

NOTE DE 4 PAGES

ATELIER PARISIEN D'URBANISME — 17, BD MORLAND - 75004 PARIS - TÉL : 01 42 71 28 14 - FAX : 01 42 76 24 05 - <http://www.apur.org>

LA COUVERTURE VÉGÉTALE DE PARIS ET DES COMMUNES DU CENTRE DE L'AGGLOMÉRATION PARISIENNE

La végétation couvre environ 35% du centre de l'agglomération parisienne avec d'importantes inégalités entre les communes

La « couverture végétale » du sol est définie comme la fraction du territoire recouverte par de la végétation.

Pour détecter celle-ci un capteur aéroporté permet de mesurer la réflectance de la lumière dans plusieurs longueurs d'onde, en particulier dans le rouge et dans le proche infrarouge. Pour connaître sa hauteur au dessus du sol, un autre capteur mesure les échos d'un signal laser projeté sur le terrain à haute fréquence.

Ces deux procédés combinés permettent d'obtenir la couverture végétale et son épaisseur.

Les résultats sur le centre de l'agglomération

La végétation couvre pratiquement 30 % de la superficie de Paris, dont environ 70 % de la superficie des Bois de Boulogne et de Vincennes et 21 % de la superficie de Paris sans les Bois. Les arron-

dissements centraux de la rive droite (1^{er} au 4^e, 9^e et 10^e) sont les moins couverts par la végétation (3 % à 13 % seulement), par contre certains arrondissements périphériques sont mieux lotis (20^e, 14^e, 19^e et 16^e) avec une couverture végétale supérieure à 25 %.

Les communes voisines de Paris ont une couverture végétale un peu plus importante en moyenne que Paris : 40 % pour 31 communes des Hauts de Seine, au lieu de 30 % sur Paris, 36 % pour 26 communes de Seine Saint Denis et 36 % également pour 26 communes du Val de Marne. La moyenne générale de l'ensemble de cet espace s'établit d'ailleurs également à 36 % (mais certaines communes de banlieue culminent à 68 % (Meudon ou Chaville) ou à près de 60 % (Clichy sous Bois ou Ormesson sur Marne).

La carte jointe montre la répartition spatiale de cette couverture végétale, le tableau détaillé figure en annexe.



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

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

Cette distinction a été opérée sur des photographies aériennes à très haute résolution prises par avion à environ 1800 m d'altitude en Août 2005 par la société InterAtlas. 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. Celles-ci ont été orthorectifiées et assemblées au moyen d'un modèle numérique de terrain de très grande précision (pas de un mètre) et le résultat rééchantillonné sous forme de pixels de 12,5 cm. L'écart quadratique de positionnement obtenu est inférieur à 30 cm. C'est aujourd'hui l'orthophotoplan le plus précis de Paris et de sa région.

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 trois 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 une quatrième longueur d'onde, invisible, le proche infrarouge. C'est une image comportant les canaux : rouge, vert et proche infrarouge qui a été utilisée.

