

# Modélisation 3D d'arbre pour comprendre le climat urbain

## Un projet multidisciplinaire ambitieux

■ Tania LANDES - Christelle HAYOT - Georges NAJJAR - Pierre KASTENDEUCH - Marc SAUDREAU  
Jérôme COLIN - Raphaël LUHAHE - Samuel GUILLEMIN

*Depuis plusieurs années, les effets liés aux changements climatiques occupent régulièrement les colonnes de nos quotidiens. La fonte des glaciers, les inondations récurrentes, les catastrophes naturelles, la détérioration de la qualité de l'air, sont autant d'événements dramatiques dont la recrudescence éveille notre inquiétude. L'urbanisation incessante et la minéralisation des sols de nos villes sont sûrement des facteurs jouant un rôle prépondérant dans cette mutation. Dans ce contexte, il semble urgent d'améliorer nos connaissances sur le climat urbain, en particulier sur les facteurs l'impactant, et de trouver des solutions visant à augmenter la résilience de notre lieu de vie.*

### MOTS-CLÉS

Scanner laser, arbres, modélisation, ville, architecture, géométrie, squelette, climatologie, surface foliaire

de l'échelle du canyon urbain à celle de la ville, en passant par l'échelle du quartier urbain. Pour effectuer ce grand écart entre l'échelle locale et l'échelle régionale, il faudrait commencer par maîtriser les relations arbre-sol-atmosphère au niveau d'un arbre isolé, pour ensuite seulement réfléchir à une méthodologie d'extrapolation à l'échelle d'un parc, puis d'un quartier, ensuite de la ville et pourquoi pas d'une région.

Il existe des modèles physiques détaillés prenant en considération la géométrie urbaine et la disposition précise des différents éléments. Ils permettent une étude approfondie des différents processus physiques de l'échelle du bâtiment jusqu'à celle de la rue ou même d'un quartier. On peut citer par exemple le modèle SOLENE, logiciel de simulation d'ensoleillement, d'éclairage et de rayonnement thermique (Groleau et al., 2003) ou LASER/F (flux de chaleur LATent, SENSible et RADIatif) de Kastendeuch et Najjar (2009). La deuxième catégorie de modèles est celle des schémas de surface paramétrés, inclus dans les modèles atmosphériques, et adaptés à des échelles plus larges allant de celle du quartier à l'ensemble de l'agglomération. On peut citer dans cette catégorie, le modèle de recherche SURFEX/Meso-NH de Météo-France (Masson et al., 2013). Dans ces derniers modèles, l'information sur la géométrie et l'occupation des sols est considérée de façon simplifiée. La géométrie, par exemple, est représentée non pas via un modèle 3D détaillé du bâtiment, mais par des grandeurs moyennes, obtenues sur des quartiers, comme le degré de rugosité et la volumétrie.

### Quel rôle tient l'arbre en ville ?

Najjar (2007) définit la climatologie urbaine en expliquant que toute surface génère un microclimat agissant sur l'environnement dont il fait partie. Si l'adaptation de la ville au réchauffement passe par une approche globale combinant plusieurs leviers d'action, il reste à déterminer le rôle exact du couvert végétal (De Munck, 2013). Se pose alors la question du rôle véritable de l'arbre dans la ville : capte-t-il la pollution, participe-t-il à humidifier l'air, refroidit-il l'atmosphère urbaine ? D'après Malys et al. (2014) et Laille et al. (2013), la végétalisation des zones urbaines par le biais des murs et toits végétalisés, ou encore l'augmentation, au cœur de la ville, des espaces dédiés aux arbres, pelouses et parcs urbains devraient participer à l'instauration d'un équilibre thermique plus sain. Si cette affirmation semble intuitive, il reste à la prouver et surtout à quantifier l'impact des arbres sur le climat urbain.

### Des modèles pour simuler les phénomènes thermo-radiatifs

Les topographes entendent par "modèle", une représentation numérique, avec un niveau de détail approprié, de la géométrie d'un objet, issue du traitement plus ou moins complexe de mesures effectuées sur cet objet. Les climatologues emploient également le terme de "modélisation", mais dans un tout autre contexte. Un modèle constitue pour eux une structure algorithmique plus ou moins complexe permettant de simuler sous forme numérique, à partir de données spécifiques en entrée (qu'elles soient mesurées ou estimées), des variables climatiques, thermiques et énergétiques.

L'extrême complexité associée à l'hétérogénéité du milieu urbain ainsi que l'imbrication de nombreux facteurs d'impacts (topographie, végétation, sol...) sur le climat urbain, imposent une démarche de modélisation basée sur l'utilisation de plusieurs échelles de représentation. Ces échelles s'étendent

