DÉTECTER ET CARTOGRAPHIER LA COUVERTURE VÉGÉTALE DE PARIS ET DE SES ABORDS À GRANDE ÉCHELLE

par Paul Rouet

Responsable de la banque de données urbaines
Atelier parisien d'urbanisme
9, rue d'Agrippa d'Aubigné750004 Paris

En milieu urbain dense, la couverture végétale réelle du sol est en partie méconnue, alors que chacun est bien conscient de son importance en termes de qualité de vie. Certes les jardins et les parcs publics restent l'emblème de l'introduction de la nature au cœur de nos villes et ils constituent des espaces de loisir et de détente appréciés et indispensables. Leur fréquentation en témoigne. Mais ils sont loin de constituer l'ensemble, ni même parfois l'essentiel de la couverture végétale d'une ville comme Paris.

Les bois, y compris leurs nombreuses concessions, les arbres d'alignement le long des avenues, les abords des grands ouvrages, comme les quais de la Seine ou des canaux, les talus du périphérique, les lentilles des échangeurs, les espaces plantés des cimetières ou des équipements sportifs de plein air, les espaces délaissés (chantiers, intervalles entre voies ferrées, petite ceinture…), et enfin les nombreux jardins semi-publics (hôpitaux, écoles…) ou privés, souvent cachés, contribuent également, chacun pour leur part, à faire de la ville, même d'une ville aussi dense que Paris, un espace qui n'est pas totalement minéral ni désertique, donc un espace susceptible d'accueillir, sous des formes parfois étonnantes, une certaine biodiversité.

Encore faut-il pouvoir détecter de façon fiable et exhaustive cette couverture végétale et la qualifier, notamment par sa hauteur ou son épaisseur. C'est ce que permettent les techniques les plus modernes de télédétection qui ont été appliquées ici avec une résolution, c'est-à-dire avec une finesse de détail, exceptionnelle. Plusieurs outils ont été combinés pour aboutir à la carte jointe, en distinguant, dans un premier temps, ce qui est végétal de ce qui ne l'est pas, puis, dans un deuxième temps, en déterminant l'épaisseur de la végétation.

1 Distinguer ce qui est végétal de ce qui ne l'est pas

Pour opérer cette distinction nous avons travaillé à partir de photographies aériennes à très haute résolution, prises par avion à environ 1800 m d'altitude en août 2005. La prise de vue a été effectuée en mode numérique par une caméra VEXCEL. Une centrale inertielle et un positionnement dynamique GPS, ainsi que des points de calage au sol, assurent une qualité remarquable de positionnement de ces images, inférieure à trois dizaines de centimètres (écart quadratique moyen). L'image a été orthorectifiée et assemblée au moyen d'un modèle numérique de terrain de très grande qualité (pas de un mètre) et le résultat rééchantillonné sous forme de pixels de 12,5 cm. C'est aujourd'hui l'orthophotoplan le plus précis de Paris et de sa région (fig. 1).

Comme chacun le sait, le capteur d'un appareil de photographie numérique est sensible à la lumière dans différentes longueurs d'onde. La réception séparée de l'intensité de lumière dans les longueurs d'onde correspondant au rouge, au vert et au bleu permet de reconstituer l'image en couleur, avec toutes ses nuances. Il s'agit là du spectre visible. La camera VEXCEL ajoute à ces trois canaux de réception de la lumière visible, un quatrième canal, invisible, dans le proche infrarouge. Finalement nous avons utilisé une image (© InterAtlas) comportant trois canaux : rouge, vert et proche infrarouge. Ces trois canaux combinés sont les plus sensibles pour différencier ce qui est végétal de ce qui ne l'est pas.