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

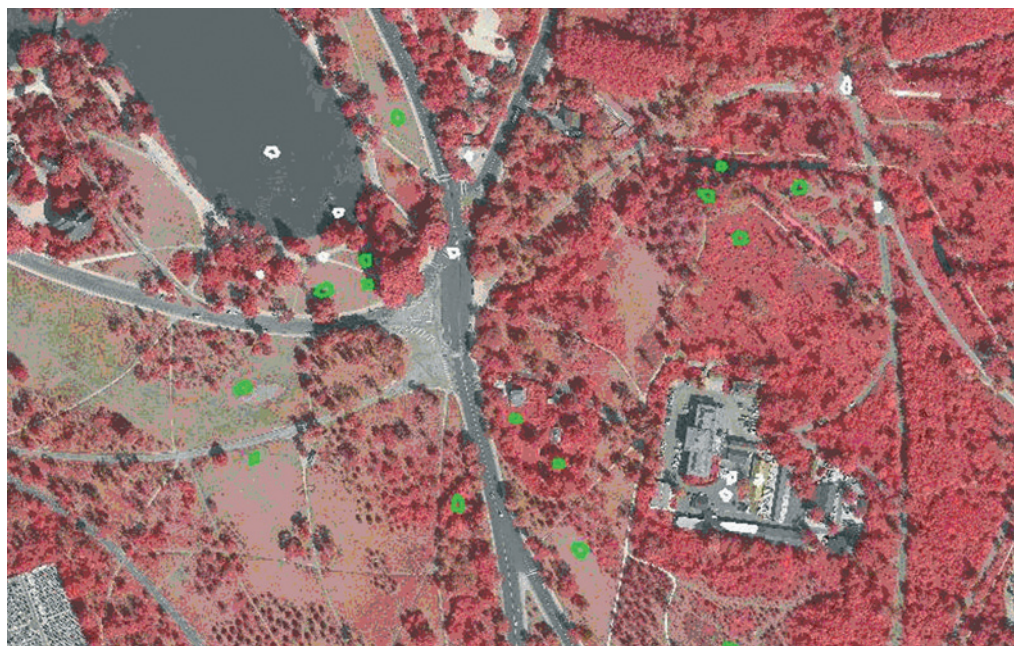
de la végétation et inversement quelles autres valeurs ne correspondaient pas. Le procédé consiste à établir à la main des « échantillons » sur l'image elle-même, aussi variés que possible afin de couvrir tous les cas. Chaque échantillon est un petit périmètre dans lequel on déclare : ceci est végétal ou ceci ne l'est pas. Bien entendu, l'échantillon comporte 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, etc. Le calcul d'extension des échantillons à l'ensemble de l'image a été réalisé par la méthode de classification du maximum de vraisemblance.

Le résultat obtenu est une image simplifiée donnant la séparation du végétal du reste. Pour alléger les calculs celle-ci a été calculée à la résolution de 50 cm qui nous suffisait pour la suite du travail. Elle reste, bien entendu, parfaitement calée en coordonnées géographiques, ce qui est très important pour la suite.

Distinguer les pelouses, les arbustes et les grands arbres

Une fois la végétation bien séparée des autres couvertures du sol, il fallait calculer son épaisseur ou plutôt sa hauteur au dessus du sol. Cette hauteur a ensuite été rangée en trois classes : moins de un mètre, de un mètre à moins de dix mètres et enfin plus de dix mètres. D'autres classifications sont possibles.

La hauteur est obtenue par la différence entre le modèle numérique d'élévation (MNE) qui donne (ici tous les mètres), la hauteur au-dessus du niveau



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

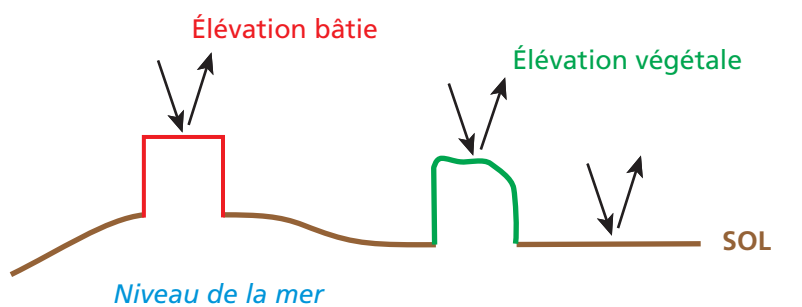
de la mer de toute élévation végétale ou minérale et le modèle numérique de terrain (MNT) qui donne la hauteur du sol au dessus du niveau de la mer. L'écart entre les deux donne bien la hauteur au dessus du sol, à la fois du bâti et de la végétation. Par recoupement avec les résultats précédents, on 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 ont été fournis également par la société InterAtlas.

Le calcul de la hauteur du sol et des élévations au dessus du niveau de la mer s'appuie également sur un procédé de télédétection. Cette fois, l'avion est équipé d'un émetteur à très haute fréquence d'impulsions laser. Cet émetteur bombarde un miroir pivotant qui projette le faisceau laser sur le sol. La fréquence est très élevée et permet d'obtenir dans le cas présent environ 2,2 impacts au sol par m² en moyenne. L'avion est équipé également d'un récepteur qui va enregistrer les retours (ou si l'on préfère les échos) des impacts du faisceau laser sur le sol et sur les élévations. 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,

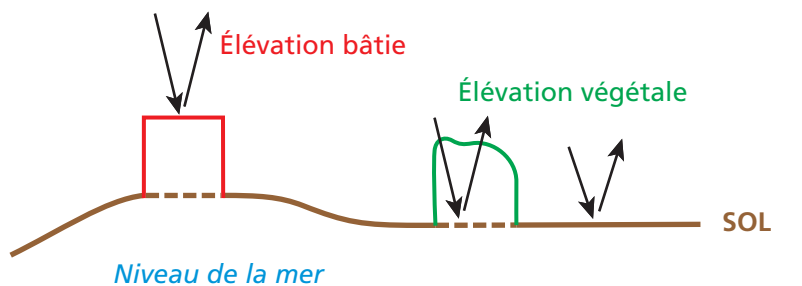
rapportée à la vitesse de la lumière. Les résultats sont « moyennés » par m², d'où le pas de 1 m.