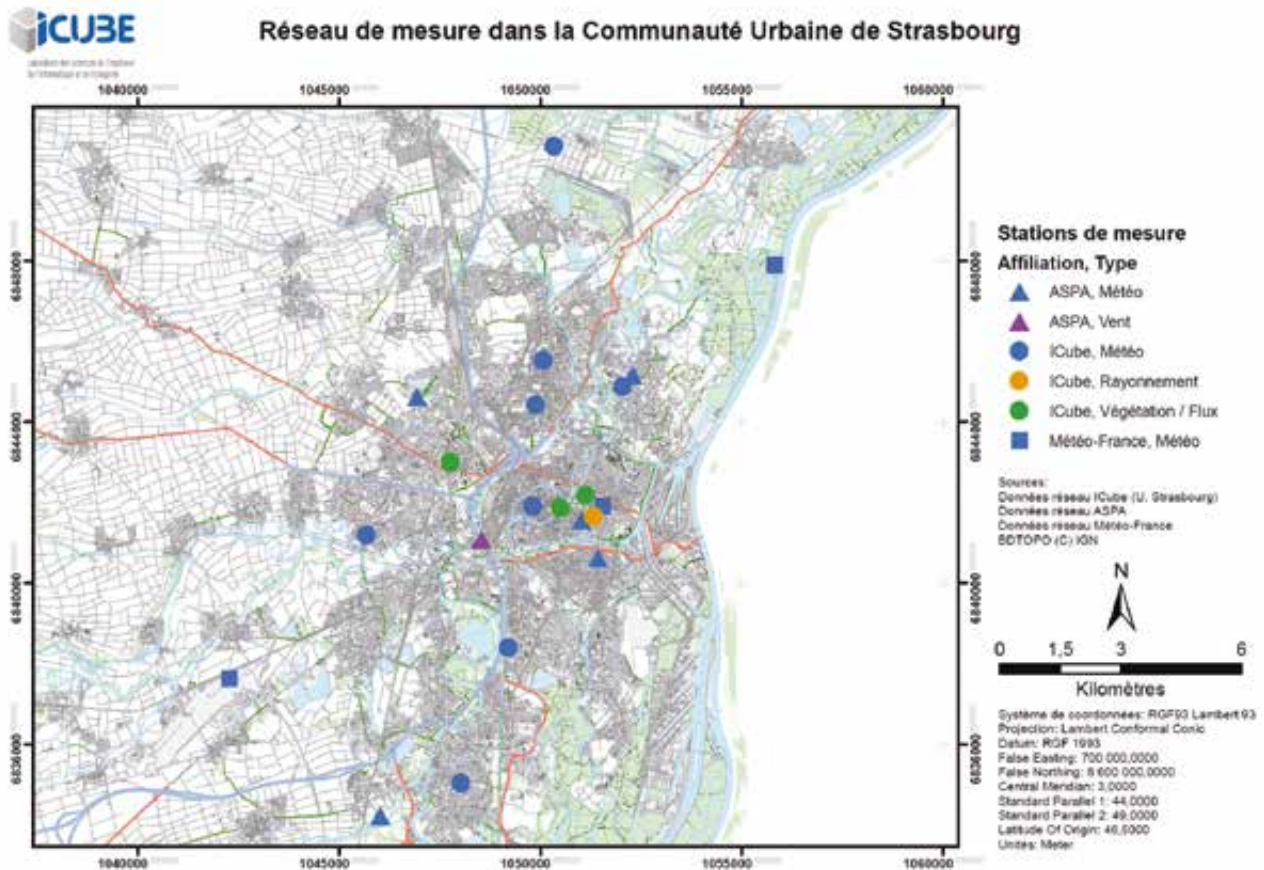


Figure 1. Carte de l'ensemble des sites accueillant des stations de mesure

Les recherches menées au sein de l'équipe TRIO (Téledétection, Radiométrie et Imagerie Optique) du laboratoire iCube dans le domaine de la climatologie urbaine sont basées sur un couplage des deux modèles physiques LASER/F pour la rue et le quartier et SURFEX/Meso-NH pour le quartier et l'agglomération. Le modèle LASER/F est entièrement développé par l'équipe TRIO, tandis que SURFEX/Meso-NH a été développé par Météo-France. Le modèle LASER/F connaît une évolution majeure, notamment par le biais de sa collaboration récente avec l'INRA de Clermont-Ferrand (UMR PIAF). L'UMR PIAF (Unité de Recherche de Clermont-Ferrand - Physique et Physiologie Intégratives de l'Arbre Fruitier et Forestier) travaille sur la création d'un modèle extrêmement détaillé de l'arbre, appelé modèle RATP (Radiation absorption, Transpiration and Photosynthesis). Le modèle RATP a pour objectif de simuler la dynamique des distributions spatiales du rayonnement et des échanges gazeux foliaires (transpiration et photosynthèse) au sein de couverts arborés en

prenant en compte la structure spatiale du couvert, le microclimat et les propriétés physiques et physiologiques des feuilles (Sinoquet et al., 2001).

La combinaison des modèles RATP, LASER/F et Meso-NH devrait permettre de couvrir la modélisation des phénomènes thermo-radiatifs de l'échelle de l'arbre à celle du quartier, voire de l'agglomération. Les chercheurs espèrent ainsi, en intégrant dans le modèle des connaissances collectées sur le terrain, affiner davantage les estimations et prévisions susceptibles d'être livrées par leur modèle. Le paragraphe suivant présente les paramètres susceptibles d'être mesurés sur le terrain.

### Les données collectées sur le terrain

La communauté urbaine strasbourgeoise a été choisie comme ville test en raison de l'existence d'une base de données conséquente de mesures micro-météorologiques, dont la constitution a débuté en 1999 (Najjar et al., 2004 ; Neusch et al., 2003). Une

campagne de mesure encore plus importante est mise en œuvre depuis 2012 dans le but de constituer une base de données adaptée au forçage et à l'évaluation des modèles cités précédemment. Le but est ici de comprendre le fonctionnement éco-physiologique d'un arbre dans le milieu urbain et son influence dans la création d'un microclimat particulier.