La première opération, que nous avons effectuée avec le logiciel ER-Mapper, a donc consisté à « apprendre » à l'ordinateur quelles valeurs combinées de la réflectance de la lumière dans ces trois canaux correspondaient à de la végétation et quelles

autres ne correspondaient pas à de la végétation. Le procédé consiste à établir à la main des « échantillons » sur l'image elle-même, aussi variés que possible afin de couvrir tous les cas. Chaque échantillon est un petit périmètre dans lequel on déclare : ceci est végétal ou ceci n'est pas végétal. C'est là que la très haute résolution de l'image joue un rôle positif, puisque chaque « pixel » déclaré comme végétal est bien entièrement végétal et réciproquement pour ce qui n'est pas végétal. Bien entendu, nous avons couvert tous les cas possibles : végétation au soleil, végétation à l'ombre des immeubles ou des arbres voisins, pelouses, bosquets. La mousse des toits a été éliminée. Le calcul d'extension des échantillons à l'ensemble de l'image a été réalisé par la méthode de classification du maximum de vraisemblance (fig. 2).

Le résultat obtenu est une image simplifiée, donnant la séparation du végétal de ce qui ne l'est pas (fig. 3). Pour alléger les calculs, nous avons réalisé cette image à la résolution de 50 cm, qui nous suffisait pour le reste du travail. Cette image reste, bien entendu, parfaitement calée en coordonnées géographiques, ce qui est très important pour la suite.

2 Distinguer les pelouses, les arbustes et les grands arbres

Cette distinction a été opérée par la hauteur de la végétation au-dessus du sol : moins de 1 mètre, de 1 mètre à moins de 10 mètres et enfin plus de 10 mètres. Pour cela nous avons utilisé l'écart entre le modèle numérique d'élévation (MNE), qui donne la hauteur au-dessus du niveau de la mer de toute élévation végétale ou minérale, et le modèle numérique de terrain (MNT) qui donne la hauteur du sol au-dessus du niveau de la mer. L'écart entre les deux donne bien la hauteur au-dessus du sol, à la fois du bâti et de la végétation. Par recoupement avec les résultats précédents, on peut séparer la hauteur de la végétation de la hauteur du bâti. Ces deux modèles (MNE et MNT), à la résolution exceptionnelle de 1 m, sont les meilleurs actuellement disponibles sur Paris et sa région. Ils nous ont été également fournis par la société InterAtlas.

Comment calcule-t-on la hauteur du sol et des élévations au-dessus du niveau de la mer ? On utilise également un procédé de télédétection. Mais cette fois, l'avion est équipé d'un émetteur à très haute fréquence d'impulsions laser. Cet émetteur bombarde un miroir qui projette le faisceau sur le sol. La fréquence est très élevée. Dans le cas présent, on dénombre en moyenne environ 2,2 impacts au sol par m^2 ! L'avion est équipé également d'un récepteur qui va enregistrer les retours des impacts du faisceau sur le sol et sur les élévations. Environ 70% de ces impacts renvoient une réflexion utilisable. Le calcul de la hauteur est obtenu par la mesure de la durée entre émission et réception, compte tenu des paramètres de vol de l'avion. Les résultats sont « moyennés » par m^2, d'où le pas de 1 m.

En fait, une impulsion laser peut donner lieu à plusieurs retours (jusqu'à 9 !!!). Le premier retour correspond au MNE : la hauteur mesurée est celle du sol, là où il n'y a pas d'élévation, sinon c'est la hauteur de celle-ci : faîte des arbres et des arbustes, faîte des constructions. La même impulsion sera réfléchie, en dessous du faîte des arbres, par le sol lui-même, avec un petit décalage… La dernière réflexion de l'impulsion laser forme la base du MNT. Celui-ci exigera toutefois de nombreux ajustements complémentaires, parfois manuels (fig. 4 et fig. 5).

Nous avons donc reconstitué, pour chaque portion de terrain (ou pixel) de $1m^2$, la différence entre le MNE et le MNT. Nous avons séparé les pixels végétaux des autres, par recoupement avec les résultats précédents, pour obtenir la hauteur de la végétation (Fig. 6). Nous avons enfin classé cette hauteur dans les trois classes retenues (moins de 1 m, 1 à 10 m et plus de 10 m) et vectorisé cette image. La carte jointe représente la végétation ainsi classée par hauteur, sur le fond de plan des îlots physiques que l'Apur a reconstitués à grande échelle sur Paris et la Petite Couronne. Un travail similaire a été réalisé sur les bâtiments, avec des classes de hauteur spécifiques.

L'orthophotoplan dans les bandes rouge, vert et proche infrarouge a été fourni par InterAtlas, ainsi que le modèle numérique de terrain et le modèle numérique d'élévation.