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 faite des constructions ou du faite des arbres et des arbustes (là où il n'y a pas d'élévation, la hauteur reste celle du sol). Toutefois, la même impulsion pourra être réfléchiée, en dessous du faite 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.

La hauteur de la végétation est obtenue en filtrant les valeurs positives (MNE moins MNT) de chaque pixel de 1 m correspondant à de la végétation. Le résultat est enfin rangé dans les classes retenues (moins de 1 m, 1 à 10 m et plus de 10 m) et vectorisé. La carte jointe re-présente la végétation ainsi classée par hauteur, sur le fond de plan des îlots physiques que l'Apur a reconstitué à grande échelle sur Paris et la Petite Couronne. Un travail similaire a été réalisé sur les bâtiments, avec des classes de hauteur spécifiques.



Modèle numérique d'élévation : première réflexion du faisceau laser



Modèle numérique de terrain : dernière réflexion du faisceau laser et redressement

Annexe

Arrondissement / Commune	Superficie (hectares)	Sol recouvert par la végétation (hectares)	Recouvrement du sol par la végétation (%)
1 ^{er}	182,5	23,6	13,00
2 ^e	99,1	3,3	3,30
3 ^e	117,1	10	8,50
4 ^e	160,1	20,1	12,60
5 ^e	254	55,6	21,90
6 ^e	215,3	41,5	19,30
7 ^e	409	99,9	24,40
8 ^e	388	63,1	16,30
9 ^e	217,8	13,4	6,20
10 ^e	289,2	31,3	10,80
11 ^e	366,6	55,6	15,20
12 ^e (hors Bois de Vincennes)	638,8	139,8	21,90
13 ^e	715	159,1	22,30
14 ^e	561,6	160,6	28,60
15 ^e	849,6	183,3	21,60
16 ^e (hors Bois de Boulogne)	790,5	209,6	26,50
17 ^e	566,9	96,6	17,00
18 ^e	599,6	101,9	17,00
19 ^e	679,3	184,1	27,10
20 ^e	598,4	172,1	28,80
TOTAL 75 (bois exclus)	8698,5	1824,7	21,00

Bois de Vincennes	992,9	703,9	70,90
Bois de Boulogne	846,9	591,2	69,80
TOTAL 75 (bois inclus)	10538,3	3119,8	29,60

Asnières-sur-Seine	491,9	127,7	26,00
Bagneux	418,9	160,9	38,40
Bois-Colombes	192,7	65,1	33,80
Boulogne-Billancourt	613,5	168,2	27,40
Bourg-la-Reine	185,5	75,8	40,90
Chatenay-Malabry	637,5	395,9	62,10
Chatillon	292,8	92,3	31,50
Chaville	358,8	243,4	67,80
Clamart	875,8	478,5	54,60
Clichy	305,9	65,9	21,50
Colombes	778,6	268,1	34,40
Courbevoie	416,9	99,3	23,80
Fontenay-aux-Roses	253,4	116,5	46,00
Garches	271,8	151,6	55,80
Gennevilliers	1155,7	279,9	24,20
Issy-les-Moulineaux	424,6	128,9	30,40
La-Garenne-Colombes	177,3	55	31,00
Le-Plessis-Robinson	341,9	153,3	44,80
Levallois-Perret	242,2	49,6	20,50
Malakoff	207	60,2	29,10
Meudon	995,3	674,7	67,80
Montrouge	207,3	48,6	23,50
Nanterre	1234,5	372,4	30,20
Neuilly-sur-Seine	370,8	143,7	38,80
Puteaux	321,8	78,6	24,40
Saint-Cloud	756,3	481,2	63,60
Sceaux	358,4	207,5	57,90
Sèvres	392,3	233,9	59,60
Suresnes	378,3	143,4	37,90
Vanves	156,4	49,8	31,80
Villeneuve-la-Garenne	322,2	113,7	35,30
TOTAL 92 (partie analysée)	14136,3	5783,9	40,90

