

## Cartographier les grands et vieux arbres

De prime abord, le terme « Grand et Vieil Arbre » (GVA) apparaît désigner simplement n'importe quel arbre, mort ou vivant, caractérisé par une taille importante ainsi qu'une certaine longévité au sein d'un espace donné. Selon Lindenmayer (2016), les GVA peuvent être définis comme les arbres les plus grands et les plus âgés d'une population d'arbres appartenant à la même espèce, le qualificatif « grand » étant à la fois relié à la taille de l'arbre et au diamètre de son tronc.

Pour affiner cette définition, cinq grandes caractéristiques sont couramment observées pour ce type d'arbres. Une partie d'entre elles se retrouvent dans la Figure 1, à savoir :

- De larges et longs contreforts,
- Présence de larges cavités au sein du tronc,
- Une couronne (ou houppier) de taille importante et très fourni en termes de matériel boisé,
- De grands branchages (longueur et diamètre),
- Une fissuration importante et profonde de l'écorce.

### L'importance des grands et vieux arbres et leur conservation

Premièrement, *via* ses spécificités morphologiques et de composition (branches et feuilles), un GVA croît de manière plus rapide et importante que les arbres plus jeunes et permet le stockage d'une quantité plus importante de carbone, tandis que son feuillage plus développé joue un rôle majeur dans l'absorption du dioxyde de carbone. Deuxièmement, le GVA fournit de nombreux éléments structurels servant de ressources ou d'habitats pour un grand nombre d'espèces que des arbres plus modestes n'offrent pas forcément, tels que des creux dans son tronc ou le bois de son branchage.

Malgré leur importance sur le plan écologique, les GVA sont des structures particulièrement vulnérables. La croissance démographique des populations humaines et l'urbanisation massive observées au cours des dernières décennies ont exercé une pression importante sur ces individus conduisant globalement à leur disparition

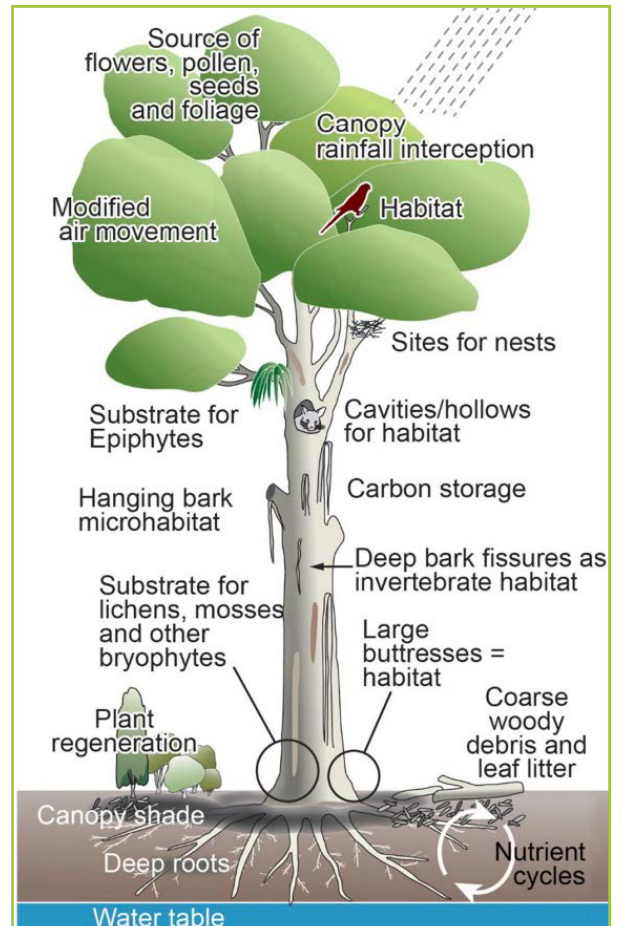


Figure 1 : Représentation schématique des divers rôles écologiques d'un GVA (d'après Lindenmayer, 2016)

progressive.

Leur détection et leur suivi dans le temps sont des paramètres essentiels à leur conservation.

