ISSN : 1620-1899

Géomatique

Expert

LES NOUVELLES DONNÉES

Le rapport sur les données souveraines

LiDAR et modèles 3D de végétation

Évaluation des politiques publiques

N° 124 - Septembre-Octobre 2018 - 14 €

Recevez la e-news de

Géomatique
Expert

La e-news mensuelle de ***Géomatique Expert*** vous propose les plus récentes actualités du monde de la géomatique : éditeurs, logiciels, manifestations, publications…

L'inscription est gratuite,
sur le site : ***www.geomag.fr*** n'hésitez pas !

Image de couverture : © Adobe stock

Éditeur :
CiMax • 12, place G. Pompidou •
93167 Noisy-le-Grand Cedex
Tél. : 01 45 92 96 96
Fax : 01 49 32 10 74
Email : geomatique@cimaxonline.fr

Directrice de la publication :
Anne-Caroline Prévot-Leygonie

Rédaction : Vincent Habchi

PAO et maquette : PAO Corlet

Merci à : Afigéo, Françoise de Blomac

Ont collaboré à ce numéro :
A. Debray, J.-M. Follin, B. Balland,
C. Leblan, O. Acquier, G. Davtian,
A. Pasqualini, S. Sorin, R.M. Dessì

Publicité : Sébastien Guénée
Tél. : 01 45 92 99 96
Email : s.guenee@groupe-cimax.fr

Abonnements :
Ana Dos Santos
Tél. : 01 45 92 98 98
France métropolitaine : 70 €
Communauté européenne : 85 €
Reste du monde : 95 €

Flashage et Impression :
CORLET Imprimeur
14110 Condé-sur-Noireau
ISSN 1620-4909

Commission paritaire : 0623 T 79345
Dépôt légal à parution
L'ensemble des textes, images,
clichés et autres documents
sont propriété de la rédaction,
sauf indication expresse.
Tous droits réservés, hormis
dans le cadre des dispositions
de l'article L. 122-5 du Code
de la propriété intellectuelle.
© Copyright CiMax 2018.

Géo | princhronique[1]

Les frasques de notre société nationale ferroviaire méritent, une nouvelle fois, que je m'y attarde le temps d'un édito. Promis, à l'occasion du prochain numéro, je choisirai un autre bouc émissaire. La RATP, par exemple.

Tout le monde a encore à l'esprit l'incident électrique majeur qui priva cet été la gare Montparnasse d'alimentation pendant plus de deux jours. Certes, on objectera que le câblage, manifestement aberrant, de la ligne de secours n'était pas de la responsabilité de la SNCF, mais de celle de RTE/EDF. C'est exact, mais cela ne dispense pas l'opérateur ferroviaire de conduire des essais ou de simuler les comportements en cas de panne. Il faut croire que le scénario de crise n'avait jamais été joué, ou, en tout cas, que s'il l'avait été, des changements importants étaient intervenus depuis.

Les médias ont relaté la détresse des voyageurs, obligés de patienter avant de pouvoir monter à bord de trains partant avec plusieurs heures de retard (quand ils n'étaient pas purement et simplement annulés).

Faut-il en déduire que la SNCF excelle dans la catégorie retards ? Peut-être pas. En tout cas, sa filiale OUIGO, qui exploite les TGV à bas prix (TGV « charters ») prétend avoir trouvé une solution miracle !

Il y a quelques jours, je réserve un billet sur le OUIGO[2] 7626 partant du Mans[3] vers 17h25 et arrivant à Paris une heure plus tard. L'horaire est pratique et le prix imbattable (dix euros).

Bien. Avant-hier, surprise, message automatique signé OUIGO dans ma boîte aux lettres. En substance : « En raison d'un test en gare (?), votre train OUIGO arrivera à Paris Montparnasse Hall 2 Pasteur plutôt qu'à Paris Montparnasse Vaugirard ». Excellente nouvelle, cela évitera la marche interminable jusqu'au métro. Suit une ligne : « L'arrivée est prévue à Pari (*sic*) Montparnasse Hall 2 Pasteur au lieu de Paris Montparnasse Hall 3 – Vaugirard, à 16h03 au lieu de 18h25 ».

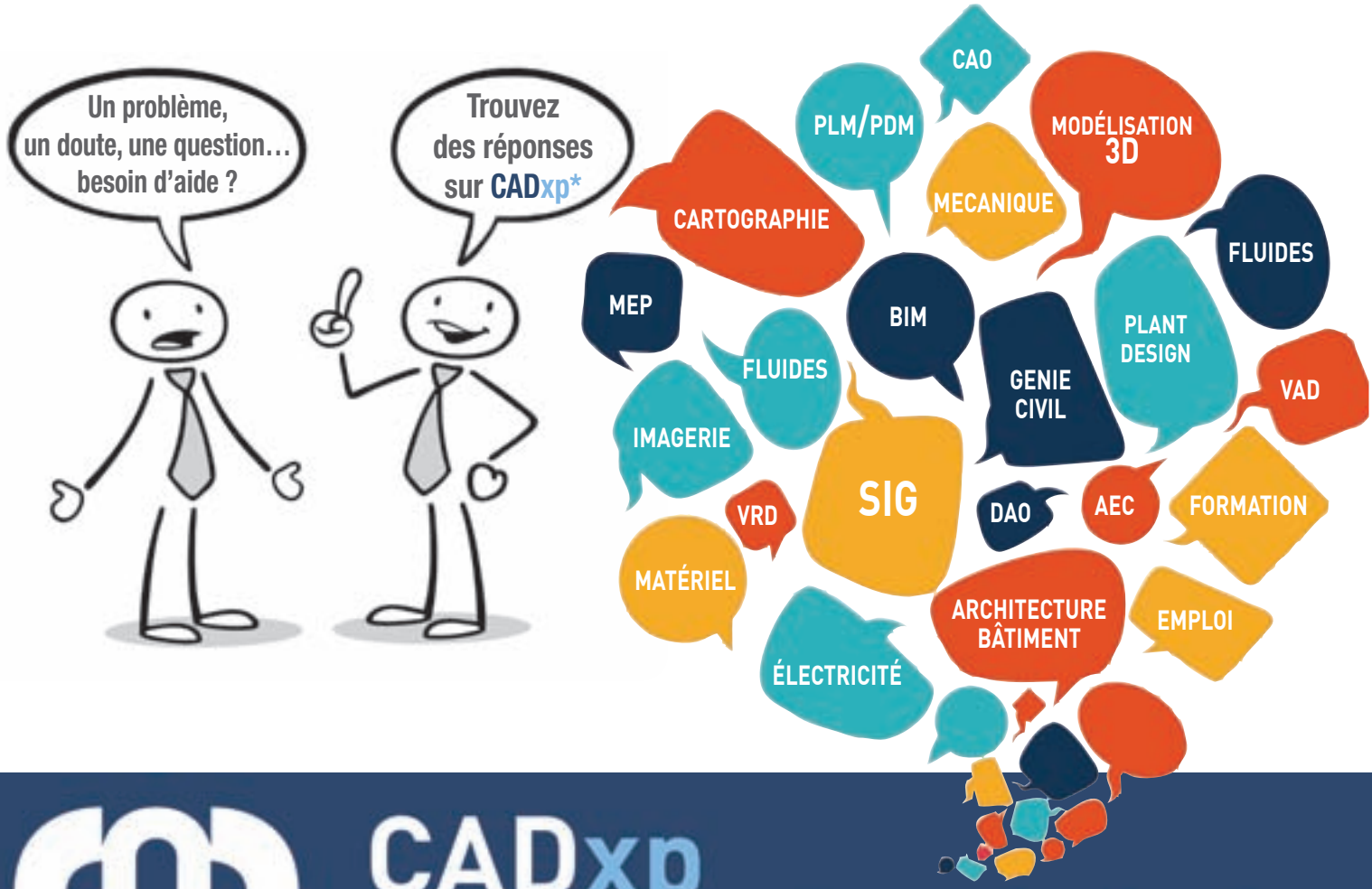
Flûte, me dis-je, l'horaire du train a changé, il va falloir que je réserve sur le TGV classique de 17h50 où la place vaut beaucoup plus cher. Mais, la ligne suivante me précise que : « Le départ de Le Mans (*sic*) à 17h25 sur le train OUIGO n° 7626 reste inchangé ainsi que les conditions d'accès à ce train. » Hourra ! Dernier tour de magie de la SNCF, vous arrivez plus tôt que vous ne partez (et sans changer de fuseau horaire). Ça, au moins, c'est du transport efficace !

Hélas, à peine deux minutes après un nouveau mail de OUIGO arrive. « Annule message précédent suite erreur horaire. » Pas de miracle. Il est précisé plus bas : « L'arrivée est prévue à Pari Montparnasse Hall 2 Pasteur au lieu de Paris Montparnasse Hall 3 – Vaugirard, à 16h03 au lieu de 18h25. » Décidément, ils n'en démordent pas. Il faudra un troisième message, envoyé dans la foulée, pour obtenir enfin une heure d'arrivée cohérente : 18h26.

Dommage, j'aimais bien l'idée d'un train qui remontait le temps. Pour compenser les retards, ça, au moins, ça avait de la gueule.

Vincent Habchi

[1] Prin (πριν) signifie « avant » en grec ancien.
[2] Au fait, à quand le OUIFI à bord des OUIGO ?
[3] J'en profite également pour protester (et je ne suis pas le seul) contre l'usage immodéré du barbarisme « de Le Mans » que pratiquent quasi systématiquement les ASCT (communément appelés « contrôleurs »). Neuf fois sur dix, on entend à bord : « Notre train desservira la gare de Le Mans… » ou « Nous arrivons en gare de Le Mans… ». Il serait bon de rappeler que l'usage de la contraction « du » n'est pas facultative en français.



CADxp

CAO et nouvelles technologies

***Le seul forum en français de discussion et d'entraide de la communauté CAO/SIG**

www.CADxp.com

sommaire

n° 124 |
Septembre-Octobre 2018

Actus

- Le scanner *Leica* RTC360 4
- Relevé sub-centrimétrique de parois avec un drone 5
- Conférence francophone *ESRI* 6
- Le festival de géographie (FIG) de Saint-Dié 6
- *Trimble Catalyst*, une canne d'arpentage centimétrique 7
- *Intergeo* 2018 7
- Rapport sur les données géographiques souveraines 8
- Bathymétrie des zones côtières avec des images satellites 12
- *GéoONG* 2018 13
- *Phase One* lance un boîtier aérien 150 MPixels 13
- Lancement du nouvel appel à projets *IGNFab* 41

SIG

- Mise en œuvre d'un SIG pour le projet FARMaine (Partie 2) 14

Carto

- Les peintures murales des lieux de culte du Sud de l'arc alpin du XIVe au XVIe siècle 34

Mobilité

- Modélisation 3D de la végétation sur le territoire de Rennes Métropole (Partie 2) 42

Abonnement 55

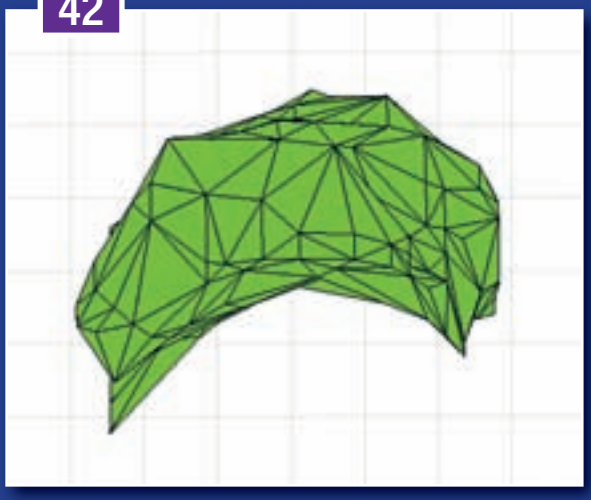
Ce numéro comporte un encart abonnement broché 2 volets non foliotés.

LES NOUVELLES DONNÉES

14

34

42



Le scanner *Leica* RTC360

Le nouveau scanner laser *Leica* RTC360 permet de « capturer » la réalité en 3D plus rapidement que jamais. Avec un taux de mesure allant jusqu'à deux millions de points par seconde et un système d'imagerie HDR avancé, la création de nuages de points 3D colorés peut être réalisée en moins de deux minutes pour une numérisation complète du dôme (300° de débattement vertical) avec une résolution de 6 mm à 10 m (le scanner peut acquérir jusqu'à 2 millions de points par seconde). Les données peuvent être directement sauvegardées sur une clef USB jusqu'à 256 Go. Le scanner est en outre muni d'une interface WiFi de type 802.11b/g/n (et non *ac*, ce qui est dommage vu la bande passante plus importante que cette norme permet).

L'enregistrement automatisé sans cible sur le terrain (basé sur la technologie *Visual Inertial System* - VIS) et le transfert automatisé des données réduisent le temps passé sur le terrain et maximisent la productivité. La technique dite de *double scan* permet de corréler deux nuages de points acquis dans la foulée et supprimer les échos dus aux objets mobiles.

Petit (12 × 24 × 23 cm) et léger (5,3 kg environ auquel il faut rajouter 600 g pour les batteries, soit 6 kg au total) grâce à sa conception portable et à son trépied repliable, le scanner *Leica* RTC360 est suffisamment compact pour tenir dans la plupart des sacs à dos, prêt à être emporté n'importe où. Une fois sur site, le mode d'utilisation à un seul bouton permet une numérisation rapide et simple. La portée du laser varie de 50 cm

jusqu'à 130 m environ, sur une fréquence infrarouge moyen de 1 550 nm (donc sans danger pour les yeux). La précision en distance obtenue est de 2 mm à 10 m, de 3 mm à 20 m et de 5 mm à 40 m, avec une résolution angulaire de 18 secondes d'arc. Les batteries lithium lui donnent une autonomie d'environ quatre heures.

Les données à faible interférence permettent d'obtenir de meilleures images, donnant lieu à des numérisations nettes et de haute qualité, riches en détails et pouvant être utilisées dans un grand nombre d'applications. L'appareil photo intégré prend des clichés de 36 Mpx grâce à trois capteurs intégrés. L'intégralité du dôme représente une matrice de 432 Mpx. À noter que pour étendre la dynamique dans le cas de scènes où ombres et lumières cohabitent, le RTC360 prend automatiquement des clichés HDR avec cinq valeurs de diaphragme différent.

Combiné au logiciel *Cyclone FIELD 360* pour l'enregistrement automatisé sur le terrain (le scanner est télécommandable grâce à une tablette de type *iPAD* ou *Android*), le scanner *Leica* RTC360 offre une précision exceptionnelle qui peut être vérifiée sur place. Pour les levés en extérieur, l'appareil dispose en outre d'un récepteur GNSS, d'un altimètre et d'une boussole. ◻

Relevé sub-centrimétrique de parois avec un drone

Dans le cadre du Projet Européen *In2Smart* qui porte sur la validation de nouveaux moyens technologiques pour la détection, la prévention et la modélisation des aléas naturels pouvant affecter les infrastructures *Altametris*, la filiale drone de *SNCF Réseau* est intervenue sur le site de Brienz/Brinzauls à plus de 1 100 m d'altitude dans les Alpes suisses. Le versant de 500 m de haut sur près de 900 m de large, situé dans la région de l'Albula, une partie du canton des Grisons, présente une instabilité caractérisée par des mouvements de l'ordre de un à dix millimètres par jour et des chutes constantes de pierres. Le village de Brienz est en permanence sous la menace d'un effondrement aux conséquences potentiellement catastrophiques. Le versant fait donc l'objet d'une grande attention de la part des autorités suisses.

Les Chemins de fer fédéraux suisses (SBB/CFF) ne possèdent pas d'infrastructures à proximité directe du versant rocheux de Brienz, mais comme le mouvement du site est unique en son genre, les CFF y s'en servent de zone test pour évaluer de nouvelles technologies applicables à la surveillance de versants rocheux présentant un risque potentiel.

La mission, réalisée début juillet dans le cadre du cas d'usage *Natural Hazards* du programme *In2Smart* est la première d'une série qui consiste à capter, tous les trimestres environ, des données LiDAR 3D pour modéliser le versant. L'objectif final est de réaliser une analyse diachronique de ses mouvements.

Altametris a déployé un équipage composé d'un télépilote senior et d'un géomètre topographe spécialiste de la 3D, capable de paramétrer la charge utile LiDAR puis de vérifier sur le terrain la qualité des données acquises. Ils ont utilisé le drone multi-rotors *Riegl Ricopter.* L'appareil a permis de réaliser un modèle 3D du versant d'une très haute densité de presque mille points au mètre carré par endroits. Cette opération s'est faite en toute sécurité et sans mobilisation de moyens lourds au sol ou héliportés.

Le modèle 3D obtenu du versant est de précision sub-centimétrique. Il permettra donc au mainteneur d'analyser dans le temps les moindres mouvements du versant afin de programmer des actions correctives ciblées. ◘

Conférence francophone *ESRI*

Comme toutes les années, les équipes d'*ESRI France* organisent la conférence francophone des utilisateurs des logiciels de la gamme *ArcGIS* aux *Docks de Paris,* à Aubervilliers, à proximité immédiate du terminus de la ligne de métro 12 (Front Populaire) – rappelons que le Palais des congrès de Versailles a été abandonné l'an dernier pour des questions de place et d'accessibilité. La conférence se déroulera les 10 et 11 octobre.

Cette année, la manifestation sera couplée à la *Fête de la Science.* À cette occasion, il sera possible pour le grand public d'accéder à la conférence dans l'après-midi du 11, et le spectacle du 10 au soir sera également public.

La matinée du 10 sera consacrée, comme à l'habitude, à la séance plénière où les équipes de l'éditeur présentent les nouveautés logicielles et services de l'année et à venir. L'après-midi verra l'intervention de quatre grands témoins : Akim Oural, adjoint au maire de Lille ; Yann De Pietro, responsable de la « stratégie durable » de la marque *Nespresso* ; Allain Bougrain-Dubourg, journaliste animalier, maintenant producteur et président de la Ligue de protection des oiseaux (LPO) et enfin Philippe Croizon, le premier sportif amputé des quatre membres à avoir traversé la Manche à la nage.

Le reste de la journée, comme celle du 11, seront consacrées aux conférences utilisateurs, ainsi que la remise des différents prix (comme celui des *24 heures du SIG*). ◘

Le festival de géographie (FIG) de Saint-Dié

Le Festival international de Saint-Dié-des-Vosges se tiendra cette année du 5 au 7 octobre 2018 avec comme invité les « pays nordiques ». En parallèle, au musée Pierre Noël, se tiendra le « Salon de la Géomatique », organisé par l'Afigéo. Seront présents, outre l'association : le CGET (Commissariat Général à l'Égalité des Territoires), l'ENSG, GEOFIT Group, *GéoGrandEst*, l'IGN (service Édugéo), le ministère des Affaires européennes et étrangères, le PôleSat Web 2018 et l'Université de Lorraine (LOTERR).

Les trois jours du festival seront également émaillés de conférences géomatiques organisées par l'AFIGEO et ses partenaires : présentation de la plate-forme de données géographiques *GéoGrandEst*, démonstration du portail cartographique de l'Observatoire des territoires du CGET, découverte de Minecraft@ : le service de l'IGN pour construire la France de demain, zoom sur la *Blockchain* et ses usages avec GEOFIT Group, échanges sur le géomaticien de demain…

Le programme complet des trois jours est disponible sur le site *web* de l'Afigéo, http://afigeo.asso.fr. ◘

Trimble Catalyst, une canne d'arpentage centimétrique

Le système *Trimble Catalyst* est composé d'une antenne GNSS, d'un récepteur intégrant des corrections diffusées soit par satellite, soit par IP, et du logiciel *ArpentGIS* disponible sur *smartphone* ou tablette *Android* uniquement (pas d'*iPhone* ou d'*iPad*).

L'antenne *Trimble Catalyst DA1* peut être installée sur une canne avec un filetage standard de 5/8. L'adaptateur fileté est conçu pour pouvoir être dévissé après chaque utilisation ou simplement laissé sur la canne et fixé sur le pied de l'antenne. Cette canne peut également être utilisée avec un sac à dos Trimble pour les applications ne demandant pas une précision importante.

Cette solution ne nécessite aucune configuration particulière, mis à part une abonnement à un réseau de diffusion de correction. Elle choisit la meilleure source de correction disponible au moment où vous l'utilisez. Le système *Trimble Catalyst* choisira entre les corrections SBAS, *Trimble RTX* ou *Trimble VRS Now*, selon votre abonnement et votre localisation. Vous pouvez également configurer votre appareil afin qu'il se connecte si nécessaire à des sources de correction tierces, lorsque vous êtes en dehors de la zone de couverture de *Trimble VRS Now*.