Les traitements ont été menés à l'Apur par Marie-Thérèse Besse, cartographe, avec l'assistance technique de Remi Corfini, de la société Digitech, sous la direction de Paul Rouet.

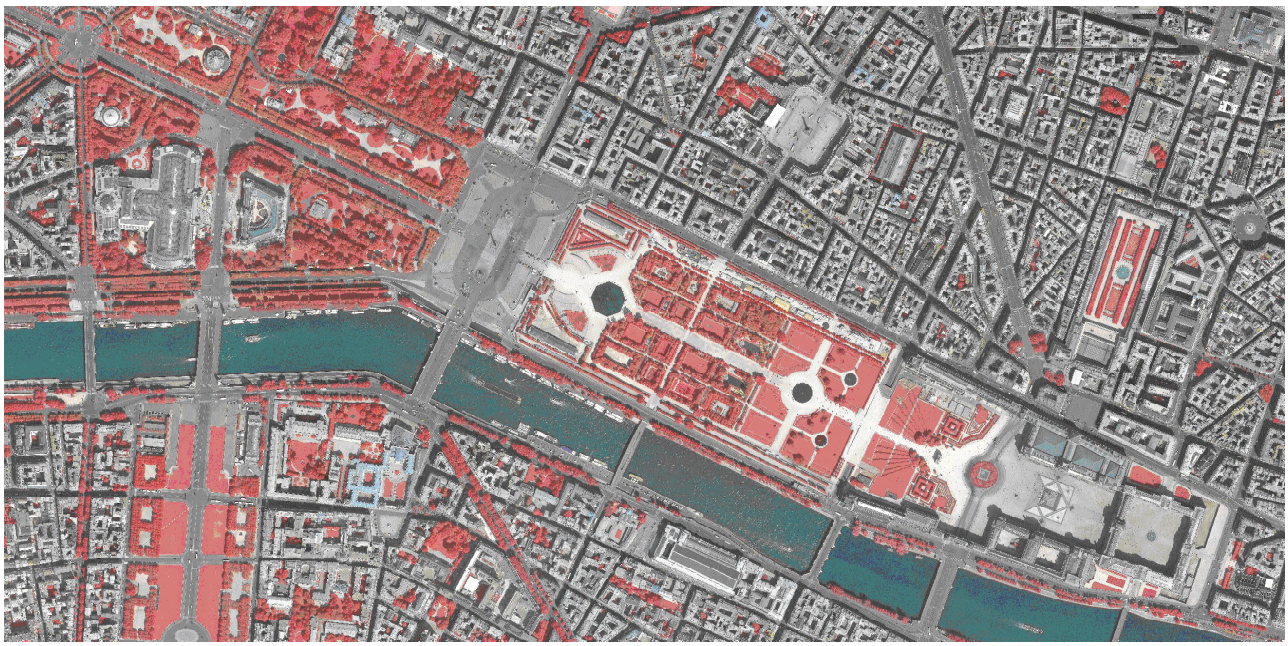

Figure 1 : Orthophoto dans les canaux rouge, vert et proche infrarouge © InterAtlas