### Le LiDAR aéroporté pour caractériser la végétation arborée

La mesure LiDAR (Light Detection and Ranging) est une méthode d'acquisition de données altimétriques. Elle repose sur l'émission et la réception d'une impulsion de lumière afin d'obtenir notamment la distance entre le récepteur et la cible grâce au temps de parcours de

l'impulsion. Ainsi, à partir du nuage de points obtenu, il est possible de dériver plusieurs images comme des Modèles Numériques de Terrain (MNT, la description altimétrique du sol) ou de Surface (MNS, la description altimétrique du sol et de ses superstructures comme la végétation). L'information fournie par les nuages de points permet en plus d'effectuer une caractérisation des différents retours obtenus, à travers leur nombre (densité de points) ou leur intensité de retour.

Pour la caractérisation des arbres, deux étapes sont généralement nécessaires :

- (1) la segmentation des couronnes afin de délimiter l'enveloppe nécessaire pour extraire le nuage de points propre à l'arbre ; cette étape est le plus souvent réalisée à partir du modèle du MNS,
- (2) le calcul d'indicateurs à partir du nuage extrait ; ils peuvent décrire la canopée, le profil vertical ou horizontal ainsi que la composition (feuillage, branchage) d'un arbre.

## Matériels et démarche mobilisés pour détecter les GVA sur la commune de Strasbourg

La démarche globale suivie dans cette étude est détaillée dans la figure 3. Elle comprend 3 étapes majeures, à savoir la caractérisation des arbres à partir des variables LiDAR, la segmentation des couronnes d'arbres, et la calibration/validation d'un modèle de détection automatisé.

### (1) la caractérisation des arbres

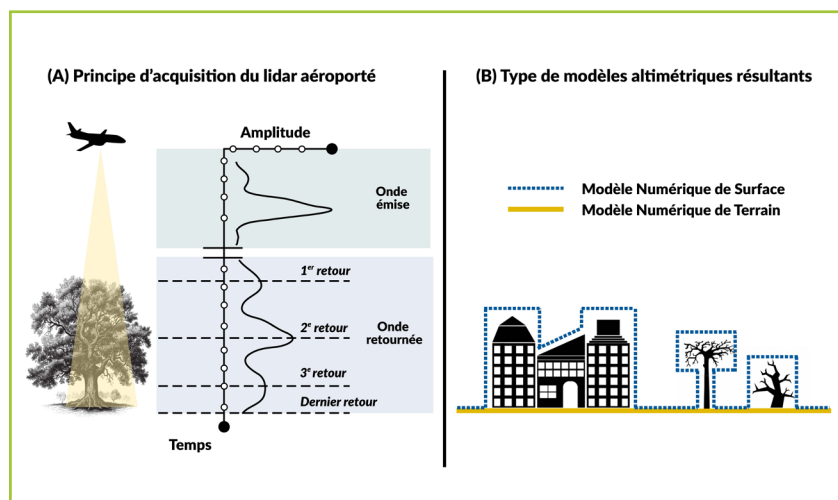


Figure 2 : Principe du laser aéroporté pour l'acquisition de données au-dessus des arbres urbains et type de modèles altimétriques résultants

Les données que nous avons utilisées dans cette étude sont issues du vol LiDAR réalisé sur le territoire de l'EuroMétropole en mars 2021. L'instrument employé est un LiDAR Riegl VQ-780 II-S à retour discret d'une fréquence de 1 600 KHz, correspondant au nombre d'impulsions par seconde. L'instrument était embarqué à bord d'un avion Cessna P68 pour une hauteur de vol à 800 mètres. Le nuage de points obtenu en sortie est d'une densité moyenne de 30 points au m<sup>2</sup>. Au total, près de 20 milliards de points 3D ont été récupérés puis répartis au sein des 1 558 dalles de 500 m sur 500 m, soit 0,25 km<sup>2</sup> pour chaque. Notre étude ne portant que sur la ville de Strasbourg, seules 389 de ces dalles ont été exploitées, couvrant environ 97,25 km<sup>2</sup> en prenant en compte les débordements.

La base de données du patrimoine arboré (BDA) utilisée pour ce travail est aussi fournie publiquement par l'EMS (inventaire et suivi des arbres). Au mois de mars 2022, cette base de données contenait en tout 79 744 arbres représentant 604 espèces uniques, dont 61 977 pour la seule ville de Strasbourg.