Le logiciel *ArpentGIS* s'interface directement avec le récepteur *Trimble Catalyst* et permet de réaliser très simplement des travaux précis de cartographie, topographie, implantation, consultation de cartes… En complément de celui-ci, le logiciel pour PC *ArpentGIS-Expert* permet de préparer des formulaires de saisie, récupérer les données terrain, les analyser et les exporter vers la plupart des logiciels SIG ou DAO (formats SHP, DXF, CSV, MIF, KML…). ◘

Intergeo 2018

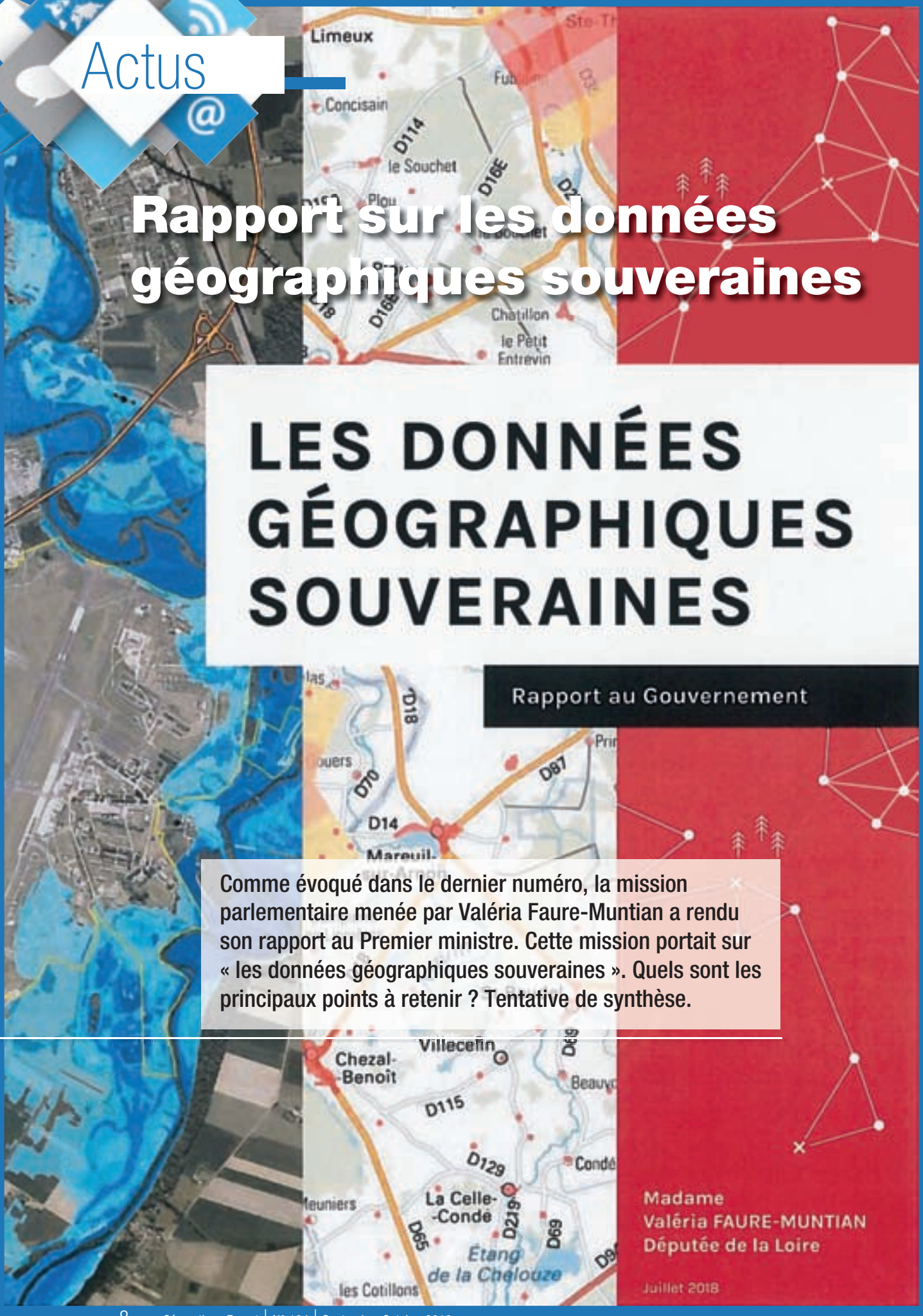
Le salon européen de la topographie, géomatique et des drones *Intergeo* aura lieu cette année à Francfort du 16 au 18 octobre. Comme chaque année, *Intergeo* est avant le salon pour qui souhaite rencontrer les principaux acteurs du domaine de la topographie : *Hexagon, TopCon, Faro* et les autres y tiennent des stands immenses. On peut aussi y rencontrer les différents distributeurs d'images satellites, quelques éditeurs de SIG, le reste étant constitué d'acteurs nationaux allemands.

Cependant, de plus en plus le salon se tourne vers l'industrie du drone. L'équipe d'*Intergeo* a ainsi créé un événement auxiliaire, baptisé *European Drone Summit*, dédié entièrement à l'industrie du drone et à ses principales applications : géodésie et inspection, sécurité et surveillance, transports et logistique. Les débats porteront également sur les différentes réglementations européennes et leur éventuelle harmonisation. Ce *summit* se déroulera le 15 octobre au même endroit qu'*Intergeo*.

À noter que l'*European Drone Summit* est entièrement en anglais, ce qui n'est pas le cas d'*Intergeo*. Malgré l'ouverture européenne volontariste de l'événement, la plupart des conférences proposées restent en allemand, et toutes ne sont pas couvertes par des interprètes.

Le programme complet, la liste des exposants et les inscriptions sont disponibles sur le site web de la manifestation, http://www.intergeo.de. ◘

Rapport sur les données géographiques souveraines



Comme évoqué dans le dernier numéro, la mission parlementaire menée par Valéria Faure-Muntian a rendu son rapport au Premier ministre. Cette mission portait sur « les données géographiques souveraines ». Quels sont les principaux points à retenir ? Tentative de synthèse.

Les chantiers de modernisation de l'administration se multiplient, sous l'effet de la numérisation accélérée de la société. En parallèle, l'État, toujours à court de budget, souhaite développer au maximum les synergies et les mutualisations possibles entre établissements. Ce mouvement général ne pouvait pas épargner l'information géographique, et le Premier ministre a donc confié à Valéria Faure-Muntian, députée de la Loire[1], la mission de dresser un état des lieux de la production des données géographiques en France, en appuyant particulièrement sur l'angle des données dites « souveraines ».

Données souveraines et données de référence : quelle distinction ?

La première partie de ce rapport s'emploie d'ailleurs à définir précisément ce terme, notamment à l'opposer à une autre notion courante, celui de « donnée de référence ». La « donnée géographique souveraine », explique le rapport, est avant tout une donnée produite par l'État dans le cadre de ses missions régaliennes : elle doit donc satisfaire plusieurs critères, parmi lesquels ceux, on s'en doutait, de précision et d'actualité. Il n'est pas possible d'asseoir des décisions sur des données périmées ou imprécises.

Cette préoccupation s'est naturellement faite jour à l'aune du succès des applications géographiques produites par les géants de l'*Internet*, que le rapport baptise du nom convenu de « GAFA ». Il est à noter que le rapport n'oblige pas les services de l'État à produire les données souveraines en totale autarcie, mais uniquement à posséder la compétence pour le faire. C'est-à-dire que l'État peut déléguer la production au secteur privé (dans la mesure où la donnée produite n'est pas couverte par le secret), mais doit s'assurer d'être capable, à n'importe quel moment et pour n'importe quelle raison, de reprendre cette production à son compte. La maîtrise de la compétence permet à l'État de s'assurer de la parfaite conformité des données récupérées au cahier des charges.

Deux facteurs conditionnent le degré d'« autorité » d'une donnée :

• Sa qualité, exprimée en termes d'exhaustivité, de fiabilité et de précision ;

• La présence et la pertinence des métadonnées qui l'accompagnent.

« Au total, cette définition n'emporte que deux contraintes substantielles pour les autorités publiques : ne pas se mettre entièrement dans la main d'une entité tierce pour disposer de données critiques et ne pas fonder ses décisions sur des données dont la qualification n'est pas maîtrisée. Le caractère souverain de la donnée ne fait donc pas obstacle à ce que la puissance publique acquière et utilise, pour ses besoins propres, des données produites par le secteur privé, soit dans le cadre d'une relation commerciale traditionnelle, soit en instituant des obligations de communication des données produites par des opérateurs dans le cadre de leurs missions. Il ne fait pas davantage obstacle à ce que certains référentiels soient, à l'instar de la base adresse nationale (BAN), constitués et entretenus en lien avec des partenaires privés, selon une logique de "commun numérique", ni à ce que certaines données fassent l'objet d'une élaboration collaborative ("crowdsourcing" […]). »

Le rapport, tout en définissant donc assez précisément l'assiette technique des données souveraines, rappelle cependant que cette définition n'a pas vocation à devenir normative. Définir par un texte de loi, ou un texte réglementaire, ce que « sont » les données souveraines reviendrait à en figer l'approche et, de fait, à réglementer son élaboration et sa diffusion, alors que la directive *Inspire* a déjà partiellement investi ce champ. En outre, souligne le rapport, une définition légale de la donnée souveraine n'a de sens que si elle est destinée à produire des effets en droit, par exemple en devenant opposable à des tiers. Cela aurait évidemment pour effet de considérablement réduire le jeu des données souveraines, tout en provoquant l'inévitable réticence du secteur privé.

À l'inverse de la donnée souveraine, la donnée dite « de référence » est déjà définie (en général), par la loi n° 2016-1321 dite « République numérique ». Pour certaines de celles-ci, la mise à disposition fait partie d'une mission de service public : il s'agit du plan cadastral informatisé (PCI vecteur), le registre parcellaire graphique produit par

[1] La raison pour laquelle Valéria Faure-Muntian a été choisie plutôt qu'un autre député n'est pas précisée dans le rapport. Volontariat ou intérêt ? Difficile de trancher. Évidemment, il est impossible de trouver dans l'Assemblée un quelconque député qui soit familier avec la géomatique, depuis le départ de Dominique Caillaud.

l'ASP (ONIC) pour le calcul de la PAC, le RGE de l'IGN, la BAN et la base de données de l'organisation administrative de l'État, qui recense les bâtiments et services publics sur un fond de carte IGN.

Les données de référence ci-dessus citées bénéficient du niveau d'exigence suffisant pour en faire des données souveraines, mais il s'agit d'un cas particulier. Certaines données souveraines, par exemple produites pour le ministère de la Défense, ne sont pas diffusables, et donc ne peuvent prétendre à devenir données de référence. En outre, si l'on accepte la définition plus générale, comme le fait l'Administrateur général des données, que la donnée de référence est « une donnée à haut potentiel d'usage », l'épithète « référence » se réfère donc plutôt à l'usage qu'à la qualité. Une donnée de référence sera donc une donnée « à laquelle on se réfère », plutôt qu'une « donnée qui fait référence ». Par exemple, le cadastre est notoirement connu pour être géométriquement incorrect, ce qui ne l'empêche pas d'être largement employé pour toutes sortes d'usages.

Production de la donnée souveraine

L'IGN n'a plus le monopole de la production de donnée géographique en France (si tant est qu'il l'ait jamais possédé : *Michelin*, par exemple, a toujours édité des cartes papier avec ses propres données). De nos jours, une multitude d'acteurs publics, ou privés, produisent des jeux de données qu'ils publient, ou pas. Certes, l'IGN joue toujours un rôle leader en ce qui concerne la qualité et l'état de l'art en production, mais de multiples collectivités locales, agences de l'État ou autres produisent quotidiennement des données métier.

Cette production semble de loin assez anarchique, en ce sens qu'il n'y a pas de coordination ni locale, ni nationale, ce qui conduit souvent à des doublons. La gouvernance de la production laisse à désirer. Cependant, la mise en place d'une structure rigide de production, au sein de laquelle chaque organisme aurait une mission bien particulière, n'a pas d'intérêt. Cette coordination doit s'effectuer au cas par cas, par exemple quand les organismes partagent une mission.

Le rapport avoue son impuissance, faute de temps et de préparation, à effectuer un recensement exhaustif de toutes les données produites par les organismes publics français. Les besoins varient suivant les administrations, et vont du suivi de la ligne de côte à la géolocalisation des équipements d'urgence, une base de données de la sinistralité, etc. Malgré la directive *Inspire*, certains jeux de données ne sont pas connus, voire, à l'inverse, certains manques ne sont pas comblés. Par exemple, remarque le rapport, les SIG de crise SYNAPSE et OGERIC, gérés respectivement par les ministères de l'Intérieur et de l'Écologie, fonctionnent en parallèle. Ceci reflète à son tour une grande diversité dans la sensibilité géomatique des ministères, depuis ceux pour qui l'information géographique est essentielle (armées, écologie), jusqu'à ceux qui semblent presque pouvoir s'en passer (transports, énergie). L'IGN a récemment noué des liens avec les principaux services de renseignements – ce qui peut paraître surprenant vu l'omniprésence de l'information géographique dans ce domaine.

Le rapport signale enfin que les infrastructures déployées pour accéder aux métadonnées, donc savoir qui possède quel jeu de données et quelles sont les conditions de réalisation de ce dernier sont assez inefficaces, en raison d'une frontière mal établie entre le Géoportail, Géosource, et data.gouv.fr.

Préconisations

Après avoir dressé une sorte d'état des lieux, le rapport en vient à énumérer des préconisations, et la manière dont ces dernières pourraient être implémentées et financées. Globalement, un axe majeur se dégage du rapport : l'IGN, en tant qu'expert technique indéniable dans la production et le traitement de l'information géographique, constitue la charnière centrale de la future chaîne de production de la donnée géographique.

Première préconisation : enjoindre les administrations de mieux connaître leur patrimoine de données géographiques et leurs besoins respectifs. Demander au Premier ministre de rédiger une circulaire définissant les principaux critères de qualité qu'une donnée de référence doit respecter. Utiliser le cas des données géographiques utiles en cas de crise pour harmoniser les représentations entre différents ministères. Enfin, transférer la responsabilité du *GéoCatalogue* du BRGM vers l'IGN.

Le rapport s'intéresse ensuite à la production de données par les acteurs locaux, et relève que les plates-formes d'information géographique régionales fonctionnent en relative autonomie, en raison d'un dialogue parfois difficile avec l'État. Maintenir cet état de fait n'est pas satisfaisant, mais imposer une structure rigide

où chacun serait en charge d'un type de donnée bien défini et ne pourrait en sortir n'est pas souhaitable non plus. Au final, le rapport recommande de nouer des relations de partenariat à l'occasion de la production de données dans le cadre de projets. Ceci pourrait s'appliquer à la réalisation d'un MNT national dense, ou bien à la couverture orthophotographique nationale. À plus long terme, le gouvernement planche sur l'utilisation des données de transport/circulation, qui semblent être chroniquement sous-exploitées. Enfin, l'organisation des Jeux olympiques de 2024 à Paris constitue une occasion unique de développer et de mettre en œuvre des synergies dans le domaine de la production de données.

La question du stockage/accès à ces données se pose comme une suite logique à la problématique de la production. Dans ce domaine, le rapport envisage deux solutions : soit la mise en place d'un « portail chapeau » national, au travers duquel l'utilisateur pourrait accéder à de la donnée stockée sur les plates-formes régionales, soit une plate-forme nationale qui hébergerait, de façon mutualisée, tous les jeux de données régionaux, en garantissant à chaque producteur le droit de modifier la donnée comme il l'entend. De ces deux solutions, c'est la dernière qui semble avoir les faveurs du rapport, en raison du gain de ressources, de la mutualisation de la puissance de calcul, et de la relative facilité d'accès aux données, qui pourrait amener plus facilement d'autres domaines, comme celui de la recherche, à participer à cette plate-forme.

Une fois ce choix affirmé, le rapport suggère que le *Géoportail*, tel qu'il existe aujourd'hui, soit progressivement transformé pour devenir cette vaste plate-forme mutualiste d'hébergement de la donnée géographique de référence. Aucune échéance n'est cependant citée. Là encore, le rapport met en avant l'expertise de l'IGN, cette fois dans le domaine informatique, pour justifier cette décision.

Position des différents acteurs de l'information géographique

Une fois le « problème » de la production de la donnée de référence « réglé », le rapport s'intéresse à la position et à la pertinence des différences instances françaises traitant de l'information géographique, et en particulier au CNIG. Reprenant l'avis de plusieurs « personnes » selon lesquelles ce dernier ne joue pas pleinement son rôle, mais interviendrait uniquement de manière ponctuelle et ciblée sur certains sujets, le rapport propose de remettre le CNIG au centre de la coordination des producteurs de données, de le placer sous tutelle directe du Premier ministre – en raison du caractère pluridisciplinaire de l'information géographique –, et de le décliner en instances régionales qui pourraient jouer un rôle de relais entre les collectivités territoriales et cette organisme national « un peu éloigné du terrain ». Moyennant quoi, le rapport préconise également le maintien des plates-formes régionales d'information géographique, ainsi que des moyens existants dans les services déconcentrés de l'État.

La mission de l'IGN, à qui continuerait à être confiée la création des données sensibles, par exemple militaires, serait recentrée dans le domaine civil autour de trois objectifs principaux : l'agrégation des différents jeux de données stockés sur la future plate-forme nationale, la certification de ces dernières, et l'animation d'une communauté de géomaticiens autour de la production et des bonnes pratiques et compétences associées. En parallèle, le conseil d'administration verrait renforcée la présence des régions, et la DINSIC, Direction interministérielle du numérique et du système d'information et de communication de l'État, y siégerait *ès qualités*[2].

Actions prioritaires

Parmi les actions à conduire en priorité, faut-il y voir un certain sens d'urgence, le rapport commence par citer la convergence de la donnée fiscale cadastrale et de la *BD Topo* : rien n'est véritablement affirmé quant au futur de la RPCU, mais l'échéance d'une éventuelle disponibilité est placée à 2025 environ – compte tenu du fait que l'objectif de traiter chaque planche en moins de trente minutes n'est pas encore atteint. D'ici là, le projet a encore le temps de dérailler – d'autant que le rapport préconise de transférer la responsabilité de la partie graphique du cadastre à l'IGN – avec le personnel qui va avec – pour éviter la double compétence qui engendre automatiquement des conflits. L'idée derrière est assez simple : la DGFiP s'occupe de la partie fiscale, et l'IGN de la partie topographique. Une échéance est même prévue : la fin de la législature, soit 2022.

[2] Au risque de jouer les pinailleurs, il est rappelé ici à l'auteur du rapport, et aux correcteurs de celui-ci, que la préposition (vieillie) *ès* est une contraction de « en les », et donc obligatoirement suivie d'un pluriel. On n'écrira donc pas, comme le rapport, **ès qualité*, pas plus qu'on écrirait **aux qualité*.

Les seconde et troisième actions concernent la consolidation de données déjà existantes : tout d'abord les zonages réglementaires, qui pourraient tous être « dessinés » et centralisés sur un portail unique dédié à la réglementation, à l'instar de ce qui a déjà été envisagé pour le « géoportail de l'urbanisme » (ou GPU). Ce mouvement pourrait être accompagné de mesures incitatives, comme le conditionnement de la valeur juridique de la donnée à sa publication sur ce portail.

Le rapport aborde ensuite le cas de la BAN. Cette dernière peine à arriver à maturité, et plusieurs causes sont énumérées, mais la principale réside dans le fait que l'adressage n'est aucunement obligatoire : aucune loi ou règlement n'oblige une collectivité à nommer ses rues ou numéroter les bâtiments (pour les communes de plus de deux mille habitants, cette obligation existe sous forme oblique) ; on peut penser à certains petits hameaux de quelques maisons. Le rapport préconise donc de créer une obligation générale pour les collectivités locales de générer une information d'adresse, ce qui, du moins le rapport l'espère, pourrait accélérer la constitution de la BAN.

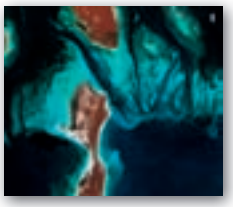
Reste le dernier cas, celui du PCRS. Si le rapport constate la « poussivité » du projet, il se contente, une nouvelle fois, de recommander que l'IGN joue un rôle plus important dans la coordination du projet, quitte à réaliser un certain nombre d'investissements en mode mutualisé, mais les propositions restent floues, tant le sujet demeure lui-même difficile à cerner.

Les licences

Le dernier point que le rapport aborde est celui du régime juridique sous lesquelles les données géographiques publiques devraient être placées. Ici, il n'y a pas d'hésitation : le principe de gratuité est acquis, le financement de ces données par l'IGN ou les autres organismes publics devant relever de la dotation, et non de la vente. Le principal souci ici est la non-compatibilité des deux licences principales utilisées dans le domaine public : la licence « type BSD » qui assure la totale liberté de réutilisation, même dans un cadre commercial, et la licence « type GNU », virale, qui demande que les données dérivées soient publiées sous le même régime. De fait, les données du premier type peuvent être agrégées avec les données du deuxième type, mais la réciproque est fausse : un jeu de données « GNU » ne peut être publié sous licence « BSD ».

Le rapport demande donc qu'un type de licence soit choisi, et que toutes les données soient placées sous un régime unique pour éviter les incompatibilités. ◘

Bathymétrie des zones côtières avec des images satellites



Le *Projet Trident* est une initiative portée par la société américaine *TCarta Marine* visant à utiliser des images satellites à haute résolution, de type *WorldView*, pour constituer des référentiels bathymétriques. Certaines techniques d'analyse permettent déjà de dériver des informations de profondeur des images satellites. *TCarta* a déjà breveté et commercialisé un système de télédétection qui permet d'extraire numériquement la profondeur des régions côtières jusqu'à environ vingt mètres de profondeur à partir d'images *WorldView*. Cette technologie permet de traiter des surfaces importantes en un temps réduit et ne nécessite pas de monopoliser un avion ou un bateau pour effectuer des mesures à façon.

Le projet *Trident* est censé utiliser des techniques modernes de type intelligence artificielle ou vision informatique pour améliorer les algorithmes déjà existants. Plus précisément, un algorithme appelé cinématique ondulatoire (breveté par *jOmegak*) consiste à dériver la profondeur des eaux à partir des motifs et de la vitesse des vagues visibles sur les photographies satellites.

La cible envisagée concerne l'exploitation minière et/ou pétrolière offshore, les infrastructures côtières, la navigation par cabotage et autres. La société cherche des bêta testeurs. Vous pouvez contacter Kyle Goodrich, trident@tcarta.com ou répondre à un questionnaire en ligne sur : http://www.tcarta.com/blog/survey. ◘

GéoONG 2018

La conférence organisée par l'association chambéroise *Cart'ONG* autour des applications de la géomatique dans les organisations humanitaires se tiendra cette année du 29 au 31 octobre à Chambéry, au centre de congrès « Le Manège » (comme lors de l'édition précédente).

À ce stade, le programme de la conférence n'est pas encore définitivement fixé, mais parmi les sujets possibles des tables rondes figurent :

• Le retour d'expérience sur les techniques de gestion de l'information lors des crises récentes (par exemple Bangladesh) ;

• Évaluation des projets de gestion de l'information ;

• Bénéfices et chausse-trapes de la gestion de l'information au sein des consortiums ;

• Les données relatives aux bénéficiaires sont-elles la composante oubliée dans l'implémentation du RGPD ?

• Quel modèle économique pour les *Digital Commons* dans le secteur humanitaire ?

• Quelle est, quelle pourrait et quelle devrait être la place des bailleurs dans les politiques et les pratiques de gestion de l'information ?