Au total, 25 sites de mesure de température et d'humidité sont opérationnels sur Strasbourg et ses environs (figure 1). Pour certains de ces sites, on mesure, en plus, la vitesse et la direction du vent lorsque c'est significatif. Enfin, trois sites parmi les 25 ont été choisis pour leurs caractéristiques typologiques urbaines et font l'objet d'analyses plus poussées :

- un site végétal : situé dans le jardin historique de l'université de Strasbourg, caractérisant un parc urbain,
- un site urbain : placé au cœur de Schiltigheim, ville située en périphérie de Strasbourg (à 3 km),
- un site rural : le village d'Entzheim, à 20 km de Strasbourg,



(Source : Google Maps)



Figure 2. Site d'étude du jardin du Palais Universitaire à Strasbourg

- un site dédié à la mesure du rayonnement : situé au cœur de Strasbourg, sur le toit de l'Institut de Physiologie et de Chimie Biologique, pour la mesure du rayonnement incident solaire et infrarouge thermique (rayonnement direct, diffus, infrarouge, global, etc.).

Le site du jardin historique (figure 2) comporte une double allée de tilleuls argentés dont 6 font l'objet d'un suivi très particulier : ils sont tous équipés de capteurs de mesure de flux de sève et situés au pied d'un mat de 20 mètres déployé exclusivement pour le projet. Un arbre parmi les 6 comporte davantage de capteurs et se trouve au centre de notre étude (figure 3). Il a été baptisé "Georges's tree", en référence à son plus fidèle observateur et porteur du projet !

Le projet étant unique en France, il nous semble intéressant d'énumérer et d'illustrer le type de mesures effectuées sur le terrain :

- Etude de la transpiration de l'arbre par mesure de débit du flux transpiratoire (1/sec et une moyenne / 15 min) grâce aux capteurs de flux de sève (figure 4).
- Mesure de la transpiration de la pelouse et du sol aux alentours, par un double dispositif : des chambres de transpiration (figure 5) et un système de rapport de Bowen (figure 6).
- Mesure du PAR (Photosynthetic Active Radiation – longueur d'onde 400 à 700 nm), soit du rayonnement absorbé par les plantes pour leur photosynthèse (1/sec et une moyenne / 15 min) (figure 7).
- Mesure du taux d'humidité et de la température sur 4 niveaux différents au sein de la couronne de l'arbre



Figure 3. Le "George's tree" sous haute surveillance

(figure 7) et sur 2 niveaux à l'extérieur (2 m et 20 m) (figure 8).

- Mesure, à 20 mètres du sol, avec capteurs météorologiques de mesure des paramètres climatiques (tempéra-

ture, humidité, rayonnement, vitesse et direction du vent) et de la turbulence (figure 8).

- Mesure de la température de brillance (dans le domaine de l'infrarouge) de l'arbre, de la pelouse, et de la route, grâce à des radio-thermomètres orientés spécifiquement (figure 9).
- Mesure de précipitations, à l'aide d'un capteur situé dans un parc voisin.
- Mesure des températures et du contenu en eau du sol sur plusieurs niveaux, de la surface jusqu'à plus d'un mètre de profondeur.

L'ensemble des mesures est accessible via le portail de partage de données Mosaic hébergé par le laboratoire. Il permet à chaque acteur du projet de consulter des données et d'y archiver des documents ou informations utiles. Un soin particulier est apporté



Figure 4. Capteur de flux de sève, protégé par une enveloppe en aluminium

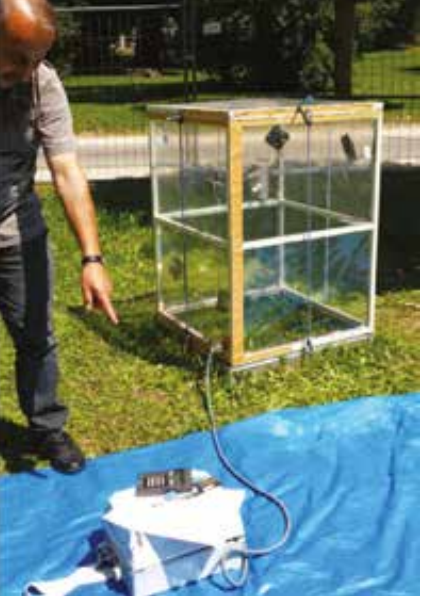


Figure 5. Chambre à transpiration de la pelouse



De gauche à droite : Figure 6. Mesure de la transpiration de la pelouse par la méthode du rapport de Bowen - Figure 7. Capteurs de mesure du PAR, du taux d'humidité et de température de la couronne - Figure 8. Mat déployé sur 20 mètres pour mesure des paramètres climatiques et de la turbulence - Figure 9. Radio-thermomètres mesurant la température de brillance



à l'uniformisation des données et à la standardisation des méta-données. Ce portail repose sur le système de gestion de données CKAN, qui est un logiciel libre regroupant des fonctionnalités d'archivage et de recherche dans des arborescences de fichiers et dans une base de données Postgres de manière totalement transparente pour l'utilisateur.

## Et le rôle des topographes dans tout cela ?

Une des informations cruciales à fournir en entrée des modèles microclimatiques en cours de développement dans les équipes impliquées dans ce projet, est la géométrie des objets composant la zone d'étude. Il s'agit d'une part de la géométrie des bâtiments entourant le site de mesure mais aussi et surtout celle des arbres qu'il contient. Cet aspect a donné naissance à la collaboration entre climatologues et topographes.