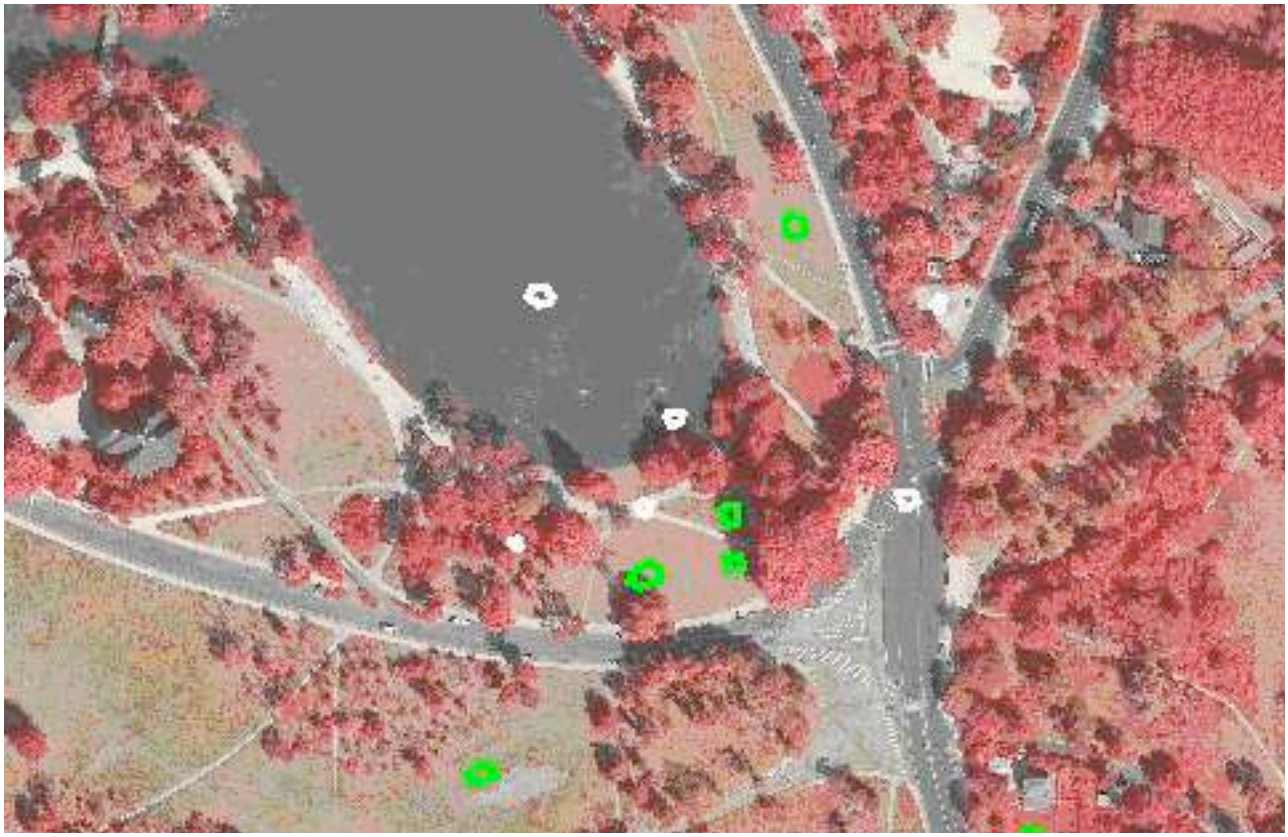

Figure 2 : Exemples d'échantillons, en vert pour le végétal, en blanc pour le reste © InterAtlas