Dans un premier temps, au sein de la BDA, une sélection préliminaire est réalisée afin d'extraire les espèces fournissant les arbres les plus grands et volumineux. Cette opération s'appuie sur une métrique combinée pour laquelle la hauteur de l'arbre est multipliée par le diamètre de son tronc. Sur la base de la valeur moyenne de ce paramètre pour chaque essence, on extrait les espèces appartenant au premier quintile des valeurs les plus élevées.

De cette première sélection, seules les 20 espèces les plus fréquemment observées sont conservées. Cet échantillonnage

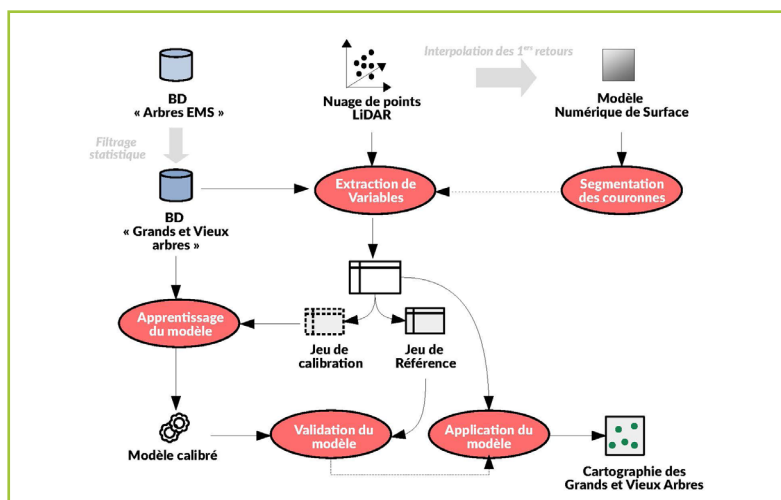
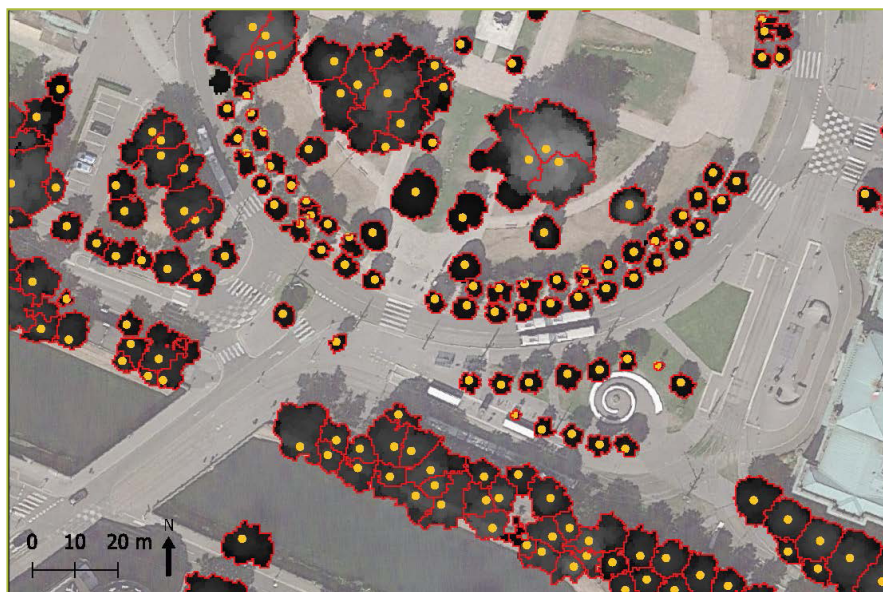


Figure 3 : Démarche globale suivie dans cette étude pour cartographier les GVA sur la commune de Strasbourg à partir de données LiDAR aéroporté.



**Figure 4 : Exemple de résultats de segmentation des couronnes dans le secteur de la Place de la République. Les cimes issues de l'estimation des maxima locaux (points orange) servent de base à la construction des polygones (contours rouges) au sein du MNS**

permet de retrouver environ 43% de tous les arbres présents dans Strasbourg, qui se démarquent à la fois par leur taille importante et par leur fréquence d'apparition au sein du territoire urbain.

Au sein de cette pré-sélection, les GVA sont caractérisés suivant cette même métrique, en récupérant pour chaque essence les individus apparaissant dans les cinq centiles les plus élevés, qui sont alors labellisés comme GVA. À l'issue de ce protocole de sélection, nous avons sélectionné une population totale de 26 825 arbres au sein de Strasbourg, dans laquelle ont été identifiés 1 343 GVA.