En termes de volumétrie et de dimensionnement des composants de l'arbre, il faudrait pouvoir disposer pour chaque arbre, de paramètres bien spécifiques le caractérisant, à savoir

l'épaisseur, la longueur, la position et le volume aussi bien du tronc que des branches et des pousses. A l'heure actuelle, une estimation de ces paramètres est effectuée par l'INRA, qui emploie pour ce faire une méthode de "digitalisation" sur l'arbre directement. Cette méthode consiste à effectuer un relevé manuel donc chronophage de toute l'arborescence, à l'aide d'un digitaliseur magnétique et en suivant point par point chaque composant (tronc, branche, pousses). Guidés par leur logiciel PiafDigit, ils reconstituent ainsi un modèle d'arbre conforme à la réalité en termes de topologie et géométrie (Donès et al., 2006). Lors de ce relevé, l'INRA prélève également des échantillons de pousses feuillées, desquels chaque feuille est prélevée pour être mesurée en taille et position. Des statistiques issues de ces échantillons permettent la reconstruction du feuillage de l'arbre. Cette maquette peut alors être utilisée par des modèles de fonctionnement des plantes (RATP par exemple) ou servir à estimer des paramètres plus globaux : surface totale des feuilles d'un arbre, nombre de feuilles et LAI (leaf area index). Une alternative à ce travail titanesque qui semble difficilement transposable

dans une optique d'extension à l'échelle du parc, voire du quartier, serait d'arriver à détecter, sur la base de relevés sans contact, de façon aussi automatique que possible, le squelette de l'arbre ainsi que celui des pousses.

La restitution de la topologie tridimensionnelle des arbres ainsi que leur géométrie fine est ainsi devenue le défi à relever par les topographes de l'INSA de Strasbourg (groupe PAGE de l'équipe TRIO). Cette problématique a fait l'objet notamment d'un projet de fin d'études en 2014 réalisé par Christelle Hayot, aujourd'hui jeune diplômée ingénieure topographe.

## La modélisation 3D de l'arbre

La littérature ne propose que peu de pistes de reconstruction 3D d'un objet complexe tel qu'un arbre en tant qu'individu. Davantage de travaux traitent de l'extraction de zones végétalisées, voire d'arbres individuels au sein d'un couvert forestier, par classification de données de télédétection (images satellites à très haute résolution spatiale, ou données Lidar aéroportées ou photographies aériennes). Les procédés s'attachant à reproduire la géométrie d'arbres individuels depuis le sol peuvent être classés en trois grandes catégories : les approches manuelles et descriptives, les approches impliquant l'exploitation de photographies et celles mettant en œuvre des procédés lasergrammétriques.

Parmi les approches manuelles, un grand nombre de travaux portent sur la représentation de l'architecture de l'arbre et sa description, en termes de topologie et/ou de géométrie (Barthélemy et al., 1995 ; Sinoquet et al., 1997), mais l'étape de l'acquisition reste fastidieuse. L'approche employée par l'INRA entre dans cette catégorie.

Les approches utilisant des photographies terrestres s'appuient soit sur des nuages de points générés par corrélation dense (Santos et al., 2013), soit sur le traitement d'images exploitées directement en 2D (par exemple Shlyakhter et al., 2001 ; Delagrangue et Rochon, 2011). Elles ont pour incon-



**Figure 10.** Nuages de points, de gauche à droite : arbre nu (avril) ; arbre nu avec pousses (janvier) ; arbre feuillé (juillet)

vénient de nécessiter, pour les unes, une couverture photographique dense de l'objet, ce qui est difficilement réalisable lorsqu'il s'agira de modéliser plusieurs arbres dans une rue, pour les autres, de ne pas permettre une architecture de l'arbre sous forme de squelette 3D.

La dernière approche, qui est celle que nous avons adoptée s'appuie sur l'exploitation de données acquises par scanner laser terrestre. Dans le cadre d'études faites sur des arbres, la nécessité de définir et quantifier la distribution des feuilles dans la couronne est récurrente. Son estimation peut être envisagée par l'utilisation de la méthode basée sur les "voxels" (Béland et al., 2011). Il existe d'autres études réalisées à partir de l'acquisition de nuages de points 3D, et qui visent à obtenir une reconstruction 3D fiable de la structure d'arbre. Les scientifiques s'intéressent ici, non pas à la répartition des feuilles, mais à la représentation de la structure (tronc et branches) des arbres. Une étude menée par Delagrangue et al. (2011) a permis de prouver l'efficacité de la technique lasergrammétrique pour l'extraction d'informations telles que le nombre de branches, la hauteur des naissances des branches, la longueur des branches principales. L'acquisition, au fil des saisons, de nuages de points par relevés au scanner laser terrestre 3D devrait donc permettre de s'appro-

cher d'une représentation géométrique fine et précise de l'arbre.

La *figure 10* présente l'arbre acquis à l'aide d'un scanner laser 3D (FARO Focus 3D X330), à différents stades de développement (avril, janvier, juillet) après consolidation des nuages acquis depuis 4 à 6 stations. Les paramètres d'acquisition fixés sur le terrain étaient un pas de 6 mm à 10 m, avec l'acquisition simultanée de photographies. Si l'on considère l'arbre avec pousses par exemple, le nuage brut couvrant l'arbre comptait environ 13 millions de points. Avant introduction dans notre algorithme, le nuage de points a été traité pour y réduire le bruit (artefacts, capteurs, doublons) et ne conserver que 500 000 points, soit environ 1 point tous les 5 mm.