Arrondissement / Commune	Superficie (hectares)	Sol recouvert par la végétation (hectares)	Recouvrement du sol par la végétation (%)
Aubervilliers	576,2	125,5	21,80
Bagnolet	255	68,6	26,90
Blanc-Mesnil	811,4	294,1	36,20
Bobigny	677,6	211,7	31,20
Bondy	547,3	194	35,40
Bourget	209,8	53,3	25,40
Clichy-sous-Bois	392,7	230,3	58,60
Courneuve	748,3	289,6	38,70
Drancy	775,9	220,7	28,40
Ile-Saint-Denis	171,5	55,8	32,50
Lilas	125,9	39,4	31,30
Livry-Gargan	738,5	340	46,00
Montreuil	892,9	296,8	33,20
Neuilly-Plaisance	339,7	169,2	49,80
Neuilly-sur-Marne	698,1	353,7	50,70
Noisy-le-Sec	504,8	169,2	33,50
Pantin	500,6	130,4	26,00
Pavillons-sous-Bois	292,2	99,4	34,00
Pré-Saint-Gervais	70,5	18,7	26,60
Raincy	222,6	113,6	51,00
Romainville	344,4	130,1	37,80
Rosny-sous-Bois	592,2	240,8	40,70
Saint-Denis	1236,8	347,1	28,10
Saint-Ouen	432,6	86	19,90
Sevran	727,4	329,4	45,30
Villemomble	402,2	166,1	41,30
TOTAL 93 (partie analysée)	13286,9	4773,5	35,90

Alfortville	365,8	88,7	24,30
Arcueil	233,5	72,3	31,00
Bonneuil-sur-Marne	558,1	166,9	29,90
Bry-sur-Marne	334,1	157,9	47,30
Cachan	277,3	110,2	39,80
Champigny-sur-Marne	1127	487	43,20
Charenton	186	34,1	18,30
Chevilly-Larue	417,7	119,5	28,60
Choisy-le-Roi	542,3	181,4	33,50
Créteil	1142,2	420,4	36,80
Fontenay-sous-Bois	563,1	214,1	38,00
Gentilly	119,1	35,3	29,60
Hay-les-Roses	385,5	171,6	44,50
Ivry-sur-Seine	610,8	151,3	24,80
Joinville	234,6	90,4	38,60
Kremlin-Bicêtre	152,4	44,7	29,30
Le-Perreux-sur-Marne	390,3	176,8	45,30
Maisons-Alfort	531,5	178,7	33,60
Nogent-sur-Marne	284	121,3	42,70
Ormesson-sur-Marne	346,1	190,4	55,00
Saint-Mandé	92,1	25	27,10
Saint-Maur	1113,4	482,3	43,30
Saint-Maurice	150,2	59,9	39,90
Villejuif	532,2	188,2	35,40
Vincennes	186,9	45,1	24,10
Vitry-sur-Seine	1167,1	377	32,30
TOTAL 94 (partie analysée)	12043,2	4390,5	36,50

TOTAL GENERAL	50004,7	18067,6	36,10
----------------------	----------------	----------------	--------------

Surface couverte par la végétation détectée à Paris (par arrondissement, dans les Bois de Boulogne et de Vincennes) et dans les communes les plus proches de Paris (Hauts de Seine, Seine Saint Denis et Val de Marne).

L'Apur, l'agence d'urbanisme de Paris, est une association entre la Ville de Paris, l'État, la Région Ile-de-France, la Chambre de Commerce et d'Industrie de Paris et la Caisse d'Allocations Familiales de Paris, la Régie Autonome des Transports Parisiens, régie par la loi de 1901. Président du conseil d'administration: Jean-Pierre Caffet, adjoint au Maire de Paris chargé de l'urbanisme et de l'architecture.

Directeur de la publication: Jean-Baptiste Vaquin. Étude, rédaction et conception: Apur.

Contact et vente: Apur/Communication/Service diffusion. 17, boulevard Morland 75004 Paris. Téléphone: 01 42 71 28 14. Prix: 3 €