• Une conception centrée sur l'utilisateur pour les outils dans le secteur humanitaire ;

• *Machine Learning* & intelligence artificielle appliqués à l'imagerie satellite pour la cartographie ;

• Interopérabilité et présentation de la dimension temps pour les données spatiales.

D'autres temps forts sont également prévus, comme du « *speed geeking* », des « *lightning talks* » ou encore une « *fail fest* » destinée à tirer les enseignements des échecs vécus.

Le programme finalisé devrait être publié sur le site web de la conférence http://cartong.orgfr/geong/2018/programme dans les premiers jours du mois d'octobre.

Il est cependant d'ores et déjà possible de s'inscrire sur le site de la conférence, la participation étant de 140 € pour les trois jours. □

Phase One lance un boîtier aérien 150 MPixels

Phase One, l'un des leaders dans la fabrication de boîtiers photographiques moyen format pour la photographie aérienne annonce le *iXM-RS150F*, un boîtier numérique de 150 mégapixels, soit une résolution de 14 204 × 10 652 pixels par cliché, soit un aspect de 4:3. La taille élémentaire des capteurs du senseur CMOS est de 3,76 µm pour une sensibilité donnée à 6 400 ISO pour la version couleur (à matrice de Bayer) ou de 25 600 ISO pour la version panchromatique (avec filtre infrarouge optionnel), et une dynamique de 83 dB correspondant à un échantillonnage sur 14 bits (6 dB/bit). Ce CMOS est de type rétro-éclairé, ce qui signifie que la collection des tensions élémentaires sur chaque pixel se fait par un système électronique réalisé à l'arrière de la matrice et non au même niveau que celle-ci, ce qui permet d'augmenter la taille des pixels et donc de gagner en sensibilité. Revers de la médaille, avec cette résolution, les images sont lourdes (compter 100 Mo par cliché RAW sur 14 bits compressé) et la vitesse de prise de vue ne dépasse pas deux images/seconde. Le boîtier dispose d'un port USB-3 ou Ethernet 1G/10G pour transférer les images.

Côté objectif, le boîtier peut être équipé d'une série de focales fixes dites RS usinées soit par Rodenstock pour les focales faibles (32-90 mm) soit par Shneider-Kreuznach pour les téléobjectifs (110 et 150 mm). Ces objectifs sont mis au point en usine sur l'infini et possèdent tous un obturateur capable d'atteindre le 1/2500 de seconde, donné pour 500 000 déclenchements minimum. Les diaphragmes vont de f:4 à f:5, 6 au maximum jusqu'à f:22 au minimum.

Ces boîtiers couvrent toutes les applications possibles de la photographie aérienne, depuis la prise d'orthophotographie pour la réalisation de bases de données géographiques jusqu'à la réalisation de modèles 3D urbains en passant par l'agriculture ou l'imagerie oblique.

À côté de l'*iXM-RS150F, Phase One* commercialisera également un boîtier légèrement moins performant équipé d'un capteur 100 Mpx, l'*iXM-RS100F*. □

Mise en œuvre d'un SIG pour le projet FARMaine[1] (Partie 2)

Adèle Debray, Chercheuse post-doctorale - Projet FARMaine (PSDR 4) - CNAM/ESGT Laboratoire Géomatique et Foncier
Jean-Michel Follin, Maître de Conférences CNAM/ESGT Laboratoire Géomatique et Foncier
Benjamin Balland, Élève CNAM/ESGT en 5e année

[1] Projet coordonné par Marie Fournier, Maître de conférences au Laboratoire Géomatique et Foncier, ESGT-CNAM.

Le projet FARMaine est un projet pluridisciplinaire financé dans le cadre du Programme de recherche PSDR 4 (Pour et Sur le Développement Régional) décliné à l'échelle du Grand Ouest. Il cherche à étudier les impacts fonciers, agricoles et paysagers des politiques publiques environnementales sur les fonds de vallée du bassin versant de la Maine, plus particulièrement sur les systèmes d'élevages extensifs. Ce projet s'appuie sur l'étude de quatre zones : les Basses Vallées Angevines (BVA), la vallée du Loir, la vallée de l'Oudon et la vallée du Sarthon-Alpes mancelles. Les outils mis en place dans le cadre de cette étude devront pouvoir être réutilisés dans des bassins versants similaires. Le présent travail vise à évaluer, grâce à un SIG, quel est l'impact des politiques publiques environnementales sur le paysage et le parcellaire des zones concernées.

La vallée du Loir aux alentours de Vendôme. Crédit : Adobe Stock

Implémentation des bases de données

Une approche basée sur le modèle « Space-Time Composite » pour décrire l'évolution des zones d'études

Cette construction est réalisée en plusieurs étapes. Tout d'abord, d'un point de vue logique, une comparaison spatio-temporelle doit être effectuée sur des entités comparables. Or, la géométrie des parcelles issues des fichiers fonciers pour les millésimes de 2009 et 2016 n'est pas homogène. En 2009, de nombreuses parcelles ont été représentées par des carrés, car elles n'ont pas été vectorisées. Il ne faut pas les inclure dans la construction de la base de données. On exclut donc d'emblée 205 parcelles, soit 2 % des parcelles des BVA (basses vallées angevines). (cf. figure 6)

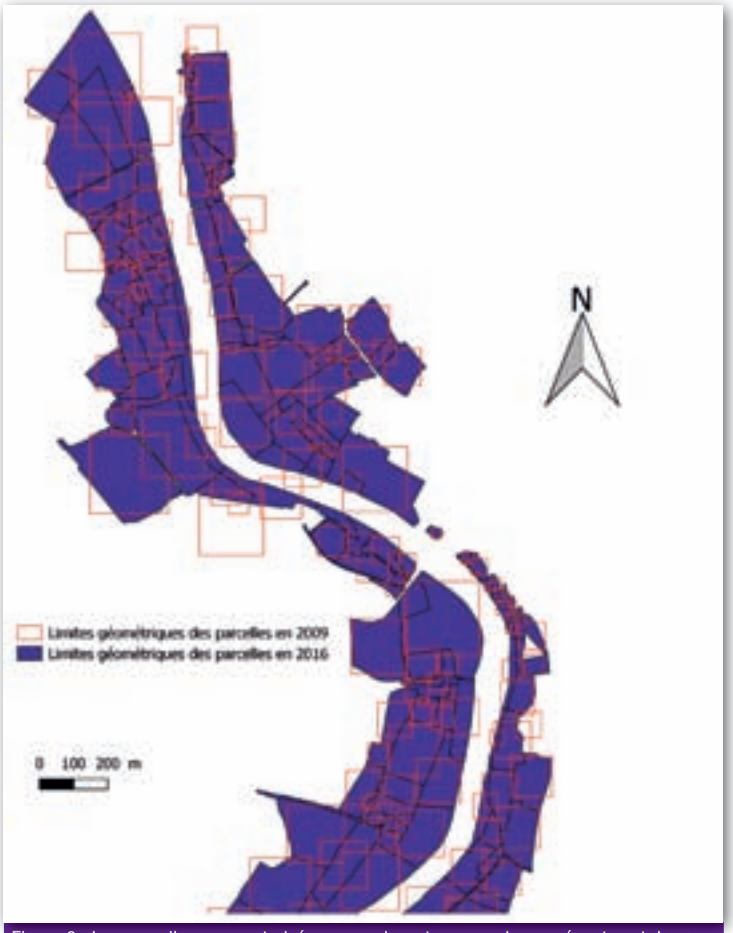


Figure 6 : Les parcelles non vectorisées apparaissent comme des carrés, et sont donc exclues d'emblée.

Une fois cette étape de préparation réalisée, la mise en place est identique pour les fichiers fonciers et pour le RPG. Dans un premier temps, pour chaque millésime étudié, on effectue une fusion des géométries des parcelles afin de connaître l'emprise globale de ces millésimes. Afin de pouvoir construire le parcellaire de l'évolution, il faut comprendre les relations entre les parcelles des deux années étudiées. Pour une parcelle précise, plusieurs cas peuvent se présenter :

- La parcelle est totalement disjointe de l'ensemble des parcelles de l'autre année considérée ;

- La parcelle « mord » sur une ou plusieurs des parcelles de l'autre année ;

- La parcelle est totalement incluse dans une ou plusieurs parcelles de l'autre année ou, à l'inverse, contient plusieurs parcelles de l'autre année.

L'ensemble des types de relation entre les parcelles des millésimes étudiées est illustré en figure 7.

Afin de réaliser la méthode *Space-Time Composite*, les différents types de relations entre les parcelles définies précédemment doivent être pris en compte. Dans un premier temps, les géométries des parcelles disjointes de celles de l'autre année doivent être identifiées. On calcule ensuite l'intersection spatiale entre les deux millésimes, ce qui produit les géométries des différentes intersections entre les parcelles. Afin de prendre en compte les parties des géométries du millésime traité disjointes de l'emprise de l'autre millésime, on effectue une différence entre la géométrie des parcelles d'un millésime et l'emprise de l'autre millésime. L'ensemble des géométries doivent être nettoyées des artefacts dus à l'intersection et à la différence. Les cinq géométries ainsi construites sont les composantes de la table « *parcelle_evolution* ». Cette table contient l'union de cinq tables correspondant à l'intersection des géométries des millésimes de 2009 et 2016, aux parcelles d'une année disjointes de celles de l'autre, et aux parties des parcelles d'un millésime intersectant partiellement celles de l'autre. Tout cela est illustré figure 8.

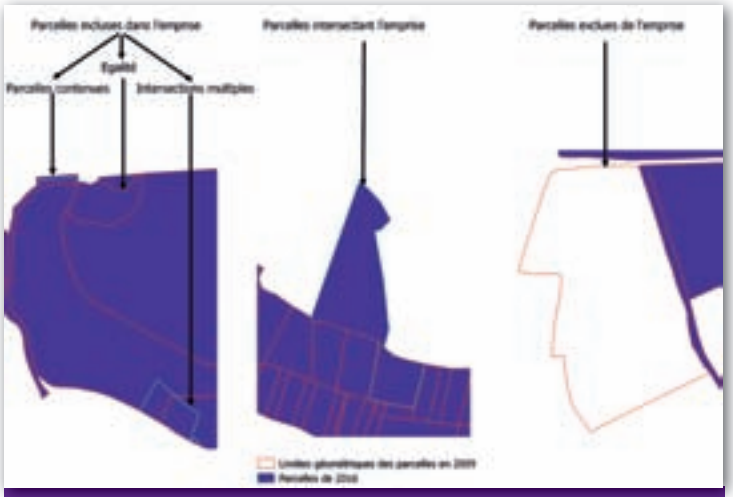


Figure 7 : Relations spatiales entre parcelles et emprise.

Une approche basée sur la fusion des données agricoles et cadastrales pour décrire l'évolution des zones d'études

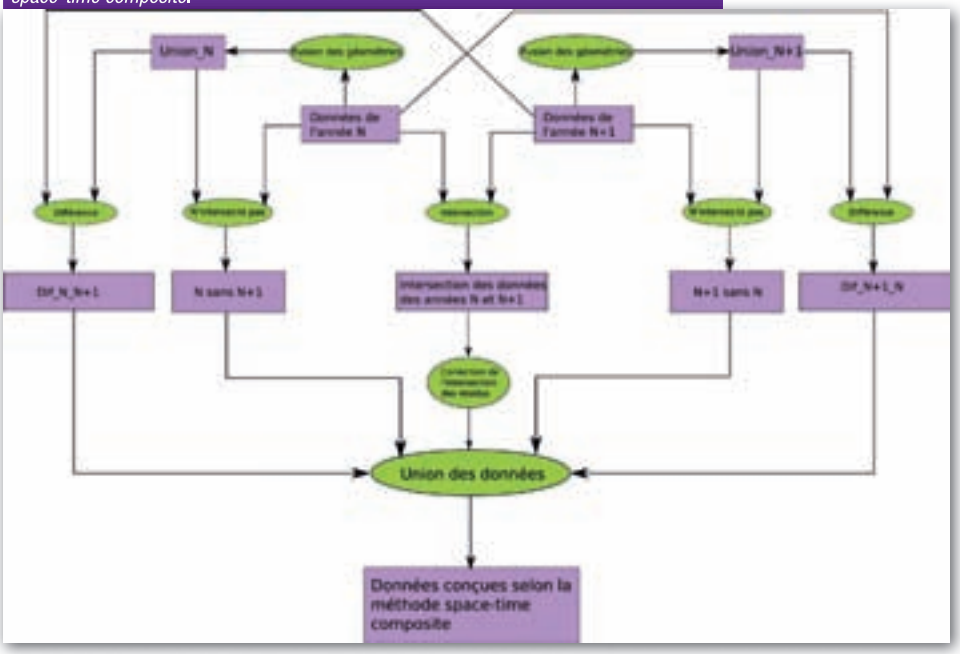
La fusion des informations des surfaces agricoles au parcellaire agricole se fait par le croisement entre le RPG et les fichiers fonciers, à l'aide d'une jointure spatiale entre les géométries des deux tables. Ce croisement associe à une parcelle cadastrale une donnée de l'occupation du sol sémantiquement plus précise et plus fiable que celle issue directement des fichiers fonciers. Ces croisements sont réalisés pour les millésimes 2010, 2014 et 2016 de la donnée du RPG. La méthode choisie consiste à associer un unique type de culture du RPG à une parcelle foncière. Pour cela, un seuil est mis en place afin que des reliquats issus de l'intersection spatiale n'influent pas sur le type déterminé. Ce seuil s'applique sur la proportion de la surface de l'intersection entre une parcelle agricole et une parcelle foncière par rapport à la surface totale de cette dernière. Il est fixé à 20 %, une valeur qui permet à la fois d'ignorer les artefacts, mais de aussi de conserver une bonne exhaustivité. L'application de ce seuil permet de diminuer le nombre d'intersections de 11 086 à 5 307. En cas d'intersections multiples de polygones du RPG avec des parcelles, l'intersection la plus étendue sera reportée comme culture majoritaire de la parcelle.

Ce processus entraîne donc une perte d'information concernant l'occupation du sol associée aux parcelles foncières. Afin de limiter la discontinuité des informations d'occupation du sol, on les complète avec les informations d'occupation du sol issues des fichiers fonciers. Comme la fiabilité de ces dernières est inversement proportionnelle à leur degré de précision, on utilisera une classification assez peu précise (parcelle agricole diverse, parcelles boisées). On se retrouvera donc avec une distinction basique entre les parcelles boisées, agricoles et non agricoles.

Analyse du territoire

Les bases de données, dont la création a été présentée précédemment, ont pour objectif la compréhension des territoires étudiés et de ses évolutions. Néanmoins, la véracité de l'ensemble de ces analyses statistiques est conditionnée par la fiabilité des données utilisées pour la création des bases de données utilisées.

Figure 8 : Procédure de création de la table *parcelle_evolution* en utilisant la méthode *space-time composite*.



La description des zones d'études se fait à l'échelle parcellaire avec les données disponibles à cette échelle, c'est-à-dire, les fichiers fonciers et le RPG.

Analyse croisée du parcellaire de l'ensemble de zones d'études entre 2009 et 2016

L'étude statistique des descripteurs géométriques du parcellaire permet de faire ressortir des tendances concernant son organisation. Cette analyse portera donc sur des données géométriques comme la surface et des indices de forme. Le tableau 7 décrit le parcellaire des différentes zones d'études pour les deux années étudiées.

On voit immédiatement que la zone des BVA est la plus étendue, alors que la vallée du Loir est la plus petite, quoique la vallée de l'Oudon et celle du Sarthon aient des superficies similaires à celles des BVA. Lorsque l'on s'intéresse aux géométries des parcelles, on remarque qu'en moyenne les parcelles des BVA sont moins vastes que celles des trois autres zones, qui, malgré des différences, restent comparables. L'écart-type nous donne une idée de l'homogénéité des valeurs des surfaces : les superficies des parcelles sont globalement regroupées autour de la valeur moyenne à plus ou moins trois hectares pour les zones de la vallée de l'Oudon, du Loir et des BVA et autour de huit hectares pour la zone « Sarthon-Alpes-Mancelles », qui est de loin la zone la plus hétérogène en termes de superficie. D'un point de vue de la forme, le parcellaire de l'ensemble des zones étudiées semble homogène, avec des parcelles plutôt allongées, d'une complexité modérée. Les critères étudiés précédemment nous permettent de lier les parcelles à une activité agricole. Les caractéristiques géométriques des parcelles et leur localisation dans les fonds de bassins versants sont des indices supplémentaires d'une agriculture extensive et/ou d'élevage, car les cultures céréalières nécessitent des parcelles d'une surface importante faciles d'accès pour des engins agricoles mécanisés.

Évolution du parcellaire de l'ensemble de zones d'études

L'étude croisée du parcellaire entre 2009 et 2016 doit permettre de constater des phénomènes d'évolutions ou de stagnation. Entre 2009 et 2016, le parcellaire de nos zones d'études n'a pas subi de modifications réellement importantes.

	Vallée de l'Oudon		BVA		Sarthon-Alpes-Mancelles		Vallée du Loir	
	2009	2016	2009	2016	2009	2016	2009	2016
Nombre de parcelles	6 825	6 398	10 121	10 134	5 372	5 233	4 799	4 732
Surface moyenne des parcelles (ha)	1,30	1,45	1,11	1,11	2,04	1,97	1,22	1,24
Surface minimale des parcelles (m²)	1,44	0,82	0,65	0,64	2,00	2,35	1,99	1,99
Surface maximale des parcelles (ha)	34,01	32,69	125,18	125,18	268,80	270,57	61,47	61,47
Écart-type sur la surface des parcelles (ha)	2,39	3,11	2,80	2,80	8,00	7,95	3,12	3,21
Valeur moyenne de l'indice de Graveluis	2,52	3,09	3,34	3,37	2,46	3,41	3,09	3,09
Valeur moyenne de l'indice fractale	1,40	1,44	1,45	1,45	1,39	1,47	1,44	1,44
Surface géométrique des zones	8 860,71	9 298,48	11 274,46	11 269,79	10 969,84	10 313,04	5 838,30	5 855,17

Tableau 7 : Profil du parcellaire en 2009 et 2016. Source : Fichiers fonciers du CEREMA DTER.

Le nombre de parcelles a diminué de façon significative dans la vallée de l'Oudon et dans une moindre mesure dans la vallée du Loir et du Sarthon. Dans le même temps, la zone des BVA n'a pas subi de modifications significatives. Toutefois, cette tendance d'augmentation de la surface moyenne des parcelles ne concerne que la vallée de l'Oudon. Cette vallée voit la superficie moyenne de ses parcelles augmenter tandis que celle des autres zones reste relativement stable. La diminution du nombre de parcelles s'explique par une évolution des parcelles situées en bordure des différentes zones d'études (divisions ou réunions), et par un changement d'activité agricole comme, par exemple, le passage d'une activité d'élevage à des cultures céréalières nécessitant plus d'espace.

Les propriétaires et des propriétés de l'ensemble des zones d'études

Les propriétaires possèdent des similitudes et des différences sur les zones d'études du projet *FARMaine*. Les propriétaires seront différenciés selon leur localisation, leur personnalité juridique, ou bien les droits qu'ils exercent. Ils possèdent des droits pouvant être divisés.

Il est également important de connaître l'éclatement de la propriété, ainsi que les superficies globales des propriétés, pour avoir une idée du poids des différents acteurs sur le territoire. Le tableau 8 permet de récapituler l'ensemble des descripteurs que l'on a pu calculer.

La grande majorité des propriétaires des parcelles qui composent nos zones d'études sont, selon les fichiers fonciers, des personnes physiques, notamment dans la vallée de l'Oudon et la vallée du Sarthon avec respectivement 88 % et 85 % d'individus. Les BVA possèdent la proportion de propriétaires particuliers la plus faible des zones d'études : 15 % des parcelles de cette zone appartiennent aux communes contre 9 % ailleurs. C'est aussi sur les BVA que l'on retrouve la plus grande proportion de personnes morales.

Les communes et les personnes morales privées sont fortement impliquées dans le territoire des BVA, peut-être en raison de la présence d'un site protégé par la Convention *Ramsar* dans les zones humides. Les propriétaires sont majoritairement domiciliés sur la commune où est localisée leur propriété. Ces dernières occupent environ six hectares pour les BVA et la vallée du Loir, environ neuf hectares pour la vallée du Sarthon et seize hectares pour la vallée de l'Oudon.

L'étude de la propriété sur les différentes zones d'étude fait donc ressortir des tendances globales. Près des deux tiers des droits de propriété sont démembrés sous le régime de l'indivision simple et le tiers restant ne présente pas de démembrement. Les droits de succession et de copropriété restent quant à eux anecdotiques. La plupart des propriétés de nos zones d'études ont une surface inférieure à 1,5 ha, mais représentent moins de 10 % de la surface totale de nos zones. Cette constatation implique que la surface des propriétés sur nos zones est fortement disparate : on compte de nombreux petits propriétaires, mais aussi de grands propriétaires influençant également la surface moyenne des propriétés.

Évolution de la situation des propriétaires et des propriétés sur toutes les zones d'études

Une diminution globale du nombre de comptes de propriétaires sur nos zones d'études peut être observée. Cette évolution s'accompagne d'une légère diminution de la surface moyenne des propriétés, uniquement dans la vallée de l'Oudon. Dans le même temps le nombre de petites parcelles (de superficie inférieure à 1,5 ha) diminue également, ce qui correspond à la tendance au regroupement des propriétés observée précédemment.

L'évolution des caractéristiques de la propriété entre ces deux dates n'est pas significative. De plus, la majorité des parcelles reste détenue par des propriétaires physiques. Toutefois, les personnes morales privées possèdent des proportions significatives des parcelles et sont majoritairement localisées dans la commune ou le département où ils sont domiciliés. En conclusion, il n'y a pas eu d'évolutions vraiment importantes des caractéristiques des propriétaires et de la propriété sur l'ensemble de nos zones pour la courte période étudiée.