L'acquisition lasergrammétrique s'est faite depuis 4 stations à environ 1.60 m du sol et depuis deux stations situées à environ 3 m du sol, grâce à un trépied à crémaillère. Ces stations sont intéressantes car situées au sein de la couronne (*figure 11*). En revanche, les nombreux capteurs équipant l'arbre et présentés ci-dessus (*figures 4, 7, 9*) ont évidemment limité les possibilités de mises en station. De même, dès lors que l'arbre est arrivé à maturité de son feuillage, il est difficile de se frayer un chemin dans la couronne.

Pour commencer le travail de modélisation, il a été décidé de se focaliser



**Figure 11.** Station d'acquisition au sein de la couronne

sur l'arbre nu sans pousse et l'arbre nu avec pousses, acquis au courant des mois d'avril 2013 et de janvier 2014 respectivement.

Les pousses sont de longues et fines tiges formant des hameaux propres à chaque branche (*figure 12*). Chaque branche a pour extrémité une "tête de chat". Les pousses sont les supports sur lesquels grandissent les feuilles, et sont éphémères puisqu'elles sont observables uniquement au printemps et pendant l'été. A partir de la longueur des pousses, l'INRA est capable d'estimer la surface foliaire (Sonohat et al., 2006).

Quelques approches de reconstruction 3D d'arbres à partir de nuages de points sont proposées dans la littérature (par exemple Bucksch, 2011 ; Eysn et al., 2013 ; Schilling & Maas, 2013).



**Figure 12.** Arbres avec pousses (mi-janvier)

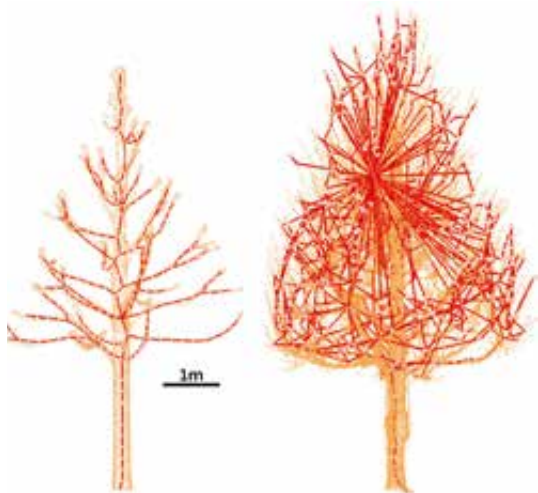


Figure 13. A gauche, le squelette de l'arbre nu, à droite, le squelette de l'arbre avec pousses.

L'algorithme de reconstruction 3D développé dans le cadre de ce travail s'inspire des travaux de Cao et al. (2010) pour la phase de squelettisation. Selon Jiang et al. (2013), un squelette est une représentation compacte et efficace d'une forme solide, alliant fidèlement la géométrie et la topologie de la forme. L'application de l'algorithme sur le nuage de points de l'arbre nu a produit des résultats presque irréfutables (figure 13 gauche). En revanche, lorsque le nuage en entrée était constitué de l'arbre avec pousses, les résultats furent décevants (figure 13 droite). Cette issue était toutefois prévisible, vu la densité de pousses et la difficulté de les distinguer les unes des autres (figure 12). C'est pourquoi

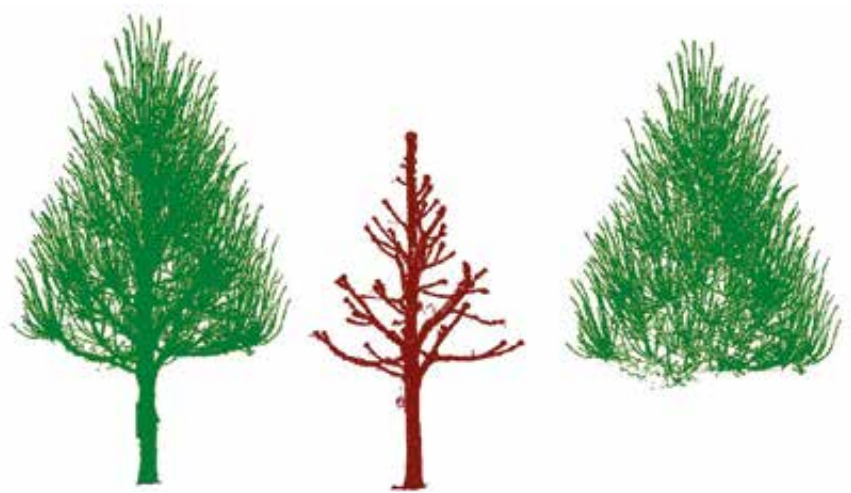


Figure 15. Etape de soustraction de nuages ; de gauche à droite : nuage de points de l'arbre avec pousses ; nuage de points de l'arbre nu ; nuage de points des pousses seules.

une segmentation préalable de l'arbre en vue d'isoler les pousses de la structure tronc/branches a été envisagée. Ainsi, la squelettisation a été opérée d'une part sur l'arbre seul et d'autre part sur les pousses, isolées en fonction de la tête de chat à laquelle ils appartiennent. La figure 14 présente l'ensemble du processus développé en partant du nuage de points de l'arbre jusqu'à l'extraction des longueurs de pousses.

Il a pour objectif principal d'extraire aussi automatiquement que possible un squelette complet de l'arbre à partir de l'acquisition au scanner laser de son état lorsque les pousses sont arrivées à maturité et que toutes les feuilles sont tombées (avant la taille).

