistra.fr

Encadrements : G. Forestier (PR - IRIMAS), J. Bouyer (IR - Cerema), J.M. Delvit (IR - Laboratoire OT-CNES)

- **Contexte :**

La ville, bien que définie par son artificialisation et son aspect minéral, est un lieu de convergence de nombreuses compétences autour du végétal. Dans le contexte de densification et d'étalement des villes, et sous une pression environnementale croissante, les bénéfices apportés par la végétation urbaine sont essentiels pour le maintien d'une qualité de vie au cœur de l'espace urbain. Ces derniers sont particulièrement étudiés, reconnus et intégrés par les décideurs publics et privés. La végétation en milieu urbain s'ancre alors sans précédent dans les nouvelles politiques de la ville.

La végétation urbaine, et en particulier la **strate arborée urbaine** est une composante importante des écosystèmes urbains. Les arbres urbains jouent en effet un rôle crucial dans l'atténuation des problèmes environnementaux urbains en fournissant une série de services écosystémiques essentiels, par exemple la réduction de la pollution atmosphérique, la modération des températures, la réduction du ruissellement des eaux de pluie et le stockage du carbone (Mullaney et al., 2015 ; Roy et al., 2012) mais aussi conservation de la biodiversité (Alvey, 2006). Ils constituent une solution durable et unique aux problèmes environnementaux et l'ampleur de leurs services dépend de la composition des espèces, de la situation de croissance et de leur contexte de localisation (Wang et al., 2019). Des arbres urbains sains, correctement aménagés et bien gérés peuvent offrir à la fois des vues esthétiques et de nombreux avantages écologiques.

Face à la perte significative de milieux semi-naturels et naturels dans les espaces urbanisés, plusieurs villes françaises ont impulsé des politiques locales en matière de pérennisation du patrimoine arboré et de revégétalisation des villes. Dans le Grand Est, différents programmes inhérents aux principales villes de la région sont d'ores et déjà appliqués, ou en cours d'application. Par exemple, la ville de Strasbourg a adopté en 2020 son Plan « Canopée » visant à planter environ 30 000 arbres jusqu'à l'horizon 2030, contre les carences en surfaces végétales au sein de son espace urbain. La ville de Nancy dispose aussi d'un Plan « Nature », la ville de Metz a signé en 2020 la convention SESAME (Services EcoSystémiques rendus par les Arbres, Modulés selon l'Essence).

Ces exemples permettent d'illustrer le besoin de suivi de la strate arborée urbaine pour une gestion durable de nos villes. La quantification des différents services rendus par les arbres urbains ainsi que la réussite de cette gestion durable nécessitent des données et des informations précises et détaillées sur les caractéristiques structurelles (morpho-types, surface de canopée, hauteur, etc), mais aussi sur leur composition (espèces, richesse, biodiversité), leur état (stade de croissance, état sanitaire et hydrique), ainsi que sur les dynamique spatio-temporelle de ces caractéristiques.

Avec l'arrivée récente des constellations telles que *Sentinel* (du programme spatial européen Copernicus – depuis 2016) ou *Planet Labs* (programme américain- depuis 2017), des images satellites optiques à Haute Fréquence Temporelle (HFT) avec une Haute Résolution Spatiale - HRS (respectivement à 10 et 20m pour Sentinel, et de l'ordre de 3 à 5m pour Planet) sont disponibles avec un accès libre (pour Sentinel) ou à moindre coût (pour Planet). De plus, la nouvelle mission COD3D (Constellation Optique 3D programmées par le CNES, dont le lancement est prévu à partir de 2022) permettra d'accéder à des images métriques à sub-métriques

permettant la production de données 3D de manière très régulière sur le territoire. De nouveaux défis s'ouvrent alors à la communauté scientifique, en particulier pour les études centrées sur la végétation en raison de cette courte fréquence de revisite qui permettra une caractérisation 3D et une analyse des cycles phénologiques intra et inter-annuelle de la strate arborée urbaine.

- **Objectifs de la thèse :**

Ce projet de thèse a pour objectif d'étudier la strate arborée, en particulier des villes du Grand Est, et sa dynamique à travers l'exploitation de l'imagerie satellitaire par des méthodes innovantes et reproductibles basées sur l'Intelligence Artificielle (IA). Il s'agit donc d'extraire de nouvelles connaissances adaptées à l'évaluation des services écosystémiques rendus par les arbres en villes.