L'occupation des parcelles agricoles déclarées sur l'ensemble des zones d'études

Situation en 2019

L'occupation du sol permet la caractérisation de l'activité agricole et du paysage sur le

Description des propriétaires		Vallée de l'Oudon		BVA		Sarthon-Alpes-Mancelles		Vallée du loir	
		2009	2016	2009	2016	2009	2016	2009	2016
	Nombre de compte de propriétaire	1 043	1 036	3 249	3 149	2 324	2 189	1 708	1 640
	Surface moyenne de la propriété (ha)	16,08	15,68	5,64	5,79	8,82	8,89	5,52	5,90
Qualité	Personne physique	87,780	85,245	70339	67,989	85,071	83,642	79,558	79,776
	Commune	5,509	6,486	16234	15,019	9,326	9,497	9,023	9,108
	Personnes morales privées	4,542	5,799	10315	12,858	3,351	4,051	7,522	6,953
	Autre	2,154	2,469	3,113	4,137	2,253	2,808	3,875	4,162
Localisation	Même commune	53,446	57,924	42,860	48,707	40,063	51,863	39,128	48,86
	Même département	28,814	19,147	34,922	31,074	31,066	26,448	35,132	25,36
	France métropolitaine	13,150	16,411	14,807	14,456	22,962	16,835	17,483	19,82
	Autre localisation	4,59	6,518	7,411	5,763	5,909	4,854	6,727	5,36
Démembrement et éclatement de la propriété	Indivision simple	66,431	66,44	66,431	65,73	63,121	62,58	63,670	64,12
	Pas de démembrement de la propriété	32,591	32,93	32,591	33,76	35,769	36,69	34,932	35,10
	Autre division	0,97	0,63	0,97	0,51	1,1	0,73	1,3	0,78
	Nombre de compte de propriétaire possédant des parcelles inférieures à 1,5 ha	547	533	1 703	1 657	1 020	1 020	1 057	993
	Proportion des comptes de propriétaires possédant des parcelles inférieures à 1,5 ha	52,44	51,45	52,42	52,62	46,30	46,60	62,89	60,55
	Surface totale des petites parcelles (ha)	165,81	161,00	889,92	854,06	482,82	475,39	478,81	441,03
	Proportion de la surface totale	1,87	1,73	7,89	7,58	4,40	4,61	8,20	7,53

Tableau 8 : Profil des propriétaires et des propriétés en 2009 et 2016. Source : Fichiers Fonciers du CEREMA DTER.

territoire étudié. La figure 9 est une illustration de la répartition des occupations du sol sur les périmètres de notre étude en 2009.

Une forte proportion des surfaces déclarées à la PAC sur l'ensemble des zones d'études correspond à des prairies permanentes et temporaires. Pour les zones des BVA et de la vallée du Loir, ce poste est majoritaire. On peut également noter que la culture du maïs grain et ensilage occupe une importante proportion des îlots d'exploitations déclarée à la PAC. Cette proportion est proche de 25 % pour la vallée du Sarthon et la vallée de l'Oudon, de 13 % pour la vallée du Loir et les BVA.

Ces types de culture sont fortement liés à l'élevage : l'ensilage est une méthode de conservation du fourrage par voie humide, utilisée pour nourrir le bétail. La zone de la vallée de l'Oudon est recouverte à près de 40 % de

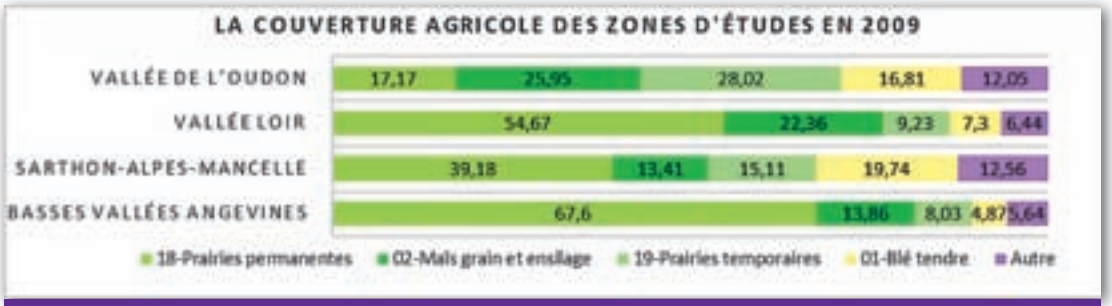


Figure 9 : Situation de l'occupation des parcelles agricoles en 2009. Source : RPG de l'IGN.

cultures diverses constituées par de grandes cultures majoritairement céréalières, et à 65 % si l'on considère également les surfaces en maïs grain ce qui en fait une zone clairement destinée aux grandes cultures, tout comme la zone de la vallée du Sarthon et des Alpes-Mancelles.

Situation en 2016

En 2016, une étude similaire à celle de 2009 a été menée sur les parcelles déclarées à la politique agricole commune. Cependant, la définition du RPG a changé en 2016, ce qui peut causer des évolutions entre 2009 et 2016 consécutives à ce changement de définition et non à une modification effective de la couverture du territoire. La figure 10 est une illustration de la répartition des occupations du sol sur les périmètres de notre étude en 2016.

Ainsi d'après le RPG 2016, la majorité des exploitations déclarées à la PAC dans les BVA sont des prairies permanentes ou temporaires, à l'instar de la situation connue en 2009, mais dans des proportions plus importantes. De la même façon, la culture du maïs grain et ensilage est la culture la plus répandue. La proportion du territoire occupée par des prairies permanentes en 2016 est vraiment importante. Cette constatation ne cadre pas avec les premières tendances mises en lumière dans la monographie du bassin versant de la Maine (Debray, 2017) qui montrent une diminution de la surface en prairie.

L'évolution de la couverture agricole sur l'ensemble des zones d'études

La couverture agricole, entre 2009 et 2016, voit donc une augmentation globale des prairies permanentes au détriment du blé tendre et en prairie temporaire pour les zones des BVA, de la vallée du Loir et de la vallée de l'Oudon. La répartition entre classification en prairie permanente et temporaire, même si elle est soumise à des règles précises, comme l'obligation d'avoir une rotation longue supérieure à six ans pour les prairies permanentes et inférieure à cinq ans pour les prairies temporaires, peut être influencée par une augmentation ou une diminution des aides de la PAC. Ces deux types d'occupations peuvent donc être confondus, car ils correspondent à des réalités terrain proches.

La superficie des prairies augmente partout entre 2009 et 2016, au détriment de la culture du maïs en grains et ensilage et de la culture du blé tendre, sauf dans les Alpes-mancelles et dans la vallée du Sarthon.

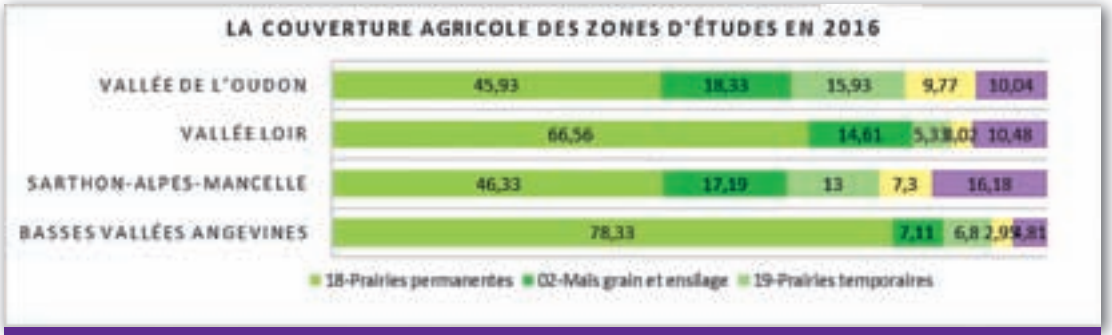


Figure 10 : Situation de l'occupation des parcelles agricoles en 2016. Source : RPG de l'IGN.

Cette constatation ne concorde pas avec les tendances observées sur l'ensemble du bassin versant, pas plus que sur les fonds de bassin versant (Debraye, 2017), qui pointent vers une diminution des surfaces en herbe. Il est possible d'expliquer ces incohérences par la prise en compte de surfaces non agricoles dans les millésimes du RPG publiés après 2015. On peut vérifier cette hypothèse à l'aide du registre parcellaire graphique de l'année 2014, dernière année avant la modification de définition du RPG. La figure 11 est une illustration de la répartition des occupations du sol sur les périmètres de notre étude en 2014.

On constate des différences minimes entre l'occupation du sol entre 2010 et 2014, beaucoup moins importantes que celles observées entre 2010 et 2016. On peut donc penser que ces dernières sont issues des modifications dans la définition du RPG, et non à des évolutions du territoire. Entre 2010 et 2014, la proportion des surfaces occupées par des prairies permanentes et temporaires pour les BVA et pour la vallée de l'Oudon a légèrement augmenté au détriment des cultures céréalières tandis que les deux autres zones voient une diminution des prairies au profit des cultures céréalières.

L'occupation du sol répartie par type de propriétaire sur les BVA

Le reste de l'étude portera sur les BVA. Le territoire des BVA se situe au Nord de l'agglomération d'Angers, à la confluence entre la Mayenne, la Sarthe et le Loir. Son emprise est presque totalement située dans le département du Maine-et-Loire.

Analyse croisée de la répartition de l'occupation du sol par type de propriétaire sur les BVA entre 2009 et 2016

La connaissance du type de couverture agricole associé au type de propriétaires permet d'analyser les stratégies de constitution de réserves foncières par les propriétaires publics, mais aussi l'emprise des différents acteurs sur leur territoire. Le tableau 9 qui suit décrit ces BVA.

On peut observer certaines tendances permettant de lier des types de couvertures agricoles avec le propriétaire de la parcelle. La grande majorité des parcelles détenues par des personnes publiques sont occupées par des prairies temporaires ou permanentes, ou des cultures de maïs en grain et ensilage. Ces types de couvertures agricoles vont de pair avec l'élevage extensif pour la nourriture du bétail. Ceci démontre la volonté des pouvoirs publics d'inciter au maintien et au développement des activités d'élevage extensif par la conservation des espaces en herbe et des cultures fourragères. Les personnes privées, c'est-à-dire les personnes physiques et les personnes morales privées, possèdent en majorité des parcelles couvertes par des prairies, des cultures fourragères mais aussi par de grandes cultures céréalières, qui ne sont pas directement utilisées pour l'alimentation animale, comme le blé tendre et diverses autres cultures céréalières. Les personnes morales privées sont assimilables à des exploitations agricoles sous forme de société (EARL ou GAEC) ou à des exploitations individuelles.

Les tendances de 2009 et 2016 confirment ce constat. Les propriétés déclarées à la politique agricole commune sont majoritairement détenues par des personnes privées et occupées par des prairies permanentes et temporaires. Les propriétés publiques sont quant à elles dédiées presque exclusivement aux prairies et cultures utilisées pour l'élevage.

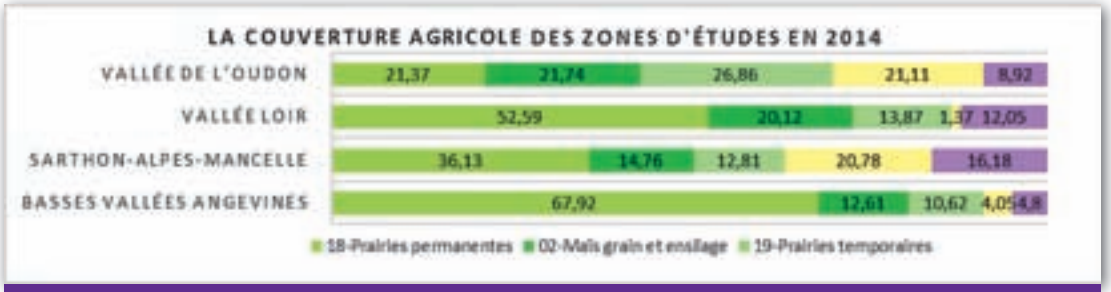


Figure 11 : Situation de l'occupation des parcelles agricoles en 2014. Source : RPG de l'IGN.

Figure 12 : Localisation de la zone des BVA (Sources : *FARMaine, OpenStreetMap*).

Évolution de la répartition de l'occupation du sol par type de propriétaire sur les BVA entre 2009 et 2016

L'étude temporelle de ce critère ne montre pas d'évolution entre 2010 et 2016. On distingue une évolution importante de la proportion des types de cultures agricoles pour les différents types de propriétaires. Le croisement de l'étude de la répartition de l'occupation du sol pour les millésimes du RPG de 2010 et 2014 n'a pas montré de modifications significatives dans la répartition des types d'occupation du sol entre les types de propriétaires. Cela nous permet de dire qu'entre 2010 et 2016, personnes physiques et morales privées possèdent des prairies. Toutefois, à l'inverse des autres acteurs du territoire, ils possèdent une importante proportion de cultures céréalières. Au contraire, les personnes publiques, telles que l'Etat, les établissements publics, les départements et les communes, entre autres, possèdent majoritairement des parcelles qui sont occupées par des prairies temporaires ou permanentes et des cultures comme les maïs grain et ensilage qui sont généralement utilisées pour les activités d'élevage.

La couverture des politiques publiques environnementales sur les parcelles des BVA

Les politiques publiques environnementales spatialisées couvrent toute la zone des BVA. Lors d'une première étude des données disponibles, on a constaté que la majorité des politiques précédemment recensées ne sont rentrées en vigueur qu'après 2009. Le croisement du parcellaire avec la donnée des politiques publiques environnementales permet de connaître la proportion des parcelles des BVA touchées par chaque politique publique spatialisée. La situation en 2009 est résumée dans le tableau 10.

Les MAET ne touchent pas l'ensemble de la zone des BVA. Elles sont majoritairement localisées sur les îlots d'exploitation du RPG des rives du Loir et de la Sarthe. Les objectifs de ces mesures sont la conservation des pâturages et, par la mise en place de régulations de fauche, des prairies permanentes. Entre 2010 et 2013, un certain nombre de parcelles supplémentaires ont été affectées par des MAET.

Type de propriétaires présents sur les BVA	Cultures présentes sur les BVA issues du RPG	Proportion de ces cultures en 2009	Proportion de ces cultures en 2014	Proportion de ces cultures en 2016
Personne physique	**Prairies permanentes**	**73**	**74**	**77**
	Maïs grain et ensilage	11	9	7
	Prairies temporaires	7	9	8
	Autres cultures	9	8	8
Commune	**Prairies permanentes**	**97**	**97**	**98**
	Prairies temporaires	2	2	1
	Maïs grain et ensilage	1	1	1
Personne morale privée	Prairies permanentes	82	82	86
	Maïs grain et ensilage	7	5	4
	Prairies temporaires	6	8	5
	Autres cultures	5	5	5
Département	**Prairies permanentes**	**53**	**50**	**72**
	Maïs grain et ensilage	47	47	28
	Autres cultures		3	
Établissement public	Prairies permanentes	53	78	52
	Légumes-fleurs	32		17
	Maïs grain et ensilage	15	9	19
	Prairies temporaires		**13**	**12**
Personne morale privée et personne physique	Prairies permanentes	83	80	100
	Maïs grain et ensilage	9	11	
	Blé tendre	8	9	
État	**Prairies permanentes**	**98**	**97**	**98**
	Orge	2	3	2
Copropriété	**Prairies permanentes**	**78**	**78**	**78**
	Maïs grain et ensilage	22	22	19
	Gel			3
État et établissement public	Prairies permanentes	100		
Commune et établissement public	Prairies permanentes	100	100	
Personnes privées et publiques	Prairies permanentes		100	100
Département et commune	Prairies permanentes		100	100

Tableau 9 : Situation de l'occupation des parcelles agricoles par type de propriétaire en 2009, 2014 et 2016.
Source : Fichier Fonciers du CEREMA DTER et RPG de l'IGN.

En 2016, les BVA sont concernées par huit politiques publiques distinctes. Le tableau 11 reprend les différents types de politiques publiques, leurs vocations et leurs effets ainsi que le nombre et la proportion des parcelles sur lesquelles elles s'appliquent. Ces derniers sont obtenus par jointure spatiale entre la table des politiques publiques environnementales et le parcellaire cadastral.

Parmi ces différentes politiques publiques, seules les MAEC sont vraiment adaptées à une étude à l'échelle parcellaire. On peut constater que les MAEC et les MAET se recouvrent.

Construction des typologies des parcelles agricoles sur les BVA

Nous définissons maintenant des typologies à l'aide d'un ensemble de descripteurs et d'indicateurs de la géométrie, du foncier ou encore de l'activité agricole.

Type	Vocation	Effet	Nombre de parcelles	Proportion des parcelles des BVA
MAET	Politiques agro-environnementales	Incitation financière	2 764	27 %
PPRI	Risque inondation	Contrainte	1 056	10 %

Tableau 10 : Couverture des politiques publiques en 2009. Sources : DDT 49/FARMaine.

Type	Vocation	Effet	Nombre de parcelles	Proportion des parcelles des BVA
Zones vulnérables aux nitrates	Ressource en eau et milieux aquatiques	Contrainte	10 134	100 %
ZAR	Ressource en eau et milieux aquatiques	Contrainte	178	2 %
Contrats territoriaux	Ressource en eau et milieux aquatiques	Incitation financière	9 642	95 %
SAGE	Ressource en eau et milieux aquatiques	Contrainte	9 710	96 %
PPRI	Risque inondation	Contrainte	9 090	90 %
MAEC	Politiques agro-environnementales	Incitation financière	3 766	37 %
Espaces protégés	Biodiversité et milieux	Contrainte	9 455	93 %
SRCE (Trame verte et bleue)	Biodiversité et milieux	Contrainte	9 339	92 %

Tableau 11 : Couverture des politiques publiques en 2016. Sources : RPG/DDT 49/ FARMaine.

La classification des parcelles se fonde sur des descripteurs définissant les caractéristiques géométriques, foncières ou bien relatives aux activités agricoles des parcelles. Il peut s'agir d'indices calculés ou bien d'informations directement issues des bases de données créées précédemment. La figure 13 illustre l'ensemble des variables définissant la géométrie, les informations foncières et agricoles des parcelles utilisées pour la classification en 2009 et en 2016.

La géométrie des parcelles est donc définie par un ensemble de critères tels que la surface ou le périmètre, mais aussi par sa compacité et sa complexité. Ces indicateurs sont des variables quantitatives qu'il faudra transformer en variables qualitatives afin de pouvoir les utiliser pour la classification. Les descripteurs du foncier permettent, pour chaque parcelle, de définir le caractère de son propriétaire ainsi que les droits qu'il exerce sur sa parcelle. Les champs du type de droit, de la localisation, du type de propriétaires ainsi que les descripteurs du bâti et de la situation fiscale sont directement utilisés depuis les données foncières des bases de données sans traitement préalable. Seul le nombre de propriétaires provient du décompte des propriétaires distincts d'un même compte communal de propriétaire. Les descripteurs de l'activité agricole résultent du croisement du RPG, constitué des exploitations agricoles déclarées à la PAC, avec les fichiers fonciers.

Les descripteurs et indicateurs définis dans la partie précédente ne sont pas nécessairement utilisables pour la réalisation d'une typologie efficace. L'efficacité d'un descripteur est définie comme son pouvoir catégorisant. La figure 14 est un exemple de la répartition des individus pour une variable très catégorisante utilisée dans le calcul de l'ACM : les individus sont répartis distinctement entre les modalités de cette variable.

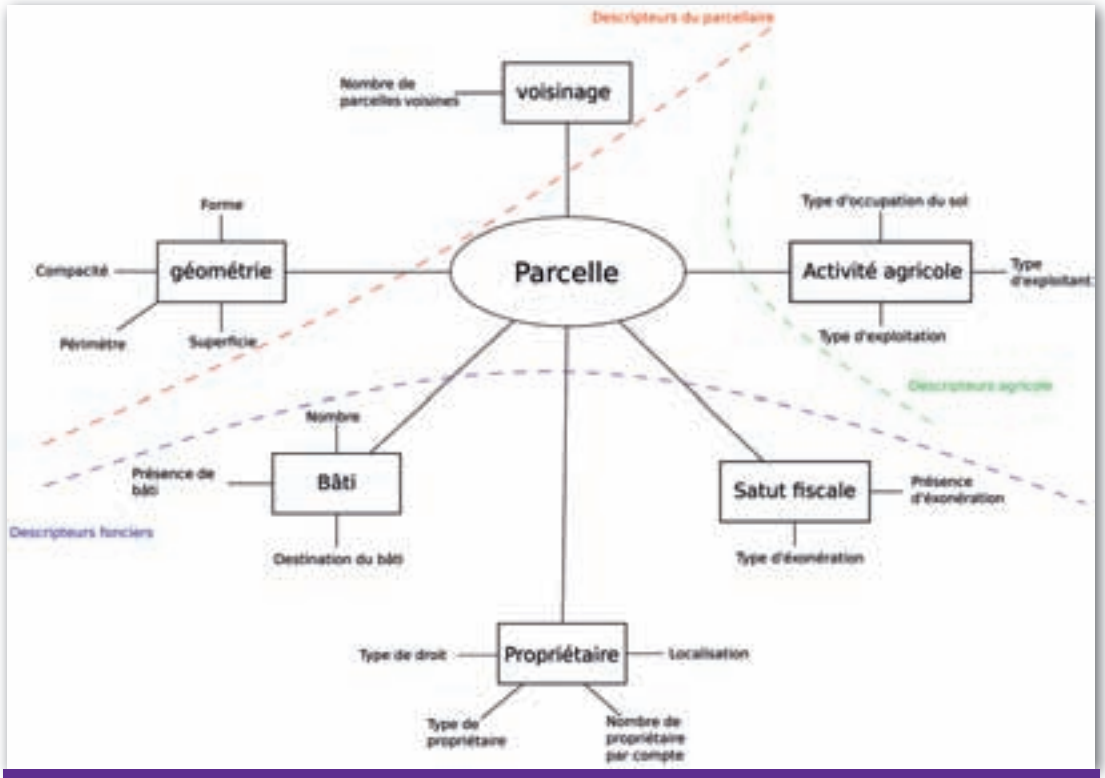


Figure 13 : Descripteurs des parcelles agricoles pour les années 2009 et 2016 (d'après le PPP Mise en œuvre d'une typologie des espaces dans la Sarthe basée sur une analyse du parcellaire cadastral, 2015).