## (2) segmentation des couronnes d'arbres

La segmentation des couronnes d'arbres a été réalisée à partir du MNS selon une approche dite « watershed ».

Celle-ci s'appuie dans un premier temps sur la détection de maxima locaux (les cimes) avant d'opérer une délimitation des couronnes à partir de ces cimes. Enfin, pour valider cette segmentation, un échantillon de 3 035 arbres a été manuellement numérisé sous la forme de polygones en considérant des GVA et d'autres arbres. L'ensemble de cette digitalisation s'est basé sur le MNS complété par les informations issues des images satellitaires Google Satellite de la ville à très haute résolution spatiale. Ces dernières ont notamment servi pour distinguer les individus en apportant une information au sol là où le seul MNS n'était pas suffisamment clair.

Chaque arbre délimité s'est vu ensuite attribuer un ensemble de valeurs d'attributs LiDAR sélectionnées au préalable. Ils concernent à la fois des métriques morphologiques, de nombre de retours ou encore d'intensités de retour. Pour sélectionner ces valeurs, une approche par

comparaison statistique a été mise en place afin de déterminer quelles métriques étaient en mesure de séparer significativement les GVA des autres arbres. À l'issue de cette analyse, 27 attributs reprenant des caractéristiques morphologiques, des nombres de retours ou d'intensités de retours ont été retenus comme variables explicatives en entrée du modèle de détection.

## (3) la calibration/validation d'un modèle

Concernant le modèle de détection à proprement parler, nous avons utilisé un algorithme d'apprentissage supervisé (Machine Learning) appelé Random Forest (RF), couramment utilisé pour la classification et la régression. Pour calibrer ce modèle, nous avons utilisé la moitié des individus labellisés en GVA dans la base échantillonnée

ainsi qu'un nombre équivalent d'individus de la classe « autres ». Pour valider ce modèle, un jeu de données indépendant a été mobilisé uniquement pour tester la capacité de prédiction du modèle. Le modèle retenu a ensuite été appliqué à l'ensemble des arbres de la base de données arborée sur la commune de Strasbourg pour rendre compte de la distribution spatiale des GVA.

## Une première cartographie de la canopée urbaine historique

Notre étude sur la segmentation des couronnes d'arbres a démontré des performances de détection approximativement égales à 80 %. On note également un taux de recouvrement avec les polygones de référence de 40 à 80 %. Les observations montrent une bonne fiabilité de délimitation *via* l'approche employée dans la majorité des cas avec cependant des performances plus mesurées dans les zones de forte densité. Ces résultats ont été considérés comme satisfaisants et ont conduit à appliquer cette approche à l'ensemble de la commune de Strasbourg.

L'analyse statistique réalisée à partir des variables LiDAR a révélé plusieurs traits propres aux GVA sur la commune de Strasbourg. Ils se caractérisent par :

- Une forme plus grande, spacieuse et donc volumineuse matérialisée par un plus grand nombre de retours.