Dans un premier temps, l'apport de l'imagerie satellitaire multi-temporelles (quelques images par an) avec des résolutions spatiales métrique à sub-métrique (de type Pléiades à 50 cm) et avec des possibilités de stéréoscopie permettant de dériver des indicateurs 3D, seront explorées afin de caractériser les arbres urbains d'un point de vue structurel et analyser leurs changements spatio-temporels (changement de configuration, variation des hauteurs, de la surface de canopée, etc). Dans un second temps, la composition des arbres urbains (espèce et diversité), leur état (hydrique, sanitaire, stade de croissance) et leurs dynamiques (intra-annuelle et inter-annuelle) seront étudiées à partir d'images satellites à Haute Fréquence Temporelle (une image tous les 6 jours) avec une résolution spatiale plus grossière (entre 3m à 10m – images de type Sentinel ou Planet Labs).

Les retombées scientifiques attendues concernent la connaissance de ce patrimoine arboré (homogène et comparable sur le territoire du Grand Est) mais aussi les méthodes innovantes fondées sur l'exploitation des images satellites issues de différents capteurs avec des caractéristiques complémentaires à partir des méthodes d'IA. Les retombées sociales et environnementales attendues concernent la gestion raisonnée et durable de cette composante essentielle des écosystèmes urbains car la compréhension de la dynamique spatio-temporelle de ce patrimoine est essentielle afin de maintenir le service des écosystèmes urbains et d'améliorer l'environnement urbain.

- **Encadrement / collaborations :**

Cette thèse s'inscrit dans une dynamique de recherche en cours au sein du **LIVE** et du **groupe de recherche IMAGE** qui travaille depuis plusieurs années sur cette thématique (Puissant et al., 2014 ; Nabucet et al., 2015 ; Rougier et al., 2016,) et elle permettra de développer les collaborations avec les écologues du LIVE. Cette thèse s'inscrit également dans le cadre de recherche inter/pluridisciplinaires associant géographes – spécialistes de l'imagerie multi-capteurs, et des méthodes d'IA appliquées au traitement d'images et écologues – spécialisés en écologie urbaine issus du monde académique et des services de l'Etat (en particulier à travers les services d'écologie urbaine des villes du Grand Est qui seront sélectionnées comme site tests – Strasbourg / Nancy / Metz).

Ce projet de thèse sera mené en étroite collaboration avec différents acteurs interdisciplinaires, à la fois académique, et institutionnel : le **laboratoire IRIMAS** (Université de Haute Alsace - Institut de Recherche en Informatique, Mathématiques, Automatique et Signal) avec une forte expertise dans les nouvelles méthodes d'apprentissage automatique (apprentissage profond, apprentissage par transfert) ; le **Cerema et son équipe TEAM** à Nancy, en charge du volet thématique concernant la définition du référentiel des typologies de végétation et la construction des indicateurs associés à l'évaluation des services écosystémiques pour les villes de Nancy et Metz ; le **laboratoire OT du CNES** pour les aspects reconstruction 3D. Les services d'écologie urbaine des villes de la région GE (Strasbourg, Nancy et Metz) seront également partie prenante de ce projet de thèse en particulier sur les aspects données de validation et relevés de terrain.

Références bibliographiques :

- Alvey, A., 2006, Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, 5(4), 195–201.
- Metz, 2020, Conseil municipal de la ville de Metz, séance du 1 octobre 2020, conventions SESAME 2. Registre des délibérations. 2020.
- Mullaney, J.; Lucke, T.; Trueman, S.J. A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. *Landsc. Urban. Plan.* 2015, 134, 157–166.
- Nabucet J., Rougier S., Deniau J., Vetillard L., Hanson E., Benarchid O., Wolff E., Hubert-Moy L., Puissant A., 2015: Multi-scale methodology to map grey and green structures in urban areas using Pléiades images and existing geographic data. *RFPT*, 209, 95-101.
- Nancy, 2019, Rapport de développement durable 2019.
- Puissant A., Rougier S., Stumpf A., 2014. "Object-oriented mapping of urban trees using Random Forests classifiers", *International Journal of Applied Earth observation and Geoinformation*, 26, 235–245, DOI: 10.1016/j.jag.2013.07.002.
- Rougier S., Puissant A., Stumpf A., Lachiche N., 2016, Comparison of sampling strategies for object-based classification of urban vegetation from VHR satellite images, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 51, pp. 60–73.
- Roy, S.; Byrne, J.; Pickering, C. A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban. For. Urban. Green.* 2012, 11, 351–363.
- Wang K., Wang T., Liu X., 2019, A review: Individual Tree Species Classification Using Integrated Airborne LiDAR and Optical Imagery with a Focus on the Urban Environment, *Forests*, 10, 1; doi:10.3390/f10010001.