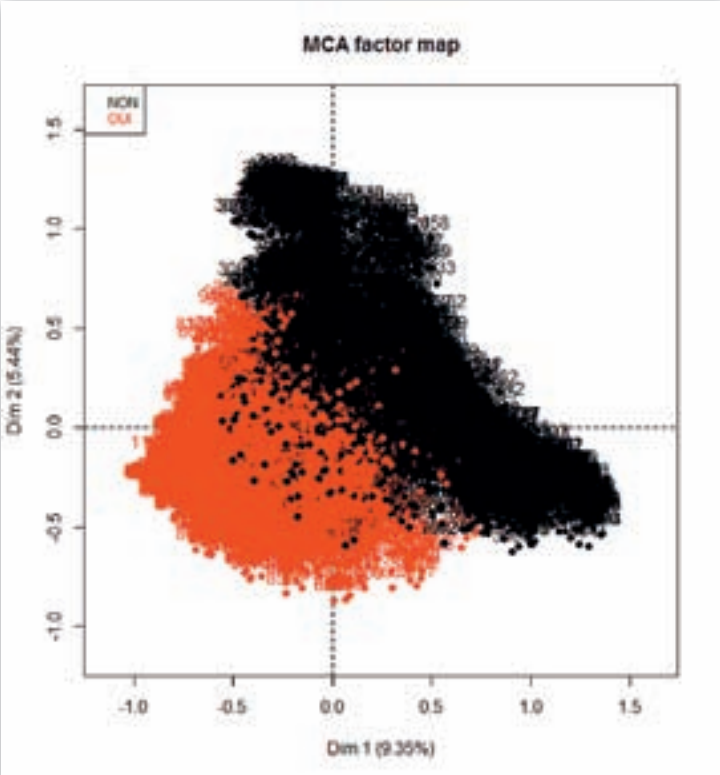


Figure 14 : Exemple d'ACM.

La réalisation d'une analyse en composantes multiples préalable permet d'identifier les descripteurs les plus efficaces. Ces descripteurs sont essentiellement des indicateurs de la géométrie, du foncier et de l'activité agricole qui sont issus des fichiers fonciers et de la fusion entre le RPG et le parcellaire foncier. Ces variables retenues pour réaliser les classifications sont regroupées dans le tableau 12.

La figure 15 permet donc de connaître les liaisons entre les différentes variables de l'analyse et leur contribution à ces dimensions.

Présentation des typologies des parcelles

Une fois que la matrice des distances entre les différentes variables est calculée par le biais

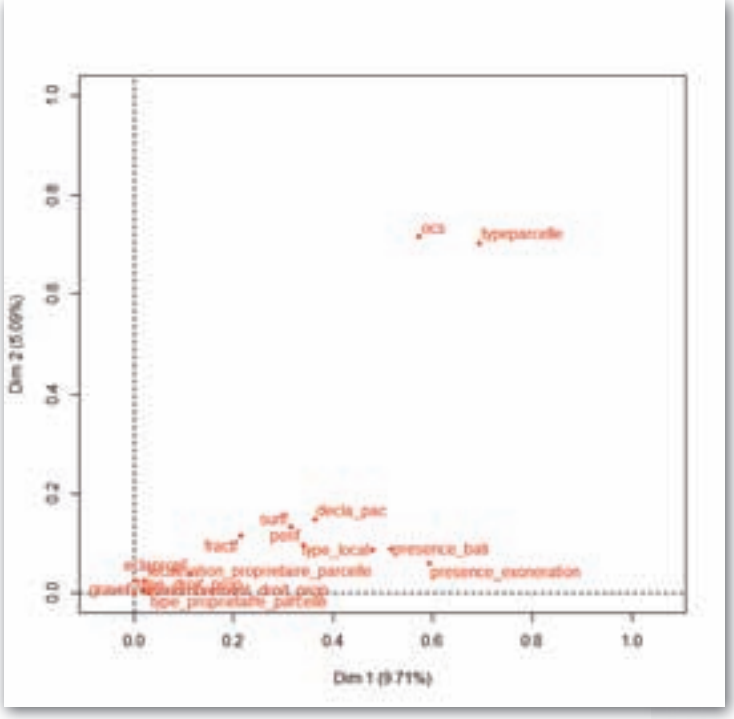
Type des variables	Variables
Géométriques	Surface
	Périmètre
	Indice fractale
	Indice de Gravelius
Foncières	Type de propriétaires
	Localisation du propriétaire
	Type de droits
	Type de démembrement des droits
	Type de local
	Exonération fiscale
Activités agricoles	Occupation du sol
	Déclaration à la PAC

Tableau 12 : Variables utilisées pour la classification des parcelles.

de l'analyse à composante multiple, on passe à la classification ascendante hiérarchique, qui produit un « dendrogramme » dont la découpe permettra de réaliser la classification. La figure 16 montre le dendrogramme associé à la classification réalisée pour l'année 2016.

La typologie obtenue permet de regrouper l'ensemble des parcelles étudiées dans trois classes distinctes. Elles sont définies par le logiciel *R* afin que les classes soient les plus séparées possibles. Les caractéristiques définissant ces classes permettent par la même occasion de leur donner une signification par rapport aux caractéristiques du territoire.

Figure 15 : Graphe des descripteurs des parcelles agricoles pour le millésime 2016.



La première classe représente, en 2009, soit des grandes prairies et espaces agricoles qui sont en majorité déclarées à la politique agricole commune, soit des parcelles forestières, tandis qu'en 2016, elle ne représente plus que les prairies permanentes déclarées à la PAC. La différence majeure entre ces classes est donc le critère de l'occupation du sol. La seconde classe représente en 2009 comme en 2016 des parcelles agricoles et forestières. Cependant, en 2009, on retrouve des prairies permanentes parmi ces parcelles, ce qui n'est pas le cas en 2016.

La dernière classe est définie de la même façon pour les typologies réalisées en 2009 et 2016. Elle représente les parcelles non agricoles. En effet les parcelles qu'elle regroupe ne sont ni agricoles ni forestières mais assez petites, complexes et, pour une forte proportion d'entre elles, bâties.

Ces deux classifications sont donc différentes notamment par la définition des classes, qui pour l'année 2009 se fait plus par une distinction sur la forme des parcelles, tandis qu'en 2016 la distinction se fait majoritairement sur l'occupation du sol.

La figure 17 représente la proportion de chaque classe pour la zone d'études des BVA.

La figure 17 montre que près de la moitié des parcelles des BVA pour l'année 2016 sont des prairies subventionnées par la PAC, et un tiers d'entre elles sont des parcelles agricoles. Globalement, il n'y a qu'une seule classe

parmi les trois qui reste stable entre 2009 et 2016 : la classe des parcelles non agricoles.

Construction d'une typologie de l'évolution des parcelles agricoles

La réalisation de la typologie de l'évolution se fonde sur le croisement des critères définis précédemment pour les années 2009 et 2016. Cette typologie est réalisée à partir de la base de données de l'évolution, qui ne couvre pas l'ensemble des parcelles des zones d'études. Cette restriction n'influe pas sur les résultats.

Identification des indicateurs de l'évolution des parcelles agricoles

Le travail d'identification a déjà été réalisé, mais, tous les critères ne sont pas compatibles avec la création des variables utilisables pour une classification de l'évolution des parcelles. Ces variables et les différentes modalités associées sont regroupées dans le tableau 13.

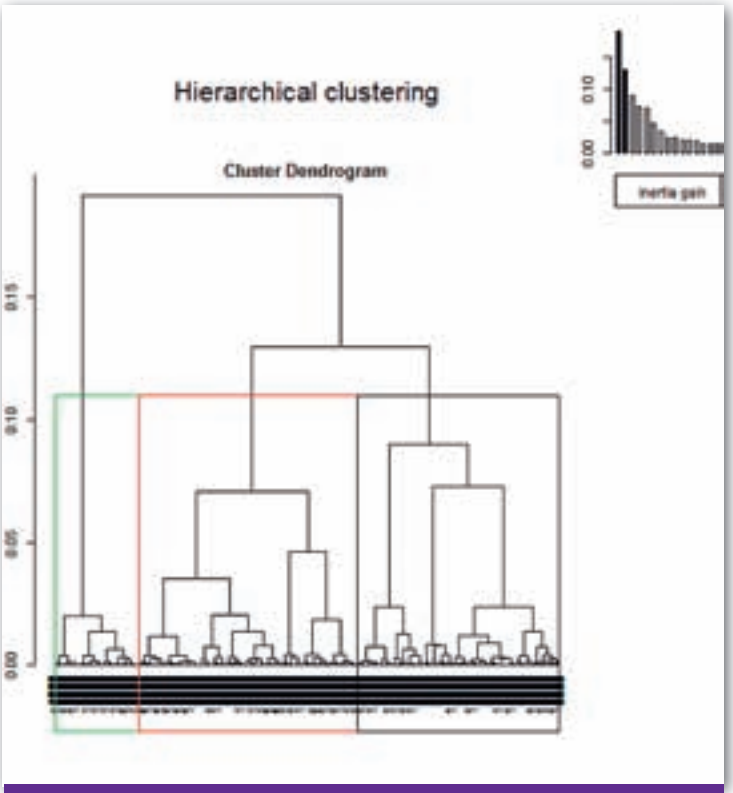
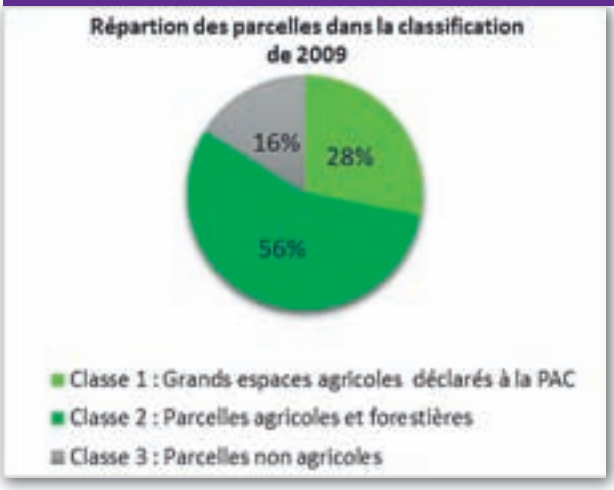
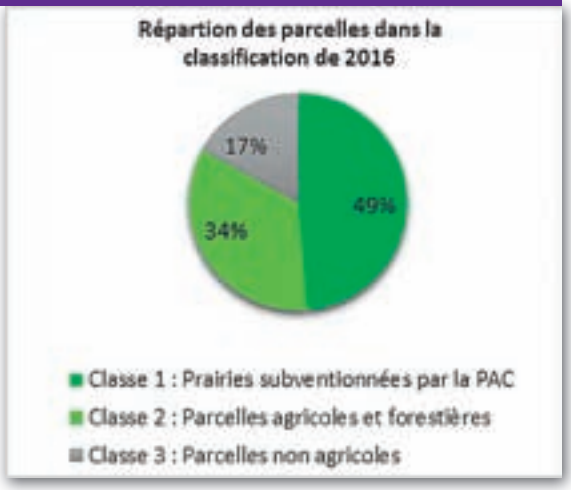


Figure 16 : Dendrogramme associé à la classification hiérarchique.

Figure 17a/b : Répartition des parcelles dans les classifications réalisées pour 2009 et 2016.





Type des variables	Variables	Modalités
Géométriques	Évolution de la géométrie de la parcelle	Division, Réunion ou Pas de changement
Foncières	Changement du propriétaire	Oui ou Non
	Évolution du type de propriétaires	Oui ou Non
	Succession des types de propriétaires	Type_2009 – Type_2016
	Évolution de la localisation du propriétaire	Oui ou Non
	Succession des localisations des propriétaires	Localisation_2009 – Localisation_2016
	Évolution du nombre de bâtiments	Oui ou Non
	Évolution de l'exonération fiscale	Oui ou Non
Activités agricoles	Succession de l'occupation du sol	Sol_2009 – Sol_2016
	Évolution de la déclaration à la PAC	Oui ou Non

Tableau 13 : Variables utilisées pour la classification des parcelles.

Ces indicateurs sont calculés à l'aide de la base de données de l'évolution en utilisant les champs du type et de la localisation des propriétaires, du nombre de bâtiments présents ainsi que l'occupation du sol. Les critères géométriques permettent de définir des types d'évolution spatiale des parcelles.

Présentation de la typologie de l'évolution des parcelles agricoles

La typologie de l'évolution est réalisée de la même façon que les typologies précédentes. Elle est composée de six classes distinctes. Les caractéristiques définissant ces classes permettent de leur attribuer une valeur sémantique. La classe 1 est la classe des prairies permanentes stables. Elle rassemble des parcelles qui ne subissent globalement ni évolution géométrique, ni changement d'occupation du sol, ni modification foncière. La classe 2 représente les parcelles non agricoles stables. La classe 3 représente les parcelles qui mutent de parcelles agricoles diverses en prairies permanentes et qui, par conséquent, voient des processus d'adhésion ou de prolongation de la participation à la politique agricole commune sans que le foncier ne soit touché. La classe 4 représente les parcelles forestières ne subissant aucune évolution. La classe 5 regroupe les parcelles qui ont subi un processus de réunion. Enfin, la classe 6 rassemble les parcelles qui ont subi un changement de propriétaire. La figure 18 représente la proportion de chaque classe pour la zone d'études des BVA.

Les BVA sont donc composées en majorité par des parcelles ne subissant aucune évolution que ces parcelles soient agricoles, non agricoles ou encore forestières. Cependant, 6 % des parcelles de nos zones d'études sont tout de même passées d'une occupation agricole diverse à des prairies permanentes.

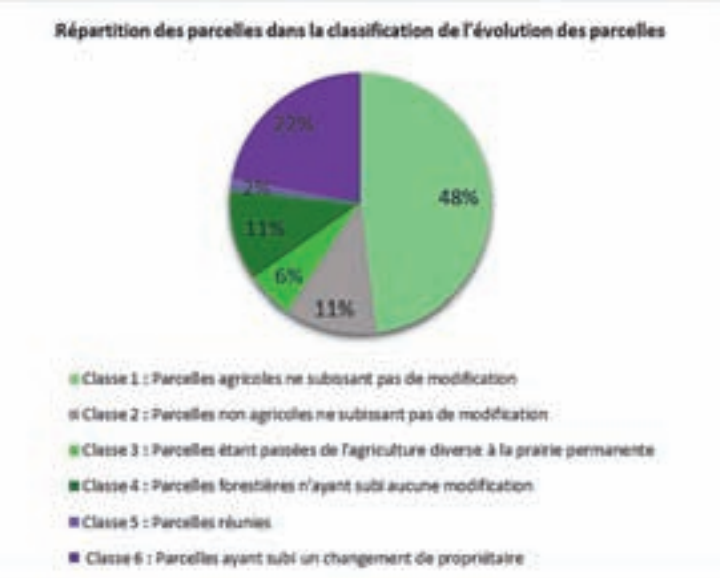


Figure 18 : Répartition des parcelles dans la classification.

Mise en relation des typologies avec les politiques publiques environnementales

Des types de parcelle en rapport avec les politiques publiques environnementales

Les politiques publiques visent à protéger la biodiversité, la ressource en eau des activités humaines mais aussi les populations des différents risques environnementaux (inondation). L'étendue d'application de certaines politiques empêche de relier un type de parcelle à leur mise en place, notamment pour l'application des zones vulnérables aux nitrates. Seules les MAEC sont intéressantes, car elles ne s'appliquent qu'à une partie des parcelles de notre zones d'étude. Le tableau 14 qui suit illustre les classes de parcelles touchées par ces politiques en 2016.

Cette répartition montre que les parcelles classées comme des prairies subventionnées par la politique agricole commune sont les parcelles qui sont le plus concernées par les MAEC, alors que les parcelles non agricoles ne le sont que peu.

Des types d'évolution de parcelles et politiques publiques environnementales

Les politiques publiques environnementales entraînent-elles des modifications prévisibles dans la composition géométrique, foncière et agricole des parcelles ? Sans doute, mais toutes les évolutions repérées ne seront pas forcément la conséquence directe de la mise en place de ces politiques. Pour tenter d'y voir plus clair, nous allons effectuer une jointure spatiale entre les mesures agro-environnementales et le parcellaire classifié. Nous allons obtenir la répartition des différents types de parcelles en fonction de la présence ou non de mesures agro-environnementales. Le tableau 15 qui suit présente donc cette analyse pour les MAET et MAEC.

Dans le même temps, les parcelles qui ne sont pas touchées par des MAET ou des MAEC ont des évolutions qui sont décrites dans le tableau 16.

Les mesures agro-environnementales étudiées touchent en majorité des parcelles ne subissant aucune évolution entre 2009 et 2016. Si l'on analyse plus finement la répartition du tableau 15, on retrouve logiquement que la classe des prairies permanentes stables est la plus représentée pour l'ensemble des MAET et des MAEC conformément à la prédominance de cette classe sur l'ensemble du territoire étudié, mais aussi à la vocation de ces mesures. De la même façon, la forte représentation du type « changement de propriétaire » dans les parcelles concernées par les politiques publiques n'est pas nécessairement corrélée à la présence de ces mesures. En effet la mutation de propriété fait partie des évolutions normales d'un territoire. Toutefois, les MAET et MAEC touchent de nombreuses parcelles qui, entre 2009 et 2016, sont passées d'agricoles diverses à prairies permanentes. Ce type d'évolution représente 9 % des parcelles touchées par les MAEC et 4 % pour les MAET.

Lorsque l'on met en relation les constatations précédentes avec la répartition des parcelles qui ne sont pas touchées par les mesures agro-environnementales, on constate des différences notoires. La part des prairies permanentes stables, entre 2009 et 2016, est beaucoup plus importante pour les parcelles touchées par des mesures agro-environnementales (64 % et 68 %) que pour celle qui ne le sont pas (48 %). Néanmoins, la proportion des parcelles ayant subi une transformation en prairies permanentes est, quant à

Type	Classification	Nombre de parcelles	Proportion
MAEC	Classe 1 : prairies subventionnées par la PAC	2 963	78 %
	Classe 2 : parcelles agricoles et forestières	630	17 %
	Classe 3 : parcelles non agricoles	171	5 %

Tableau 14 : Répartition des types de parcelles par politiques publiques environnementales. Sources : DTT 49 et classification.

Type	Classification	Nombre de parcelles	Proportion
MAEC	Classe 1 : Prairies permanentes stables	2 230	64 %
	Classe 6 : Changement de propriétaire	617	18 %
	Classe 3 : Évolution de parcelles agricoles diverses en prairies permanentes	319	9 %
	Classe 4 : Parcelles forestières ne subissant aucune évolution	244	7 %
	Classe 2 : Parcelles non agricoles stables	85	1 %
	Classe 5 : Parcelles réunies	12	1 %
MAET	Classe 1 : Prairies permanentes stables	2 328	68 %
	Classe 6 : Changement de propriétaire	640	19 %
	Classe 4 : Parcelle forestière ne subissant aucune évolution	206	6 %
	Classe 3 : Évolution de parcelles agricoles diverses en prairies permanentes	154	4 %
	Classe 2 : Parcelles non agricoles stables	97	2 %
	Classe 5 : Parcelles réunies	15	1 %

Tableau 15 : Répartition des types d'évolution par type de MAE. Sources : DDT 49 et classification.

Type	Classification	Nombre de parcelles	Proportion
Pas de MAEC ou de MAET	Classe 1 : Prairies permanentes stables	4 122	48 %
	Classe 6 : Changement de propriétaire	1 889	22 %
	Classe 2 : Parcelles non agricoles stables	977	11 %
	Classe 4 : Parcelle forestière ne subissant aucune évolution	969	11 %
	Classe 3 : Évolution de parcelles agricoles diverses en prairies permanentes	506	7 %
	Classe 5 : Parcelles réunies	99	1 %

Tableau 16 : Répartition des types d'évolution pour les parcelles qui ne sont pas touchées par les MAE. Sources : DDT 49 et classification.

elle, similaire pour les parcelles soumises à MAE que pour celles qui ne le sont pas.

La stabilité des prairies permanentes implique une certaine influence de ces politiques publiques sur l'évolution du territoire, dont on ne peut pas réellement quantifier le niveau. Cela semble confirmer l'impact des MAET et MAEC sur les BVA. Toutefois, l'ensemble de ces résultats sont obtenus à l'aide de données qui ne sont pas parfaites et peuvent donc biaiser certains de nos résultats. De la même façon, la courte période de notre étude n'est pas nécessairement suffisante pour constater des évolutions significatives du territoire.

Conclusion et perspective

Le travail réalisé a, dans un premier temps, débouché sur la création de bases de données décrivant le territoire à l'échelle parcellaire entre 2009 et 2016, en combinant des données foncières des fichiers fonciers,

des données agricoles provenant du RPG et des données concernant les politiques publiques environnementales qui sont transmis par les différents services de l'État. Ces bases de données concernent quatre zones d'études : les basses vallées angevines (BVA), la vallée du Loir, la vallée de l'Oudon et enfin la zone constituée par la vallée du Sarthon et des Alpes-Mancelles. Leur constitution a cependant été émaillée de nombreux problèmes d'utilisation des données ayant subi des évolutions structurelles d'implémentation (notamment pour le RPG et les fichiers fonciers qui voient une évolution importante de leur emprise).

Dans un second temps, ces bases de données ont permis de mettre en place des analyses statistiques synchroniques et diachroniques, mais aussi des typologies des parcelles. Les analyses synchroniques de ces territoires montrent que les BVA sont donc majoritairement occupées par des prairies permanentes, dont les propriétaires sont locaux et donc très impliqués sur le territoire, donc axés principalement sur l'élevage. L'analyse diachronique entre 2009 et 2016 a permis de montrer que les caractéristiques foncières, géométriques et agricoles des BVA sont relativement stables. D'un point de vue normatif, cette zone est couverte par de nombreuses politiques. Les typologies des parcelles montrent qu'elles occupent un territoire relativement homogène. La typologie de l'évolution du territoire selon des critères fonciers, géométriques et agricoles classe les BVA comme un territoire assez stable entre 2009 et 2016. Les BVA subissent quelques évolutions agricoles (transformation de parcelles en prairies permanentes) et foncières (changement de propriétaires). Il est alors possible de relier les évolutions agricoles à la présence de mesures agro-environnementales, en sachant que le principal objectif de ces mesures sur les BVA est la sauvegarde et le développement des prairies permanentes.