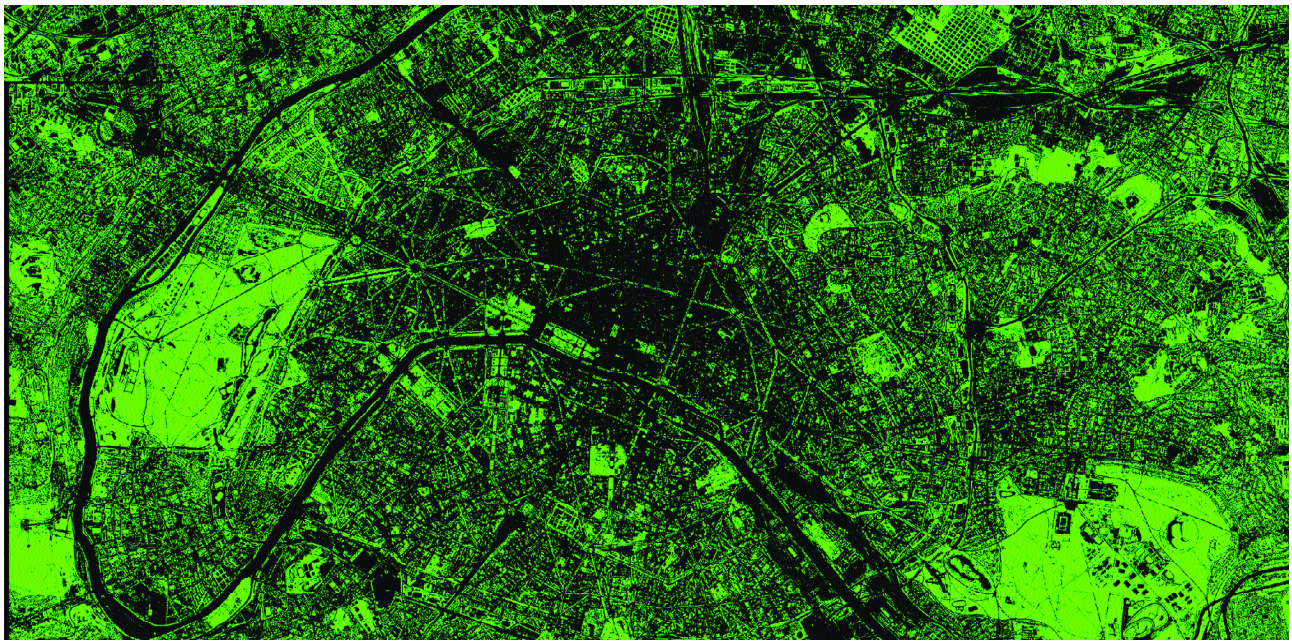

Figure 3 : Séparation du végétal en vert de ce qui ne l'est pas en noir.
Travaux Apur à partir d'orthophotoplans

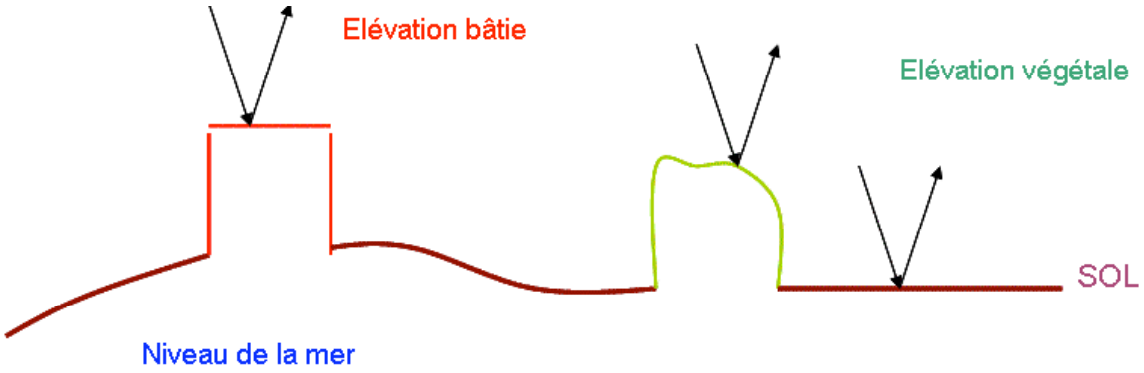

Figure 4 : Modèle numérique d'élévation : première réflexion du faisceau laser

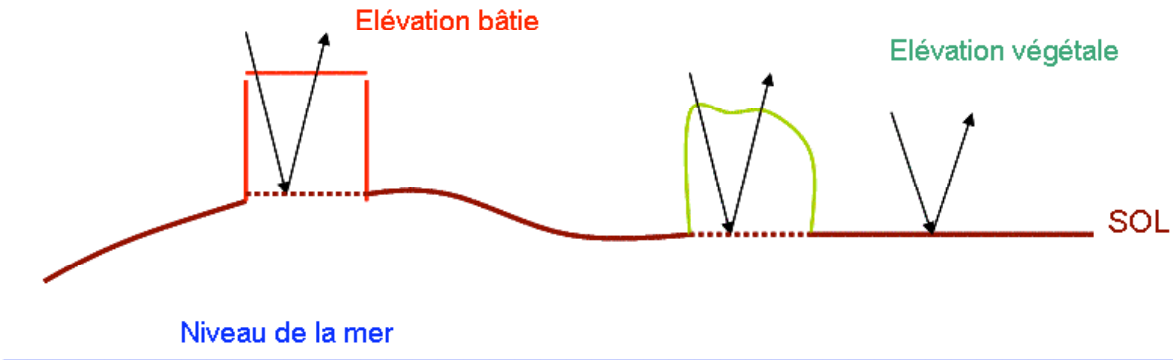

Figure 5 : Modèle numérique de terrain : dernière réflexion du faisceau laser et redressements