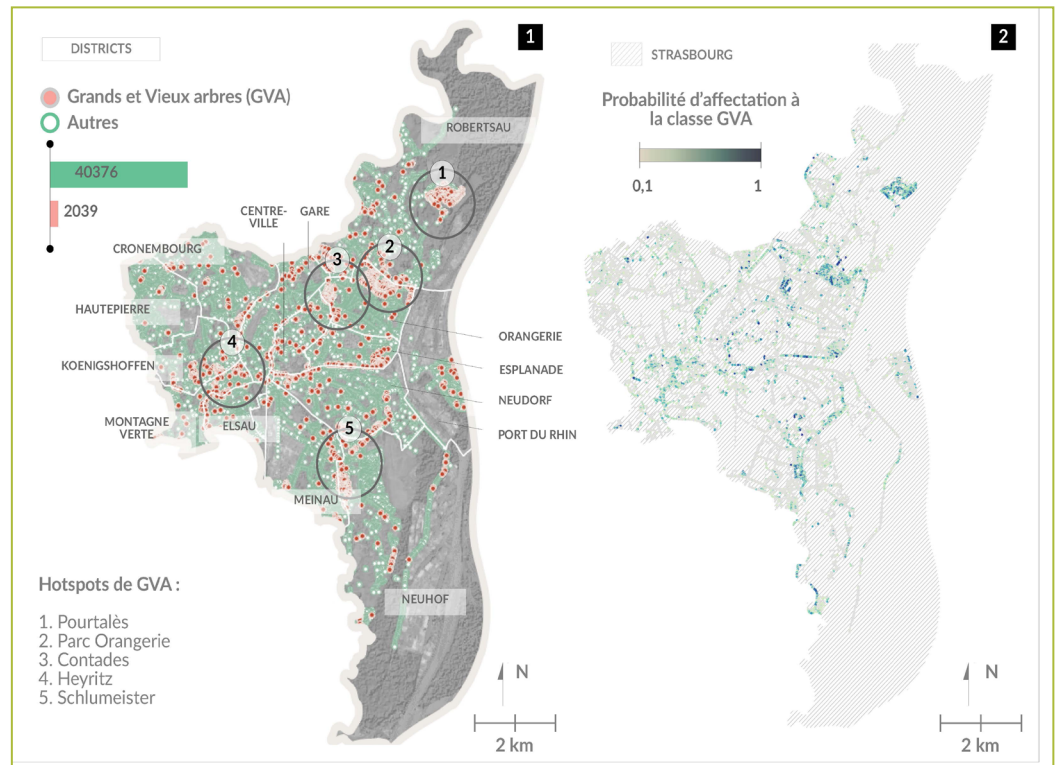
- Une partie inférieure (<50% de la hauteur de couronne) avec plus de branches que chez les autres arbres matérialisés par des densités de retours plus importantes dans les strates inférieures.

- Des formes verticales et horizontales plus complexes. Cela peut notamment se traduire par un branchage plus complexe ou une couverture moins régulière de la surface de couronne se traduisant par une forte variation dans la densité de retours.

- Une variation plus importante des intensités de retours qui sont reliés aux rebonds et aux propriétés de l'objet qu'il rapporte. Il est ainsi possible d'expliquer ces comportements par la complexité du branchage au sein du GVA, qui amène à plus de rebondissements des ondes de retour, mais également parce que le GVA possède aussi bien des branches très vieilles riches en matière, au retour d'intensité très fort, et des branches jeunes, au retour d'intensité nettement plus faible.

Le modèle de détection développé a montré des performances de détection satisfaisantes avec une précision globale d'environ 78 %. Son application à l'ensemble des arbres du domaine public de la ville de Strasbourg a permis de mettre en lumière un total de 2 039 GVA parmi les 40 376 arbres présents, soit environ 5 % de la population d'individus. Les parcs de l'Orangerie et de Pourtalès sont les plus peuplés en GVA avec respectivement 307 et 230 individus.

Les GVA peuplent aussi les berges des rivières, caractérisées par des



**Figure 5 : Cartographie des GVA identifiés par la classification (à gauche) et des probabilités de classification en GVA de l'ensemble des arbres de Strasbourg (à droite) au sein du MNS**

alignements d'arbres réguliers, notamment au niveau du canal au sud de l'île centrale. Au-delà de ces secteurs, la répartition des individus est généralement éparse au sein du territoire urbain, et correspond typiquement à la présence de places, squares et jardins publics.

## Utiliser ces cartographies

Ces premiers résultats cartographiques démontrent la pertinence du LiDAR aéroporté pour détecter des habitats écologiques à très forte valeur patrimoniale. Au-delà de ces aspects, la mise à disposition de ce type de cartographie pour des plans de gestion (Plan Canopée) est primordiale tandis que leur mobilisation pour comprendre la répartition de la biodiversité dans les milieux urbains est une plus-value significative dans le domaine de l'écologie de la conservation.

### Références

Lindenmayer, D. B. et Laurance, W. F. (2016). The ecology, distribution, conservation and management of large old trees. *Biological Reviews*, 92(3). pp. 1434-1458. DOI : 10.1111/brv.12290.

### Auteurs et contacts

**Pierre-Alexis Herrault**, UMR LIVE 7362 CNRS / Faculté de géographie de Strasbourg (pierre-alexis.herrault@live-cnrs.unistra.fr)

**Joeffrey Depp**, EuroMétropole de Strasbourg - Service Patrimoine