L'étude menée a donc permis de comprendre l'effet des mesures agro-environnementales sur un territoire à l'échelle parcellaire entre 2009 et 2016. Il est clairement possible d'améliorer ce processus. Lorsque l'on s'intéresse à la construction de la base de données, une amélioration du RPG de l'année 2009 (prise en compte des surfaces non agricoles) permettrait une utilisation du RPG 2016 pour la construction de la base de données, et donc une meilleure cohérence de notre étude. De plus, il est possible d'affiner la géométrie des fichiers fonciers de 2009 en vectorisant les parcelles manquantes. D'un point de vue analytique, l'anonymisation des informations des fichiers fonciers et du RPG limite la connaissance des activités économiques liées à l'agriculture.

Si l'étude réalisée est complète sur les BVA, il est cependant impossible de compléter cette étude ni pour la vallée du Loir, ni pour la vallée de l'Oudon, ni pour la zone constituée par la vallée du Sarthon et des Alpes-Mancelles, car les données des MAET et MAEC localisées à la parcelle ne sont disponibles qu'auprès des directions départementales des territoires (DDT). Il sera donc nécessaire de les contacter individuellement pour pouvoir réaliser ces analyses pour les autres zones d'études. □

Bibliographie

- Zayrit K. : *Fusion de données imparfaites dans un système d'information agro-environnemental.* INFORSID 2012, p. 611-618.
- Perret J., De Runz C., Rodier X., Varet-Vitu A., Dumenieu B., SalignyL., Cristofoli P., Lefebvre B., Desjardin E. : *Études des dynamiques de l'occupation du sol. Questionnements, simplifications et limites. Revue internationale de géomatique*, Volume 25, n° 3/2015, p. 301-330.
- Tiesken K.F., Shaw B.J., Haer T., Schulp C.J.E., Verburger P.H. : *Cultural landscapes of the future: using agent-based modeling to discuss and develop the use and management of the cultural landscape of South Devon. Landscape Ecologie*, Volume 32, 2017, p. 2113-2132.
- Debraye A. : *Le bassin versant de la Maine : quelles spécificités agricoles et environnementale ?* Rapport de recherche n° 2, 2017, p. 124.
- Cantelaube P., Carles M. : *Le registre parcellaire graphique : des données géographiques pour décrire la couverture du sol agricole.* 2014, p. 58-64.

- Pruvost A.-S., Bordes G., Journet M., Caumont V, Bocquet M., Douché J. : *Fiches méthodes pour l'utilisation des variables des Fichiers Fonciers*. Guide des variables, réactualisation 2016, p. 55.
- Caloz R., Collet C. : *Analyse spatiale de l'information géographique*. Presses polytechniques et universitaires romandes, 2011, p. 383.
- CETE Nord Picardie : *Qualification des espaces agricoles et naturels consommés ou susceptibles de l'être*. In *Mesure de la consommation d'espace à partir des fichiers fonciers*, 2013, p. 161-189.
- CETE Nord Picardie : *Analyse de l'occupation des sols*. In *Mesure de la consommation d'espace : méthodes et indicateurs*, 2013, p. 161-189.
- Rousseau I., Lannuzel A., Deniaud C., Brianceau G., Jacquet-Patry C., Dupé G., Robert L., Letouzé F., Saur N., Renou S. : *Caractérisation des exploitations agricoles de Nantes à Saint-Nazaire*, 2013, p. 75.
- Chaillou N., Guillou J., Domard B., Magretti B. : *Mise en œuvre d'une typologie des espaces dans la Sarthe basée sur une analyse du parcellaire cadastral*, 2015, p. 28.
- Guéringer A. : *Propriété et propriétaires en espace périurbain ou la gouvernance foncière à l'épreuve des logiques privatives. Terres agricoles périurbaines*, 2013, p. 250, chapitre 2, p. 37-54.
- Germaine M.-A., Puissant A. : *Extraction d'indices paysagers et analyse quantitative des paysages de « vallées ordinaires » à partir de données images : L'exemple de la Seulles (Calvados, France). Cybergeo : European Journal of Geography*, 2008, p. 1-15.
- Dumas E. *et al.* : *Les indices d'écologie du paysage à l'épreuve du marché foncier. Revue d'Économie Régionale et Urbaine* 2005/1 (février), 2015, p. 83-108.
- Parent C., Spaccapietra S., Zimanyi E., Donin P., Plazanet C., Vangenot C., Rognon N., Crausaz P.-A. : *MADS, modèle conceptuel spatio-temporel. Revue Internationale de Géomatique*, 7, 1997, p. 317-352.
- Miralles A., Pinet F., Bédard Y. : *Describing Spatio-Temporal Phenomena for Environmental System Development : An Overview of Today's Needs and Solutions. International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems*, 68, 2010, p. 68-84.
- Tran B., Plumejeaud-Perreau C., Bouju A., Bretagnolle V. : *Modélisation et analyse de données environnementales à travers une ontologie spatio-temporelle. Revue Internationale de Géomatique*, 27 (3), 2016.
- Martin P., Levasseur F., Bouty C., Scheurer O. : *RPG Explorer : Notice d'utilisation*. Version 1.9.5, 2018.
- Recensement Général Agricole, centre de ressources pour la mise en oeuvre de la Trame verte et bleue : http://www.trame-verteetbleue.fr/outils-methodes/donnees-mobilisables/recensement-general-agricole-rga (consulté le 8/02/2018).
- Géoinformation : http://www.geoinformations.developpement-durable.gouv.fr/fichiers-fonciers-r549.html (consulté le 23/02/2018).
- IGN : http://professionnels.ign.fr/doc/DC-DL_RPG_2-0.pdf, http://professionnels.ign.fr/ocsge (consulté le 26/02/2018).
- Inventaire National du Patrimoine Naturel : https://inpn.mnhn.fr/telechargement/cartes-et-information-geographique (consulté le 26/02/2018).
- Théorie de l'AMC : http://geai.univ-brest.fr/carpentier/2013-2014/Ana-mult-3-2014.pdf (consulté le 26/02/2018).
- Introduction au fonctionnement et au langage R : http://larmarange.github.io/analyse-R (consulté le 26/02/2018).
- Gest'eau : http://www.gesteau.fr/concept/p%C3%A9rim%C3%A8tre-du-sage (consulté le 27/02/2018).
- SIGLOIRE : https://catalogue.sigloire.fr/geonetwork/srv/fre/catalog.search (consulté le 28/02/2018).
- Convention RAMSAR : https://www.ramsar.org/fr/a-propos/la-convention-de-ramsar-et-sa-mission (consulté le 28/02/2018).
- Fédération des Parcs naturels régionaux de France : http://www.parcs-naturels-regionaux.fr/les-parcs-naturels-regionaux-de-france/decouvrir-les-52-parcs (consulté le 28/02/2018).
- Encyclopaedia Universalis : https://www.universalis.fr/encyclopedie/culture-derobee (consulté le 05/06/2018).
- Association française de la topographie : https://www.aftopo.org/FR/LEXIQUE/Cadastre-7-47 (consulté le 05/06/2018).
- Le Site de l'indicateur Paysage : http://indicateur.paysage.free.fr/fra/historique.html (consulté le 05/06/2018).

Entre le XIVe et le XVIe siècle, les églises de la partie méridionale des Alpes, aussi bien sur le versant français qu'italien, ont vu fleurir une série de peintures murales accompagnées d'inscriptions. Comment cette pratique s'organise-t-elle spatialement, et quelles sont les conclusions que l'on peut en tirer sur ce mouvement artistique singulier ?

Les peintures murales des lieux de culte du Sud de l'arc alpin du XIVe au XVIe siècle

Océane Acquier*, oceane.acquier@cepam.cnrs.fr
Gourgen Davtian, gourguen.davtian@cepam.cnrs.fr
Antoine Pasqualini, antoine.pasqualini@cepam.cnrs.fr
Sabine Sorin, sabine.sorin@cepam.cnrs.fr
Rosa-Maria Dessì, rosa-maria.dessi@cepam.cnrs.fr

* Auteur – correspondant.

© Océane Acquier

Des peintures murales singulières : textes et images

Des peintures murales réalisées entre le XIVe et le XVIe siècle dans des lieux de culte du Sud de l'arc alpin révèlent la présence abondante d'inscriptions. Diverses dans leurs dispositifs visuels (tant dans leurs densités, leurs orientations, les écritures employées que dans leurs modules, la couleur de leurs lettres, mais également leurs langues et dialectes) ces peintures murales nouent des relations plurielles et complexes avec l'image à laquelle elles se réfèrent et sont agencées (cf. figure 1). Ces nombreuses productions présentes dans les Alpes méridionales constituent la visée d'une recherche en cours (thèse d'Océane Acquier sur Signes, images et paroles dans les peintures murales des lieux de culte du Sud de l'arc alpin du XIVe siècle au XVIe siècle (Provence orientale, Ligurie, Piémont), sous la direction de Rosa-Maria Dessì, au CEPAM, UMR 7264 à l'Université Côte d'Azur).

Le dernier travail d'une certaine ampleur réalisé sur un corpus de peintures murales des régions au Sud des Alpes à la fin du Moyen Âge est celui de Marguerite Roques (portant sur les chapelles peintes du Sud-Est de la France), qui aborde d'ailleurs une réflexion nouvelle sur le rapport entre inscriptions et images au sein d'un chapitre [Roques, 1961, p. 74-79]. Dans sa lignée, d'autres inventaires succincts de peintures murales sud-alpines ont été produits [De Floriani, Manavella, 2012], mais la présence de textes peints dans les images est généralement négligée. Parallèlement, des travaux ponctuels ont mentionné la présence de ces inscriptions, en se limitant parfois à donner une transcription [Calzamiglia, 2005, p. 126-135]. Un inventaire englobant ces productions spécifiques au Sud de l'arc alpin du XIVe au XVIe siècle, ciblé sur la présence d'inscriptions au sein de peintures murales, n'a donc jamais été tenté en l'état actuel de la recherche. Sont livrés ici les premiers résultats d'une étude liée à la spatialisation de ce corpus de peintures murales.

Zone d'étude

La zone géographique de la recherche se déploie sur les deux versants méridionaux de la chaîne alpine. Elle est appréhendée comme un système montagneux où les frontières ne sont pas administratives mais liées à l'orographie. Le terrain de la recherche est de fait borné à l'Ouest comme à l'Est par le relief. En Ligurie, la prospection ne dépasse pas la ville de Savone et le col d'Altare, limite conventionnelle entre les Alpes et les Apennins. En Piémont, la prospection s'arrête aux premiers contreforts des Langhe. La frontière suit, plus au Nord, l'extrémité est de la plaine padane et longe le Pô, aux abords de Turin. La prospection n'a pas été menée au-delà de la vallée de Suse et de celles du Briançonnais. À l'Ouest, le recensement suit la vallée du Buëch puis celle de la Durance. Le Vercors, le Diois, les Baronnies, les monts de Vaucluse et le Lubéron ne sont pas inclus. La basse vallée du Verdon constitue la limite Sud-Ouest de cette étude. La mer Méditerranée forme une frontière naturelle au Sud-Est de la zone de recherche. Pour la France, trois départements actuels se situent dans l'espace considéré : les Alpes-Maritimes, les Alpes-de-Haute-Provence et les Hautes-Alpes. De la même manière, quatre provinces italiennes s'y trouvent incluses, intégralement ou partiellement : en Ligurie, la province d'Imperia et de Savone et en Piémont, la province de Coni et de Turin.

Figure 1 : Les peintures murales du sanctuaire *Nostra Signora delle Grazie* à Imperia, Montegrazie (fin XVe-début XVIe siècle).

L'inventaire d'un corpus inédit : carte de répartition

Deux cent quatre-vingt-quatre lieux de culte répartis dans cent quatre-vingt-huit communes constituent le corpus (cf. figure 2). Cet inventaire est fondé d'une part sur des recherches bibliographiques telles que la consultation d'ouvrages monographiques [Boggero, 2005], d'inventaires succincts [Plesch, 2006] ou de dépouillements de bases de données [Rigaux, 1994, p. 153-170,

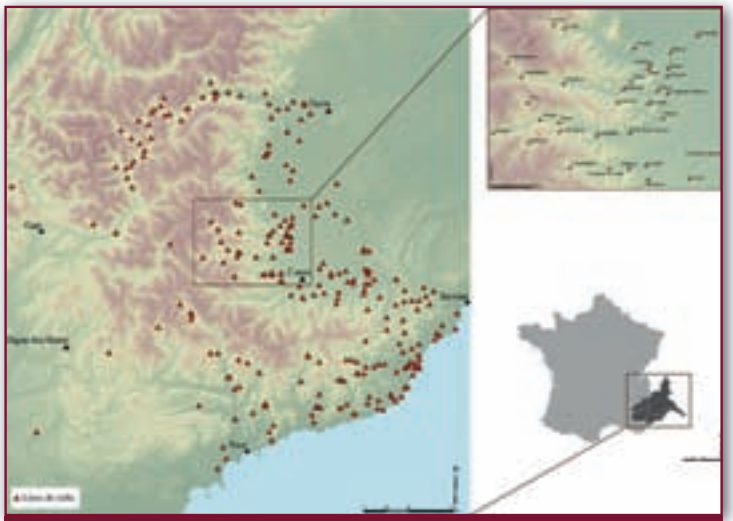


Figure 2 : Situation géographique des lieux de culte dans le territoire sud alpin.

https://prealp.msh-alpes.fr] et d'autre part sur des prospections réalisées pour inventorier et documenter les édifices méconnus. Dans sa globalité, l'implantation des lieux de culte constituant le corpus de recherche encercle la chaîne alpine (cf. figure 2). Les édifices sont distribués de manière caractéristique dans l'espace. Les premiers prennent place en plaine, les suivants longent les vallées et les derniers se trouvent en altitude, pour certains vers 1 900 mètres.

Cette distribution témoigne toutefois d'une répartition non homogène sur le territoire. 81 % des édifices religieux sont localisés aux abords des Alpes orientales. La Ligurie et le Sud de la province de Coni enregistrent les concentrations les plus fortes : certaines communes de cette zone géographique, telle Albenga, abritent jusqu'à quatorze lieux de culte peints dans leur territoire communal. À l'inverse, seuls 19 % des monuments sont localisés aux abords des Alpes occidentales. Ces derniers sont plus dispersés, moins nombreux, avec une lacune à hauteur des vallées de la moyenne Durance, du haut Verdon et de la haute Bléone.

La proportion des monuments situés d'un côté et de l'autre des Alpes du Sud-Est est à nuancer. En effet, plusieurs écueils sont à prendre en considération qui font évoluer constamment. Par exemple, certains édifices, comme la chapelle Sainte Catherine de La Turbie, ont été démolis dans la seconde moitié du XXe siècle [Levrot, 1910, p. 296]. De même, ce corpus, qui se veut le plus exhaustif possible, n'est pas clos et sera complété par de nouvelles découvertes (peintures murales de la chapelle Saint Jean-Baptiste de Fouillouse à Saint-Paul-sur-Ubaye découvertes en 2015, église Sainte Marie-Madeleine de Biot en 2011).

La création d'une base de données alphanumériques

Une fois l'inventaire ainsi établi, les coordonnées de tous les lieux de cultes ont pu être déterminées sur *Google Earth* puis transférées sur *ArcGIS* sous forme d'entités ponctuelles. Elles sont projetées (cf. figure 2) sur un modèle numérique de terrain de la zone d'étude résultant de la combinaison de trois modèles : SRTM30 (Shuttle Radar Topography Mission, *http://www2.jpl.nasa.gov/srtm*), ALOS (*Advanced Land Observing Satellite, http://global.jaxa.jp/projects/sat/alos*) et IGN avec une résolution de dix mètres.

Les entités ponctuelles ont ensuite été associées à une base de données alphanumériques (cf. figure 3). Chacune d'entre elles a été corrélée à de multiples attributs renseignant des éléments d'ordre généraux, mais aussi plus particuliers. Le premier niveau détaille le lieu de culte ; le deuxième niveau, les peintures murales ; le troisième niveau s'occupe des textes peints. Pour un lieu de culte, les données corrélées aux entités ponctuelles concernent à la fois sa localisation actuelle (pays, ville, vallée) ainsi que la province historique dans laquelle il se situait lorsqu'il a été décoré. Suivent l'orientation, le statut (vocable) ou encore l'emplacement des peintures qui le recouvrent (à l'intérieur, à l'extérieur, support architectonique). Pour les cycles, la conservation, les auteurs (peintres, commanditaires), de même que les thèmes iconographiques (thesaurus) et surtout la présence d'inscriptions ont été enregistrés. Ces dernières sont également liées à des attributs concernant aussi bien leur dispositif visuel que leur contenu.

Tous ces éléments correspondent à des données d'ordre historique, analytique, quantitatif, qualitatif ou encore descriptif du lieu de culte et des peintures murales présentes (textes et images). L'indexation de ces différentes tables, par la variété des informations qui y sont renseignées, rend possible la formalisation de recherches rigoureuses et plurielles sur un corpus très vaste. L'interrogation par requêtes d'attributs dans la base de données alphanumériques

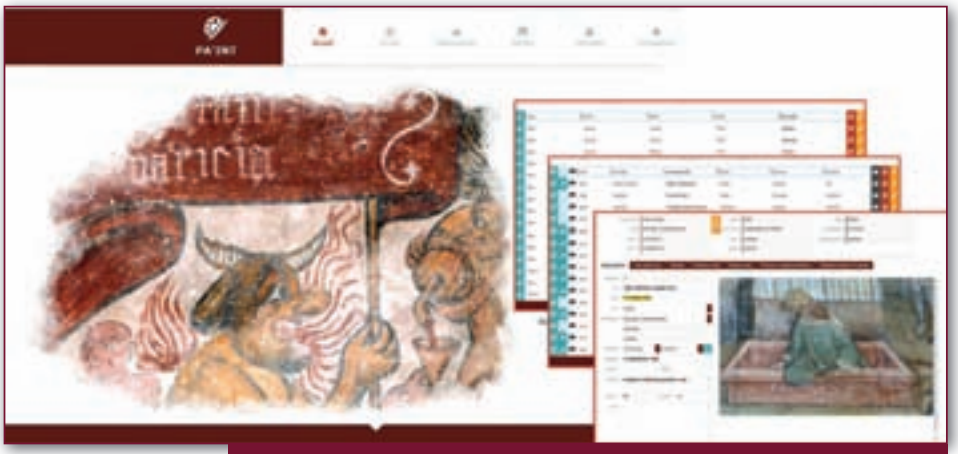


Figure 3 : Base de données PA'InT, créée spécifiquement pour ce corpus dans le cadre de la thèse d'Océane Acquier et hébergée au laboratoire du CEPAM.

permet des projections cartographiques : thématiques, statistiques ou encore diachroniques à l'échelle globale ou resserrée sur le corpus. La production de ces cartes permet de caractériser d'une part les manifestations de la pratique artistique indexée, tout en ouvrant la voie à des études sérielles et/ou ponctuelles inédites.

Le SIG, un outil numérique au service de la recherche : exemple de caractérisation spatiale du corpus

Apparition des peintures murales (textes et images) du XIVe au XVIe siècle

Dans l'espace sud-alpin, quelques œuvres sont produites dès la période romane. Les peintures de la chapelle Sant'Eldrado e San Nicola de l'abbaye Santi Pietro e Andrea de Novalesa, où images et textes s'entremêlent, en est un exemple. Elles décorent les murs du lieu de culte et sont datées de la fin du XIe siècle [Uggè, 2012, p. 25-29]. Toutefois, la production sérielle et remarquable de ces peintures murales débute véritablement au XIVe siècle, exclusivement sur le versant oriental des Alpes. À la fin de cette période, on observe la nette apparition d'une « enceinte » formée par la présence de peintures murales, situées sur le versant Est de l'arc alpin (cf. figure 4). Ces réalisations demeurent relativement rares puisque seuls 8 % du corpus de recherche apparaissent entre 1300 et 1400 (3 % entre 1300 et 1350 et 5 % entre 1350 et 1400).

Le XVe siècle présente un accroissement notable : plus de la moitié des peintures murales datent de ces années (10 % entre 1400 et 1450 et 48 % entre 1450 et 1500 soit 58 % au total). Cette époque se caractérise par une présence considérable de ces cycles muraux dans des monuments situés sur les contreforts des Alpes du Sud. La carte dévoile un renforcement de la « ceinture » orientale sud-alpine amorcée au XIVe siècle (cf. figure 4). Cette consolidation se double de la production de nombreux cycles au nord de la zone d'étude, dans la vallée de Suse [Argoud, 2014], et au sud, en zone littorale. Ce territoire, escarpé dans sa globalité, devient perméable à cette pratique artistique. Les peintures murales se déploient dans des lieux de culte, toujours plus enfoncés dans les vallées.

La large production de ces peintures décline peu à peu au XVIe siècle (25 % du corpus est créé entre 1500 et 1550 et 9 % entre 1550 et 1600). La pratique artistique ne disparaît pas, mais redevient plus épisodique (cf. figure 4). Le traitement en diachronie (cf. figure 4) permet ici d'observer trois temps concernés par la création de ces peintures murales : l'émergence au XIVe siècle, l'apogée au XVe siècle et le relatif déclin au cours du XVIe siècle.

Présence des inscriptions dans les peintures murales

Des milliers d'inscriptions sont peintes au sein des lieux de culte de la région. Une carte thématique résultant de l'interrogation de la base de données permet de visualiser les zones de concentration ou au contraire de dispersion des textes peints (cf. figure 5). Elle projette le nombre d'inscriptions visibles actuellement (elles devaient être plus nombreuses à l'origine dans certains lieux de culte) dans les peintures murales de chaque monument. Il peut s'agir d'une seule dédicace, comme à la chapelle Saint Bernard de Roure, ou d'une centaine de textes peints comme c'est le cas pour le sanctuaire Nostra Signora delle Grazie de Montegrazie (commune d'Imperia). Un croissant au sud de l'arc alpin semble se dessiner et révéler la concentration la plus forte (cf. figure 5).

La carte permet donc de repérer cette zone dense. La répartition suscite de nombreux questionnements d'ordre historique.