Après avoir consolidé les nuages de points de chaque campagne d'acquisition et les avoir rattachés à un référentiel local, le nuage de points de l'arbre avec pousses est soustrait au nuage de points de l'arbre sans pousses (figure 15) dans le but de segmenter le nuage de points et d'en isoler les pousses seules sous CloudCompare (logiciel EDF R&D).

L'étape de segmentation des têtes de chats en têtes de chats individuelles est pour le moment un processus manuel. Disposant d'une tête de chat, composée de  $n$  pousses, les nuages de points des pousses entrent dans l'algorithme de segmentation développé.

La squelettisation, que ce soit de l'arbre nu ou des pousses est inspirée

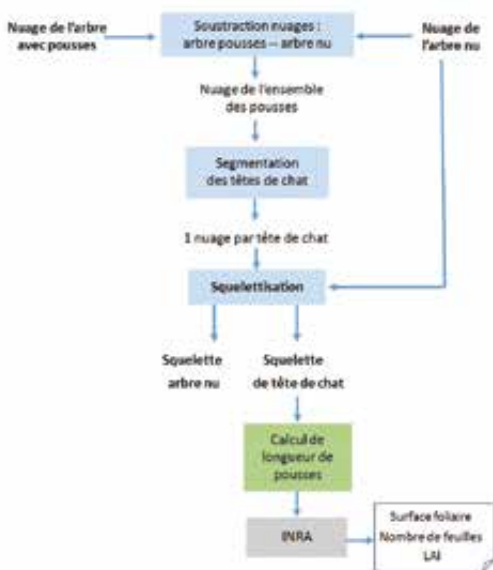
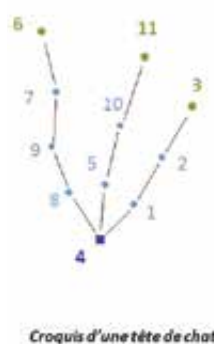


Figure 14. Algorithme de squelettisation et d'extraction de paramètres relatifs à l'architecture de l'arbre



Croquis d'une tête de chat

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	1	1		1								3
2	1	1	1									3
3	1	1										2
4	1			1	1			1				4
5				1	1					1		3
6						1	1					2
7						1	1		1			3
8				1				1	1			3
9							1	1	1			3
10					1					1	1	3
11										1	1	2
$\Sigma$ / ligne												

Figure 16. Analyse de la matrice d'adjacence pour la reconstitution du squelette des pousses d'une tête de chat

$\Sigma$  / ligne = 3 : intermédiaire  
 $\Sigma$  / ligne = 2 : extrémité  
 $\Sigma$  / ligne = 4 : intersection

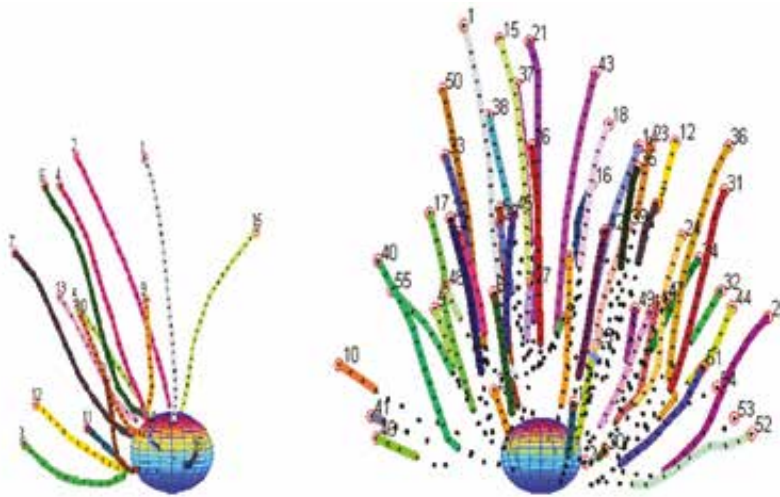


Figure 17. Squelette d'une tête de chat : étude de la meilleure jonction des pouses.

de l'algorithme de Cao et al. (2010). Il a dû être amélioré afin de disposer les nœuds détectés dans l'ordre de la croissance de la pousse. La détection des extrémités de pouses est basée sur la matrice d'adjacence générée par l'algorithme (figure 16). Ensuite il suffit de relier les points jusqu'à la base des pouses, celle-ci étant fournie par la squelettisation préalable de l'arbre nu.

Dans cette étape de reconstruction de pousse, un problème important s'est présenté, car l'extrémité d'une branche est loin d'être assimilable à un point. Dans la réalité, les pouses s'entremêlent et deviennent difficiles à distinguer l'une de l'autre (le manque de points n'aidant pas) dès lors que l'on se rapproche de moins de 20 cm de l'extrémité de la branche. Après analyse de plusieurs variantes, il a été décidé de stopper la recherche de nœuds dans un rayon de 20 cm

autour de l'extrémité d'une branche (tête de chat) et de rejoindre de façon rectiligne toutes les pouses au centre d'une sphère, obtenue par ajustement sur les points décrivant la tête de chat (figure 17).

A ce stade, le squelette de l'arbre se décompose en squelette de l'arbre nu et squelettes des têtes de chat avec pouses (figure 18). Le squelette des pouses est calculé par tête de chat et livre l'information de la position et la longueur des pouses.