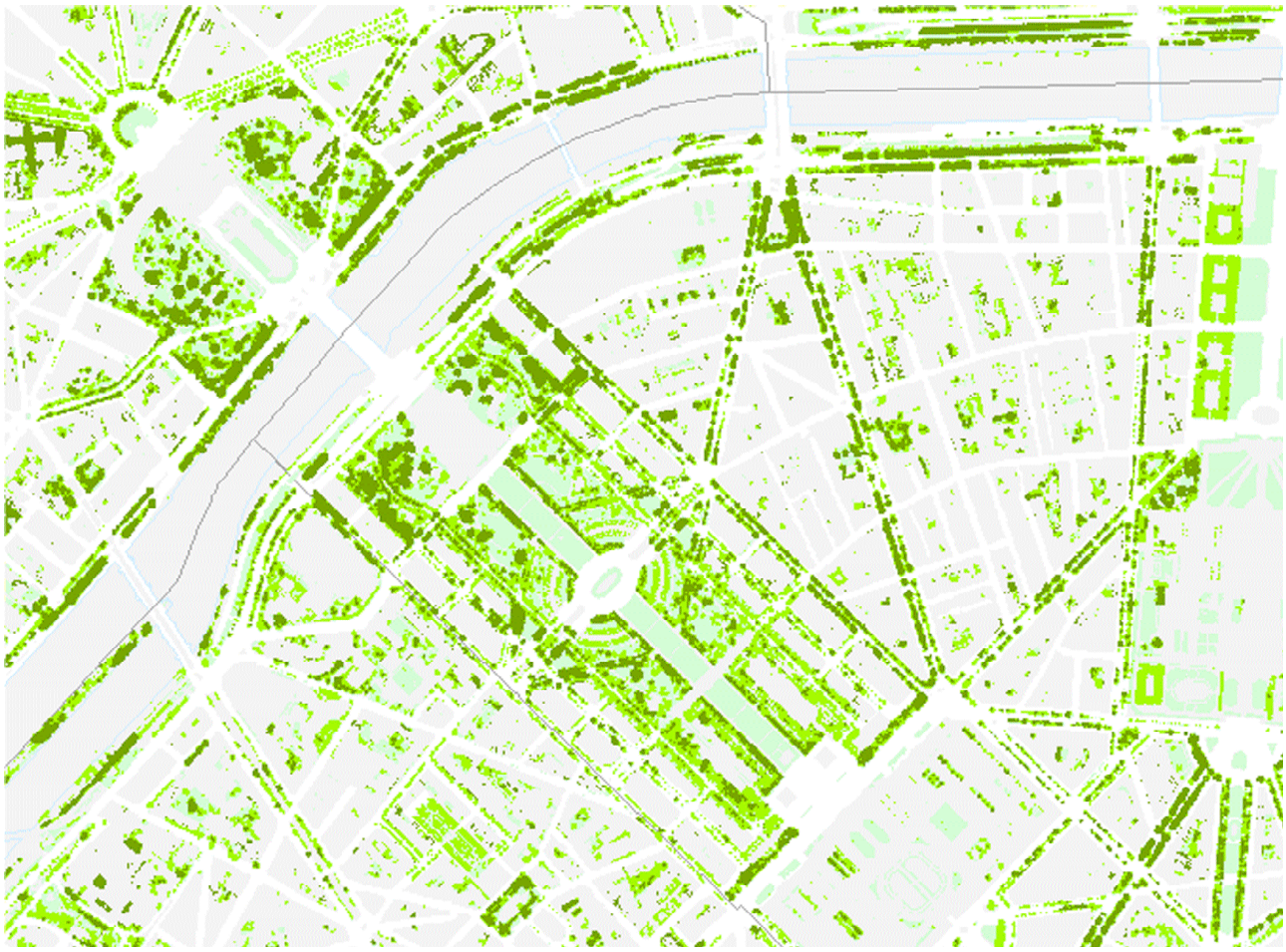

Figure 6 : Carte de la couverture végétale selon la hauteur de la végétation.
Travaux Apur à partir de l'orthophotoplan et des MNE et MNT © InterAtlas