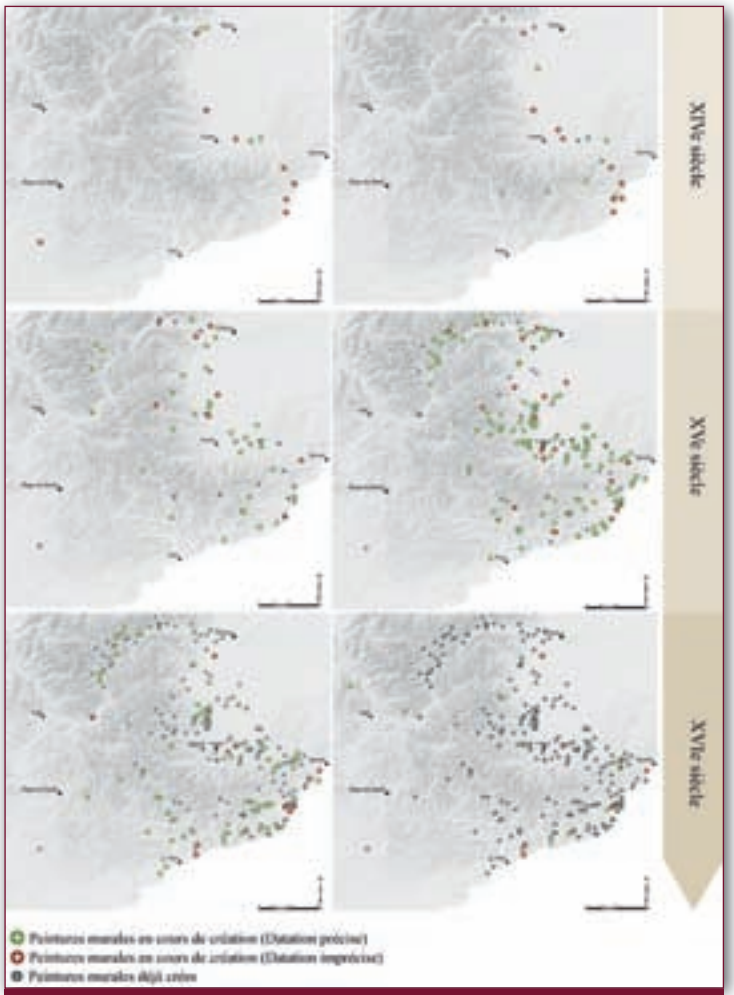


Figure 4 : Apparition des peintures murales (textes et images) dans les lieux de culte du Sud de l'arc alpin aux XIVe, XVe et XVIe siècles.

Perspectives de recherche avec les outils géomatiques

La présentation spatiale de ces diverses données n'est pas le seul objectif d'une utilisation d'un SIG pour ce corpus de recherche. En effet, le texte peint, élément central de cette étude, n'est pas retenu pour lui-même. L'angle d'approche adopté dans l'analyse de ces représentations (textes-images) est historique et tient compte du contexte de création, de lisibilité et de lecture, de réception, puis de transmission et de diffusion de cette pratique artistique, dans l'espace géographique qu'est le Sud des Alpes à la fin du Moyen Âge. En bref, il s'agit d'appréhender ces productions particulières, puis de comprendre leur prolifération et leurs vecteurs de diffusion dans un espace-temps donné.

Tous les agents – qu'ils soient commanditaires, peintres (itinérants ou non), concepteurs,

Pourquoi le Sud de l'arc alpin est-il davantage concerné ? Cela serait-il dû à une meilleure conservation des peintures murales ou bien à des conjonctures politiques, culturelles et religieuses qui auraient favorisé ce genre de création ? Les lieux de culte concernés sont-ils contemporains et consécutifs d'une même commande ? Peut-on supposer une collaboration entre peintres et ateliers à l'œuvre dans ces réalisations ? Ces interrogations suffisent à montrer la valeur heuristique de la carte ainsi que la nécessité de cartographier ce corpus sous différents angles pour observer des faits autrement imperceptibles.

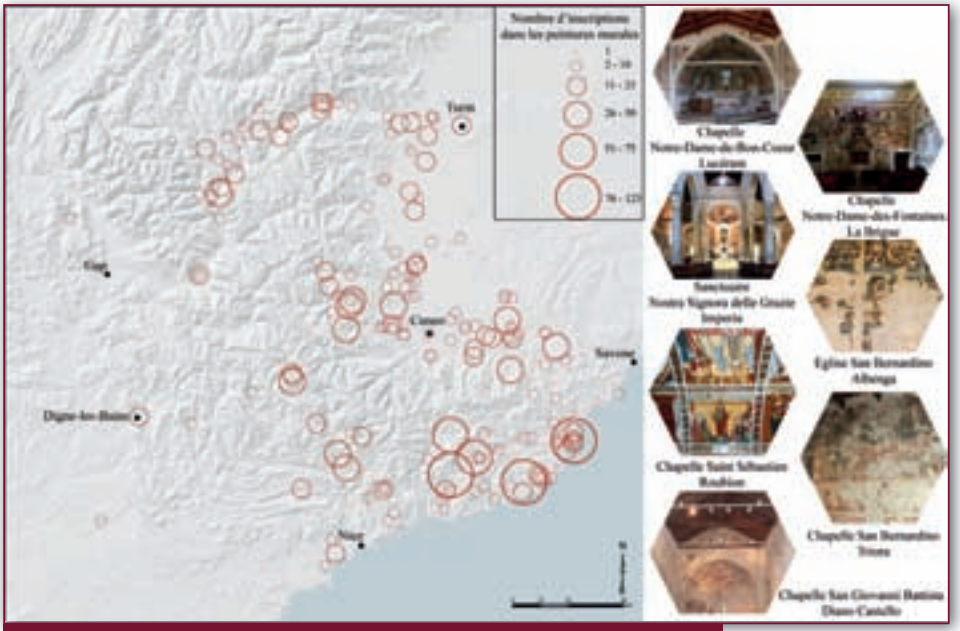


Figure 5 : Nombre d'inscriptions dans les peintures murales dans les lieux de culte du Sud de l'arc alpin aux XIVe, XVe et XVIe siècles.

spectateurs (locaux ou voyageurs) ou encore savants (clercs, prédicateurs) – doivent être pris en compte dans l'analyse. Cette recherche nécessite par conséquent la mise en place d'études spatio-temporelles croisées avec des données historiques permettant de saisir ces problématiques ; de la conception de cette pratique artistique à sa propagation du XIVe au XVIe siècle dans le Sud de l'arc alpin.

La carte thématique de la figure 6 montre la localisation des peintures dans les lieux de culte. Recouvrent-elles la face interne et/ou externe des murs ? Malgré une densité moindre de peintures murales recouvrant des murs de façade (due vraisemblablement à une mauvaise conservation liée aux intempéries), leur présence suscite des interrogations. Ces peintures étaient-elles visibles et lisibles depuis un chemin muletier ou un axe de communication majeur ? Situées en ville, étaient-elles observables depuis la maison d'un homme d'influence (notable, religieux, seigneur) ? La connaissance du champ de visibilité de ces peintures dans le paysage environnant est fondamentale. Une analyse spatiale, possible à partir de la carte thématique (cf. figure 6), peut être envisagée. L'utilisation de l'outil géomatique « champ de vision » ou, pour plus de précision dans cette étude, « visibilité », permettra de calculer les surfaces visibles depuis un point donné à partir d'un modèle numérique de terrain ou d'un modèle numérique d'élévation. Ainsi, les espaces seront considérés en fonction de la présence des habitats ou des itinéraires, aux XIVe, XVe et XVIe siècles. Cette analyse consistera de fait en un jalon permettant d'appréhender un vecteur/facteur de la diffusion de cette pratique artistique dans le Sud de l'arc alpin.

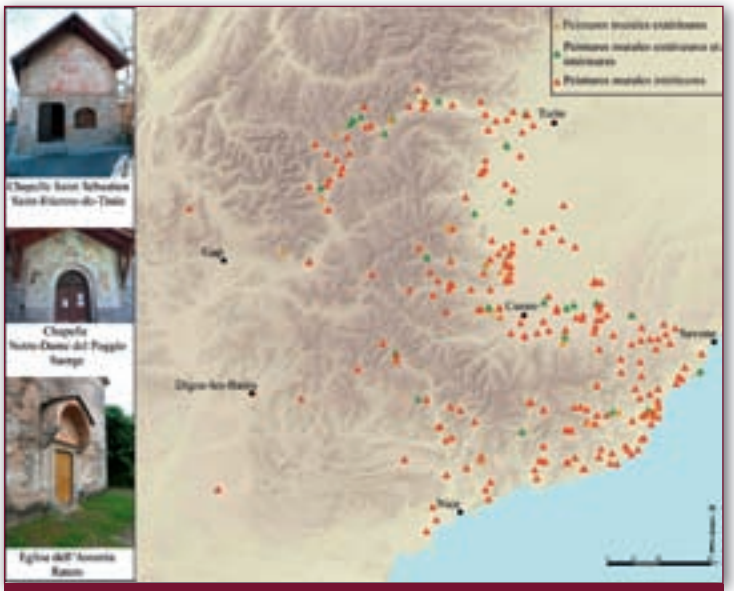


Figure 6 : Localisation des peintures murales dans les lieux de culte du Sud de l'arc alpin aux XIVe, XVe et XVIe siècles.

L'utilisation d'un SIG devient essentielle pour caractériser spatialement de manière précise ce corpus inédit et permettre d'observer, puis de comprendre les relations diverses : entre les peintures murales (textes et images), les hommes et leurs territoires. ◻

Bibliographie

- Argoud M., Enjeux culturels des représentations murales alpines : Vallée de Suse (XIVe-XVIe siècles), Thèse de doctorat en histoire, sous la direction de Rigaux D., Grenoble, Univsersité de Grenoble-Alpes, 2014.
- Calzamiglia L.-L., I cicli affrescati : *un « corpus » delle iscrizioni*, in Boggero F. (dir.), Montegrazie. Un santuario del Ponente Ligure, Turin, Umberto Allemandi, 2005, p. 126-135.
- De Floriani A., Manavella S., Tommaso e Matteo Biazaci da Busca, Cuneo, Nerosubianco, 2012.
- Levrot J., Fresques à Saint-Dalmas-de-Valdeblore. Peintures murales du comté de Nice, in *Nice Historique*, n° 15, 1910, p. 293-296.
- Rigaux D., prealp, une banque de données pour les peintures alpines, in *Mélanges de l'école française de Rome*, Rome, t. 106, n° 1, 1994, p. 153-170.
- Roques M., *Les peintures murales du Sud-Est de la France XIIIe-XVIe siècles*, Paris, Picard, 1961.
- Ugge S., *Fragmenta Novaliciensia : Abbazia di Novalesa Il museo archeologico*, Gênes, Edizioni d'arte Marconi, 2012.

Lancement du nouvel appel à projets *IGNFab*

Aujourd'hui, l'agriculture doit relever de nombreux défis : nourrir la planète, avec une demande sans cesse accrue en protéines animales et végétales ; réduire son empreinte environnementale, participer à la lutte contre le changement climatique et s'y adapter en réalisant la transition agro-écologique ; fournir des matières premières adaptées pour des usages énergétiques, chimiques ou des matériaux en exploitant pleinement la biomasse.

De même, on demande beaucoup à la forêt. Elle doit stocker du carbone, être un rempart contre les aléas physiques, un tampon pour la quantité et la qualité de l'eau, produire des matériaux renouvelables pour la construction et la bioénergie, contribuer à l'adaptation aux impacts du changement climatique, assurer une fonction sociale et d'accueil du public et bien sûr fournir un habitat pour la biodiversité.

La biodiversité justement est gravement menacée et s'appauvrit à un rythme accéléré, sous le poids de la destruction de ses habitats, de l'exploitation abusive des ressources naturelles et du changement climatique notamment.

Le numérique peut contribuer à relever le défi de la protection de la biodiversité. Les *start-up* et les PME innovantes seront certainement les acteurs les plus pertinents pour développer ces services numériques. C'est dans cette perspective que s'inscrit la cinquième édition d'*IGNFab*. Elle invite à s'interroger et à inventer de nouvelles offres dans des domaines aussi vastes que l'agriculture, la forêt et la biodiversité.

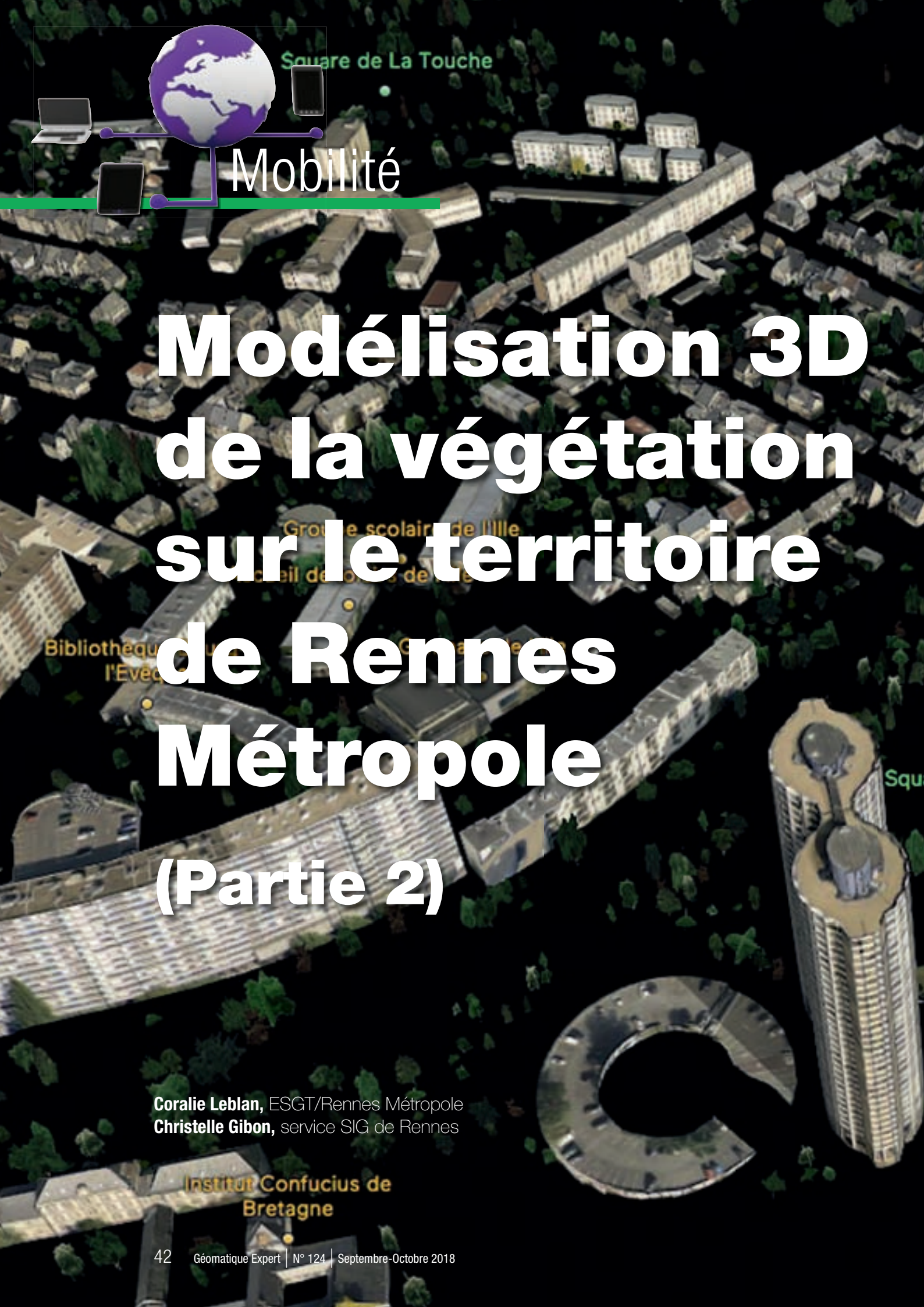
Le lancement de l'appel à projets aura le 24 septembre 2018 et une conférence téléphonique de présentation sera organisée le jeudi 27 septembre de 10 heures à 11 heures environ.

Rappelons que dans le cadre des projets *IGNFab*, les sociétés candidates ont accès aux référentiels suivants :

- Le référentiel à grande échelle (RGE®) ;
- L'occupation du sol à grande échelle (OCS GE) ;
- Le registre parcellaire graphique (RPG) ;
- La carte des pentes pour l'agriculture ;
- La BD Forêt® ;
- La Base de données sur les incendies de forêts en France ;
- L'Inventaire forestier ;

Ainsi qu'aux ressources techniques, matérielles et logicielles suivantes :

- Les techniques d'acquisition aérienne ou terrestre, images ou LiDAR ;
- Les solutions de traitement de données ;
- Les solutions de visualisation et de navigation 3D ;
- Les infrastructures IGN de diffusion de données ;
- Des briques logicielles issues de la recherche IGN. □

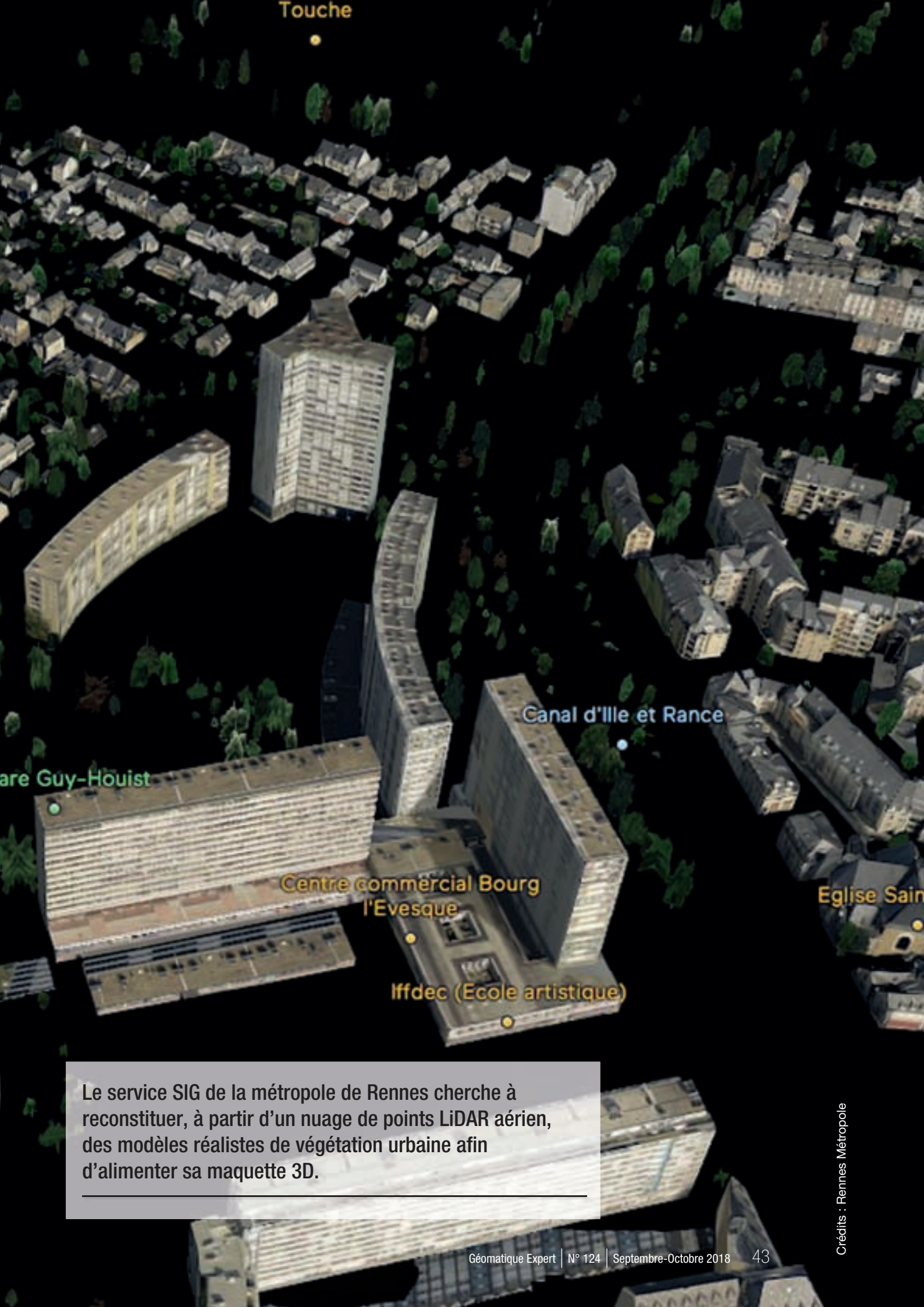


Mobilité

Modélisation 3D de la végétation sur le territoire de Rennes Métropole

(Partie 2)

Coralie Leblan, ESGT/Rennes Métropole
Christelle Gibon, service SIG de Rennes



Le service SIG de la métropole de Rennes cherche à reconstituer, à partir d'un nuage de points LiDAR aérien, des modèles réalistes de végétation urbaine afin d'alimenter sa maquette 3D.

Crédits : Rennes Métropole

Reconstruction 3D maillée des arbres

Nous avons vu, dans la première partie de cet article, une méthode d'extraction de paramètres dendrométriques utiles à une modélisation « en croisillon » des arbres. Très légère et simple à effectuer, une représentation de ce type n'en reste pas moins minimaliste et peu représentative de la réalité. Aujourd'hui, le service SIG souhaite développer un nouveau processus de reconstruction 3D de sa végétation visant à produire des objets maillés sur la base de données LiDAR aériennes.

Suite à notre état de l'art relatif aux techniques actuelles de reconstruction 3D des arbres d'après un ensemble de données discrètes à haute résolution, l'utilisation de formes alpha est apparue comme une solution répondant à cette attente. En effet, permettant une reconstruction plus ou moins fine définie par un niveau de détail paramétrable, les formes alpha présentent un attrait tout particulier pour la production d'objets intégrables à une maquette 3D.

Nous allons maintenant exposer un nouveau processus de modélisation 3D des arbres d'après l'implémentation d'un algorithme de type « α-shape ». Pareillement à l'approche considérée par Rahman *et al.*, nous définissons un arbre comme un objet composé de deux entités distinctes : un houppier et un tronc. Cette approche vise à faciliter la gestion ultérieure de leurs texturations respectives.