Pour évaluer la qualité de la squelettisation, une analyse statistique a porté sur 8 têtes de chats, segmentées et modélisées manuellement en créant une polyligne 3D pour chaque pousse. Ce travail, bien que fastidieux, permet de disposer d'une modélisation de référence et de contrôle. Les nuages de points des pouses composant ces 8 têtes de chat ont été introduits dans

l'algorithme développé et ont produit automatiquement des squelettes de pouses. Le nombre de pouses détectées automatiquement a été confronté au nombre de pouses digitalisées manuellement. Il en ressort que 86 % des pouses ont été squelettisées correctement. Les 14 % manquants sont à rapporter au fait qu'une tête de chat n'a pas pu être exploitée, fournissant des squelettisations fausses et que les pouses de moins de 50 cm n'ont pas été considérées dans la squelettisation. Ce dernier constat se chiffre à environ 6 % de pertes sur les longueurs cumulées des pouses. De plus, des écarts ont été constatés dans la détection des premiers centimètres d'une pousse (de l'ordre de 7 cm sur des pouses de 2 m). Il nous reste à estimer exactement les pertes en termes de surfaces foliaires, liées à l'emploi de l'algorithme. Quoi qu'il en soit, le gain de temps et de précision que notre algorithme fournit est certain, puisque jusqu'ici, les mesures de pouses étaient effectuées manuellement et de façon rectiligne entre la base et l'extrémité de chaque pousse. De plus, le fait de disposer de la position et de l'orientation de chaque pousse, va permettre d'avancer sur la problématique de la spatialisation de la distribution foliaire. Dans le futur, cette approche de reconstruction 3D sera poursuivie et améliorée au regard des premiers résultats obtenus. Par ailleurs, une solution de segmentation automatique des têtes de chat avec pouses devra être envisagée.

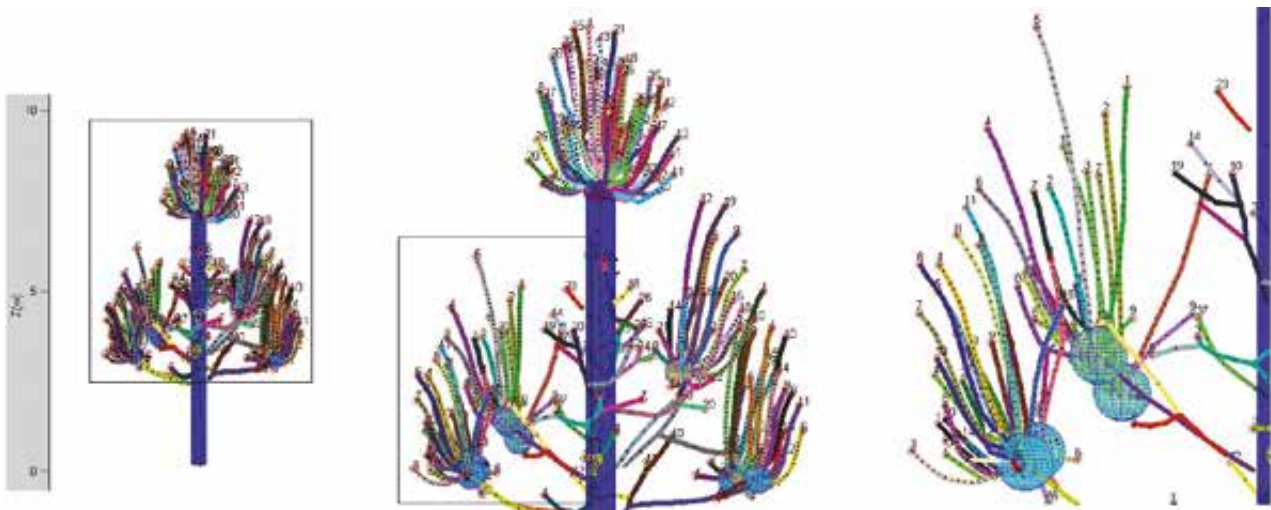


Figure 18. Squelettes de l'arbre et des pouses composant les têtes de chat segmentées préalablement

## Conclusion

Le projet de recherche présenté ici rassemble des climatologues, météorologues, géographes, informaticiens, topographes qui poursuivent le même objectif hardi qu'est celui de contribuer un tant soit peu à la compréhension de l'extrême complexité des interactions entre la végétation et le climat urbain. Depuis début 2014, l'équipe PAGE de l'INSA de Strasbourg tente de modéliser de façon automatique un arbre à partir d'un nuage de points, la connaissance de l'architecture d'un arbre étant essentielle dans l'élaboration des modèles thermo-radiatifs en cours de développement. Les premiers résultats sont prometteurs et nous incitent à poursuivre dans cette voie. La collaboration d'ores et déjà certaine et toujours grandissante entre les acteurs est de bon augure pour ce projet multidisciplinaire ambitieux ! Affaire à suivre... ●

## Contacts

**Tania LANDES - Christelle HAYOT**

**Samuel GUILLEMIN**

Groupe PAGE/INSA de Strasbourg-TRIO, laboratoire ICube UMR 7357

tania.landes@insa-strasbourg.fr

**Georges NAJJAR - Pierre KASTENDEUCH**

**Jérôme COLIN - Raphaël LUHAHE**

Equipe TRIO, laboratoire ICube UMR 7357

**Marc SAUDREAU**

INRA, UMR547 PIAF, F-63100 Clermont-Ferrand, France - Clermont Université, UMR547 PIAF, F-63 Aubière, France

## Références bibliographiques

Cao, J., Tagliasacchi, A., Olson, M., Zhan, H., Su, Z. (2010). *Point Cloud Skeletons via Laplacian Based Contraction*. In Proc. of IEEE Conference of Shape Modeling and Applications, pp.187-197.

De Munck, C. (2013). *Modélisation de la végétation urbaine et des stratégies d'adaptation au changement climatique pour l'amélioration du confort climatique et de la demande énergétique en ville*, Thèse de doctorat, CNRM, Toulouse, <http://www.cnrm.meteo.fr/ville.climat/spip.php?article292>

Donès N, Adam B, Sinoquet H (2006). *PiafDigit - software to drive a Polhemus*

*Fastrak 3 SPACE 3D digitiser and for the acquisition of plant architecture. Version 1.0.* (UMR PIAF INRA-UBP: Clermont-Ferrand)

Eysn, L., Pfeifer, N., Ressler, C., Hollaus, M., Graf, A., and Morsdorf, F. (2013). *A practical approach for extracting tree models in forest environments based on equirectangular projections of terrestrial laser scans*. *Remote Sensing*, 5(11), pp.5424-5448

Groleau, D., Fragnaud, F., et Rosant, J.-M. (2003). *Simulation of the radiative behavior of an urban quarter of Marseille with the Solene model*. In ICUC5, Fifth international conference on urban climate, University of Lodzt, 4 pages

Kastendeuch P.P., Najjar G. (2009). *Simulation and validation of radiative transfers in urbanised areas*. *Solar Energy*, 83, pp. 333-341.

Laille P., Provendier D., Colson F., Salanié J. (2013). *Les bienfaits du végétal en ville : étude des travaux scientifiques et méthode d'analyse*. *Plante & Cité*, Angers, 31 pages

Malys L., Musy M., Inard C. (2014). *A hydrothermal model to assess the impact of green walls on urban microclimate and building energy consumption*. *Building and Environment*, 73 (0), pp. 187-197.

Masson, V., Le Moigne, P., Martin, E., Faroux, S., Alias, A., Alkama, R., Belamari, S., Barbu, A., Boone, A., Bouyssef, F., Brousseau, P., Brun, E., Calvet, J.-C., Carrer, D., Decharme, B., Delire, C., Donier, S., Essauouini, K., Gibelin, A.-L., Giordani, H., Habets, F., Jidane, M., Kerdraon, G., Kourzeneva, E., Lafaysse, M., Lafont, S., Lebeaupin Brossier, C., Lemonsu, A., Mahfouf, J.-F., Marguinaud, P., Mokhtari, M., Morin, S., Pigeon, G., Salgado, R., Seity, Y., Taillefer, F., Tanguy, G., Tulet, P., Vincendon, B., Vionnet, V., and Voldoire, A. (2013). *The SURFEXv7.2 land and ocean surface platform for coupled or offline simulation of Earth surface variables and fluxes*, *Geoscientific Model Development*, 6, pp. 929-960, doi:10.5194/gmd-6-929-2013.

Najjar, G., Kastendeuch, P.P., Stoll, M.-P., Colin, J.R., Nerry, F., Ringenbach, N., Bernard, J., De Hatten, A., Luhahe, R., Viville, D. (2004). *Télé-détection, rayonnement et bilan d'énergie en climatologie urbaine à Strasbourg, le projet RECLUS* ; *Revue La Météorologie* n°46, DOI : 10.4267/2042/36060, pp. 44-50

Najjar, G. (2007). *Mesures et modélisation*

*en climatologie dans les milieux complexes*. Journées de Climatologie - Grenoble, 22-23 mars 2007 Climat et société : Mesures et modèles ; pp. 11-23

Neusch, T., Grussenmeyer, P., Najjar, G. (2003). *Télé-détection et photogrammétrie, chaînons dans la détermination du climat urbain à Strasbourg*. *Revue XYZ*, n°103, pp. 25-30

Saudreau, M., Picebourde, S., Dassot, M., Adam, B., Loxdale H.D., Biron, D.G. (2012). *On the canopy structure manipulation to buffer climate change effects on insect herbivore development*. Springer Verlag. *Trees-Structure and Function*, 27(1): 239 - 248.

Schilling, A. and H.-G. Maas (2014). *Automatic reconstruction of skeletal structures from TLS forest scenes*. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-5, 2014. ISPRS Technical Commission V Symposium, 23 - 25 June 2014, Riva del Garda, Italy; pp. 321-328

Sonohat G, Sinoquet H, Kulandaivelu V, Combes D, Lescourret F (2006). *Three-dimensional reconstruction of partially 3D-digitized peach tree canopies*. *Tree Physiology* 26(3):337-351.

## ABSTRACT

*This study is part of a project led by the ICube laboratory in collaboration with INSA Strasbourg and the INRA (Clermont-Ferrand). The aim of the scientists is to understand and simulate flows and interactions between urban landscape components. To enrich their models, they need to access the architecture of trees. At this stage of the study, surveyors might contribute efficiently, by acquiring the geometry of trees. The state of the art enabled to highlight the laser scanning contribution, that's why we decided to focus on the processing of terrestrial laserscanning data. We propose a new point cloud skeletonization methodology based on the improvement of the algorithm of Cao et al. (2010). Several implementations were improved, and enabled to extract skeletons automatically, as well as the shoot lengths required by the INRA partner. Results are better than expected, since our approach provides automatically the skeleton of more than 86% of the shoots.*