Dans un premier temps, nous exposerons la structure attendue par notre prestataire, la société *RhinoTerrain*, lequel sera en charge de l'adaptation des objets générés dans un format *CityGML*. Ensuite, nous développerons les processus de modélisation des houppiers d'abord, selon un algorithme de type « α-shape » puis des troncs ensuite, par l'application d'une extrusion.

Un processus développé en collaboration avec RhinoTerrain

En tant que prestataire du service SIG, la société *Rhino Terrain* intervient régulièrement pour réaliser des missions de retranscription des objets créés par le service SIG dans un format *CityGML*. Dans le cadre de notre projet, elle est notamment mandatée pour assurer la transcription des objets « arbres » générés par notre modèle dans un format *CityGML*, standard d'échange propre au partage de la donnée géographique et développé par l'OGC.

En termes de végétation, le *City GML* distingue les arbres isolés (classe *SolitaryVegetationObject*) des zones de végétation dense (classe *PlantCover*). C'est d'ailleurs principalement pour cette raison que l'ensemble des traitements antérieurs distinguaient de manière similaire les zones dites « ouvertes » et « fermées ».

Après entretien avec les techniciens de *RhinoTerrain*, il est convenu que les objets (houppiers et troncs) devront être exprimés dans un format .OBJ et répartis dans deux dossiers distincts que nous intitulerons « Ouvert » et « Ferme ». De plus, pour faciliter l'identification et le regroupement des couples tronc/houppier, la nomenclature suivante devra être respectée (cf. tableau 3).

Le processus de modélisation 3D des arbres fait l'objet d'un script FME intitulé « *Assemblage.fmw* » intégré à la suite de l'algorithme de détection et de segmentation de la végétation que nous avons adapté. Il comprend deux étapes principales visant à la reconstruction des houppiers d'une part, puis des troncs d'autre part.

Une reconstruction des houppiers de type « Alpha Shape »

Rappelons à ce stade que l'intérêt majeur de l'adaptation de l'algorithme de détection et de segmentation de la végétation était de nous permettre de réaliser le *clustering* du nuage de points que nous appellerons « végétation normalisé ». Ce nuage est issu du MHC et enregistré dans un format .xyz.

Considérant les couches de données *shapefile* « Zones_ouvertes » et « Zones_fermees » générées en V.1.3.2, le découpage du nuage est simplement réalisé à l'aide d'une technique d'emporte-pièce (transformer *Clipper*). La partition des houppiers en zones dites « ouvertes » et « fermées » nous permet également d'identifier l'appartenance de chaque sous-

Élément	Nomenclature
Houppier	Arbre3D_ID.obj
Tronc	Tronc3D_ID.obj

Tableau 3 : Nomenclature des objets arbres.

ensemble de points à l'une des deux classes de végétation du CityGML.

De la 2D½ vers la 3D

Nous l'avons vu précédemment, une reconstruction par « formes alpha » est une généralisation de l'enveloppe convexe d'un ensemble de points. Dans le cas d'un levé LiDAR aérien, en fonction de la hauteur de vol et du nombre de retours, la diminution de la puissance du faisceau laser entraîne une forte diminution, voire une absence totale, de points sur la partie basse des houppiers. Le nombre de points diminue d'autant plus que la végétation se fait plus dense, chaque arbre constituant alors un masque pour son voisin.

Cette propriété des retours LiDAR entraîne une reconstruction de la forme des houppiers selon un simple modèle 2D½ (figure 36). Afin de modéliser des houppiers en véritable 3D, nous proposons une méthode visant à extrapoler des points sur leur base.

Reconstruction de la base des houppiers

La méthode d'extrapolation de points proposée s'appuie à la fois sur les sous-ensembles issus du clustering du nuage « végétation normalisée » et sur les couches *shapefile* « Zones ouvertes. shp » et « Zones_fermes.shp ». Le tableau suivant en illustre les étapes principales (cf. tableau 4).

Une implémentation sous *R*, langage interopérable avec FME

Couramment utilisé pour la reconstruction d'objets 3D, de nombreux algorithmes « Alpha Shape » existent (*Python, R, Matlab, C++* avec *CGAL* et la *PCL*…).

Dans un premier temps, et dans un souci de cohérence, nous envisageons une implémentation sous *Python* ou *MATLAB*, langage de programmation et logiciel utilisés jusqu'alors. Bien que dans les deux cas les algorithmes soient fonctionnels, nous rencontrons néanmoins des problèmes d'export.

En langage *R* le *package alphashape3d* et sa fonction *ashape3d* sont une solution intéressante car ils ont fait l'objet d'une étude menée par [Lafarge *et al.,* 2014], détaillant aussi bien le fonctionnement de l'algorithme qu'une méthode propre à l'export. De plus, interopérable avec FME par le biais du transformer *RCaller*, *R* s'impose comme une solution n'entravant pas l'automatisation de l'algorithme.

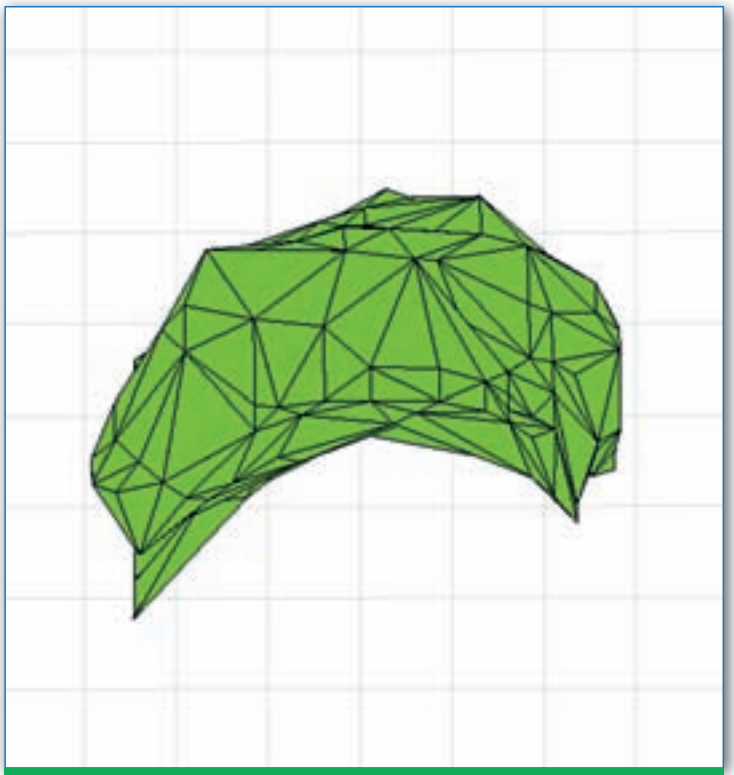


Figure 36 : Houppier en 2D½.

Reconstruction 3D : la fonction *ashape3d*

La fonction *ashape3d* permet la reconstruction 3D d'un objet selon des formes alpha. Suivant un protocole détaillé par [Lafarge *et al.*, 2014] et considérant les sous-ensembles de points issus de la succession des phases de *clustering* et d'extrapolation de points sur la base des houppiers, nous développons un script *R* visant à reconstruire un maillage 3D d'après les sous-ensembles de points obtenus. Intégré au sein du transformer *RCaller*, le script fait partie de la chaîne de traitement *Assemblage.fmw* et est amorcé automatiquement à la suite de la création des sous-ensembles de points propre à chaque arbre (voir tableau 4).

Afin de rendre cette chaîne de traitement automatique et inter-

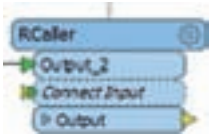
Illustration	Explications	Transformer
	• Extraction de la valeur de la coordonnée Z_{min} du point le plus bas constituant le houppier • Duplication de la couronne correspondante • Affectation d'une hauteur correspondant à la valeur Z_{min} extraite à la couronne dupliquée	*BoundsExtractor* *Copier* *3DForcer*
	• Transformation du duplicata surélevé en nuage de points	*PointCloudCombiner*
	• Regroupement des points constituant chaque houppier d'arbre (base + couronne) • Écriture des nouveaux sous-ensembles selon la nomenclature suivante : ID.xyz	*PointCloudCombiner* *FeatureWriter*
	• Calcul des formes alpha avec R. • Export des volumes dans un format objet selon la nomenclature établie avec RhinoTerrain : Arbre3D_ID.obj	*RCaller*

Tableau 4 : Méthode de reconstruction des 3D des houppiers.

active, les chemins d'accès aux différentes variables sont renseignés de façon dynamique. De plus, nous distinguons deux valeurs pour le critère « alpha », paramétrables par l'utilisateur en fonction d'une reconstruction d'arbres isolés ou de regroupements. En effet, nous l'avons vu plus haut, en secteur de végétation dense, l'absence de points sur la partie basse des houppiers peut entraîner, avec un critère alpha trop fin, la création de volumes « troués ». Néanmoins comme le rappelle [Lafarge *et al.*, 2014], pour un critère infiniment grand, la forme reconstruite équivaut à l'enveloppe convexe du nuage de points considéré (figure 37). Ainsi, en considérant un niveau de détail moins élevé en zone de végétation dense, on limite les risques de générer des volumes troués.

Développé sous forme d'une boucle, le programme de reconstruction parcourt ainsi un à un les fichiers de points au format .xyz se trouvant dans un répertoire de travail dont le chemin d'accès est renseigné de manière dynamique et y enregistre, un à un, les objets 3D construits dans un format .OBJ respectant la nomenclature *Arbre_3D.OBJ* définie communément avec la société *RhinoTerrain*.

Il est intéressant de remarquer que la fonction *ashape3d* ne peut fonctionner avec des nuages de points géoréférencés. Il faut,

Figure 37 : Reconstruction *alpha shape* pour des critères alpha croissants de gauche à droite.

dans ce cas, effectuer un traitement préalable visant à recentrer nos données autour de 0. Une méthode simple consiste à définir, pour chaque coordonnée X, Y et Z, la valeur moyenne au sein du nuage de points considéré, de les retrancher préalablement au lancement de la fonction puis, de l'ajouter ensuite à chacun de ses sommets pour obtenir un objet exprimé en coordonnées projetées (translation, puis translation inverse).

Export des houppiers : structure du format .OBJ

La documentation réalisée par Lafarge *et al.* détaille une méthode d'export des objets de type *ashape3d* dans des fichiers au format *Object File Format* (fichier. OFF). Bien que pris en charge par la plupart des logiciels de manipulation 3D dont *Rhinocéros* et *CloudCompare*, nous avons convenu avec la société *RhinoTerrain* d'un export dans un format .OBJ. Comme ces deux formats représentent les objets en fonction des polygones constituant le modèle de surface, leurs structures respectives sont très similaires (figure 38).

Fort de ce constat, nous adaptons alors la méthode proposée par Lafarge *et al.* et l'ajoutons à notre script *R*. Les fichiers de points considérés en entrée respectant la nomenclature *ID.xyz*, le programme repère le numéro d'identifiant propre à chaque objet qu'il renseigne ensuite dans le nom du fichier .OBJ selon la nomenclature commune définie avec la société *RhinoTerrain* : *Arbre_3D_ID.obj*.

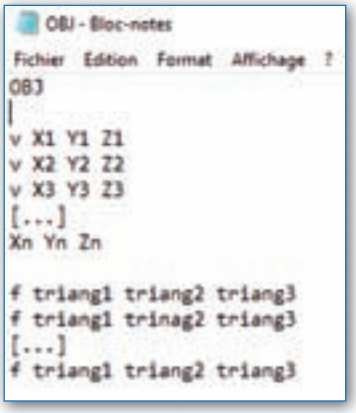


Figure 38a/b : Comparaison entre les formats .OFF et .OBJ – n : nombre de points constituant le nuage ; m : nombre de faces constituant le volume ; t : nombre de sommets constituant la face ; triang : indice du point constituant un sommet ; v : préfixe indiquant les coordonnées d'un point ; f : préfixe indiquant la description d'une face.

Résultats

Finalement, la chaîne de traitement *Assemblage.fmw* est entièrement automatisée et permet la reconstruction fine de houppiers 3D selon des formes alpha, distinguant des niveaux de détails paramétrables pour les arbres en zones ouvertes et fermées. Les volumes sont extraits dans une extension .OBJ attendue par la société *RhinoTerrain* avec laquelle nous travaillons en partenariat.

Le tableau 5 présente les résultats obtenus ainsi qu'un comparatif en fonction de la considération ou non d'une extrapolation de points sur la base des houppiers.

Parallèlement à la reconstruction des houppiers, la chaîne de traitement « Assemblage.fmw » génère également les troncs leur étant associés et identifiés par l'attribut « ID » de la couronne segmentée.

Reconstruction des troncs par extrusion

Selon une approche plus simpliste, les troncs sont simplement modélisés par des cylindres dont la hauteur et le diamètre sont dépendants de la hauteur des arbres. Rappelons que nous avons défini le centre

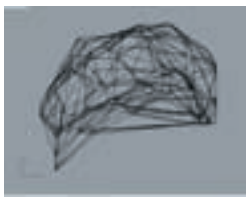
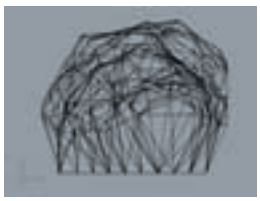
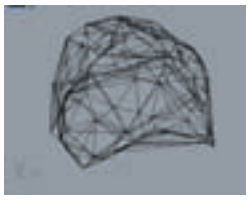
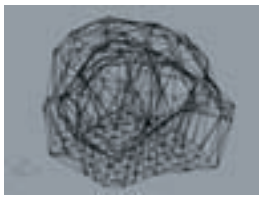
	Sans reconstruction de la base	Avec reconstruction de la base
Vue de droite		
Vue en ???		

Tableau 5 : De la 2D½ à la 3D, reconstruction des houppiers.

des troncs comme correspondant aux centroïdes des couronnes auxquelles ils sont associés, centroïdes constituant les couches *Modelisation_ouvertes* et *Modelisation_fermees* générées précédemment. Les paramètres dendrométriques sont déduits des extrema (X_{min}, X_{max}, Y_{min}, Y_{max}, Z_{min}, Z_{max}) appartenant aux différents sous-ensembles de points propres aux houppiers et extraits au cours de la première phase du traitement (*transformer BoundsExtractor*).

En considérant ces deux nouvelles couches de données, nous ajoutons une chaîne de traitements au *script Assemblage.fmw*, propre à la modélisation des troncs et pour laquelle les phases principales sont traduites dans le tableau 6.

Approximation du diamètre et de la hauteur des troncs

Dans un objectif de produire un rendu le plus réaliste possible, nous générons des troncs possédant des paramètres de diamètre et de hauteur leur étant propre et définis en fonction de ceux du houppier auquel ils se rattachent.

Ainsi, le diamètre des troncs est défini par $Ø_{tronc} = |Z_{max} - Z_{min}|$ et la hauteur du tronc est égale à $Z_{min} + 1$ (augmenter la hauteur du tronc d'un mètre permet de s'assurer de son raccord avec le houppier correspondant).

Bien sûr, ces relations n'ont aucun caractère scientifique et ne produisent donc pas de résultats très réalistes. Cependant, elles permettent dans un premier temps de fournir un rendu plus réaliste et dynamique.

Export des troncs

Finalement, les cylindres sont extraits dans un format .OBJ respectant la nomenclature mise au point avec la société *RhinoTerrain*. De plus, pour tenir compte de la distinction entre les deux classes de végétation disponibles au format *CityGML*, ils sont également enregistrés dans les dossiers propres à chacun des deux types de zones et que nous avons intitulé « Ouvert » et « Ferme ».

Résultat

Finalement, après assemblage puis texturation simpliste des couples d'objets troncs/houppiers générés, nous obtenons des objets « Arbres » parmi lesquels nous distinguons les élément isolés (figure 39a), associant un tronc à un houppier unique, des regroupements d'arbres (figure 39b), associant plusieurs troncs à un houppier unique. *RhinoTerrain* est aujourd'hui en charge de la retranscription de ces objets dans un format *CityGML*, en vue de leur intégration dans la maquette 3D.

En vue de développer un outil permettant d'étendre le processus à l'ensemble de la métropole (et donc d'entamer un processus de production) une interface a été développée sous *Tkinter* (*Python*). Cette interface intègre l'ensemble des traitements concernant la détection, la segmentation et la modélisation 3D de la végétation. Elle présente un intérêt majeur, car elle permet à l'utilisateur de renseigner un système de projection quelconque en entrée, lequel est transformé en variable puis gérer par la fonction GDAL *gdalwarp* pour produire systématiquement des résultats exprimés en RFG93-CC48.

Toutefois, une société privée s'est montrée très intéressée par le projet et serait susceptible de développer un partenariat avec le service pour se charger de sa mise en production. En attendant, la figure 40 propose un aperçu du résultat obtenu sur une portion de l'avenue Henri Fréville.

On distingue les arbres individuels (vert clair) des regroupements d'arbres (vert foncé) et on peut également noter un rendu intéressant des arbres d'alignement.

Illustration	Explications	Transformer
	• Remplacement de chaque centre de tronc issu des couches « Modelisation_ouverte » et « Modelisation_fermee » par un cercle dont le diamètre est calculé en fonction de la hauteur de l'arbre	*Geographic Bufferer*
	• Extrusion de chaque cercle selon une hauteur définie en fonction de la coordonnée du point le plus bas	*Extruder*
	• Export des objets au format .obj selon la nomenclature suivante : Tronc_ID.obj	

Tableau 6 : Détails de la chaîne de modélisation des troncs.

Figure 39a/b : Modélisation des arbres isolés et des regroupements d'arbres.

Figure 40 : Résultat final de la modélisation 3D de la végétation sur le territoire de Rennes Métropole.

Discussions

Efficacité du protocole de pré-traitements

Nous l'avons vu précédemment, un prestataire privé est actuellement chargé de la classification fine de la végétation dans notre nuage LiDAR. Ce dernier nous ayant fourni un échantillon test, il est intéressant d'effectuer une comparaison entre la classification fine qu'il propose et le nuage « nettoyé » que nous obtenons suite à notre processus de pré-traitements.

Dans un premier temps, nous comparons la classification fine réalisée par le prestataire à la pré-classification automatique réalisée par l'IGN. Nous observons alors une nette amélioration concernant la confusion qui existait entre les classes « bâti » et « végétation » (spécifications de l'ASPRS), comme l'illustrent les figures 41a/b/c.

Dans un second temps, nous comparons la classification du prestataire avec le nuage « végétation » obtenu d'après notre protocole de pré-traitements. Si la classification fine démontre une segmentation efficace de la classe « bâti » (totalement absente de la classe « végétation »), elle laisse par contre apparaître des confusions en-

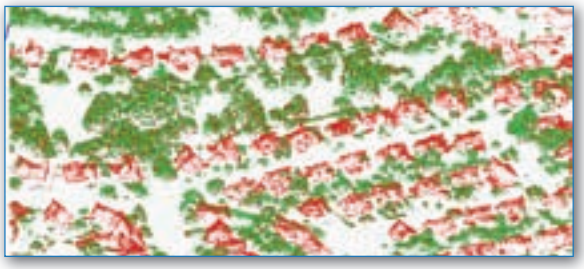


Figure 41a/b/c : Comparaison des classifications LiDAR réalisées par l'IGN et GEOFIT. En rouge la classe végétation de l'IGN, en vert celle de GEOFIT. Zoom croissant sur un quartier résidentiel de la gauche vers la droite. Les toitures disparaissent dans la classe végétation de l'IGN.

traînant la classification d'une partie ou de la totalité de certains houppiers à proximité de bâtiment en tant qu'élément de « bâti ». La figure 42 présente un comparatif entre l'échantillon fourni par le prestataire et notre nuage « végétation » sur des secteurs posant problème.

Nous concluons que, dans l'état actuel, nous proposons une extraction plus fine de la végétation. Une demande d'ajustement sera faite par la suite au prestataire. En effet, il serait intéressant de pouvoir disposer d'un nuage finement classifié et de s'affranchir de la phase de prétraitements qui, bien qu'elle soit efficace, n'est pas automatisée.

Limites de segmentation et de partition des arbres

Bien que traditionnelle, la segmentation des arbres selon une approche dite *raster* (Zhen Zhen *et al.*) présente des limites [Weinacker *et al.,* 2004 ; Nelson *et al.,* 2000]. Parmi les plus récurrentes : une mauvaise délimitation des couronnes, une sous-estimation de la hauteur des arbres ou encore la modification du positionnement originel des points.

Concernant la délimitation des couronnes, les incohérences géométriques ont très vite été remarquées et ont d'ailleurs entraîné la distinction des zones dites « ouvertes » et « fermées ». Nous avons adapté le processus de « partition » en concentrant notre attention sur la vraisemblance géométrique des houppiers plutôt que sur la distance les séparant de leurs voisins (C. Doceul). C'est donc sans surprise que nous constatons une nette amélioration des éléments classés en zones ouvertes due à une sélection plus stricte d'un point de vu géométrique. Néanmoins, quelques faiblesses sont à remarquer.

Tout d'abord, la gestion des houppiers que nous qualifions « éclatés ». En effet, si plusieurs approches d'union des fragments ont été abordées (buffers, analyses spatiales…) aucune n'a permis d'atteindre ce but sans impacter les autres houppiers (figure 43a).

Ensuite, bien qu'elle permette une partition plus cohérente des arbres, la méthode proposée ne propose pas encore une solution optimale : nous constatons la présence d'arbres isolés en zones fermées (figure 43b). Cette confusion est liée à un seuil de partition trop strict mais qui, s'il est abaissé, ne permet plus de distinguer efficacement les arbres isolés des regroupements. Cette faiblesse est plus dérangeante du point de vue de la transcription des objets au format *CityGML* (confusion des classes *solitaryObject* et *PlantCover*). La principale différence entre les arbres isolés et les regroupements, d'un point de vue structurel, est le nombre de troncs associé à un houppier. Ainsi, une solution pourrait consister à analyser le nombre de troncs associés aux houppiers en zones fermées pour identifier les éléments isolés.

Concernant la sous-estimation de la hauteur des arbres ainsi que la modification de la position originelle des cimes, il serait effectivement intéressant de réaliser des analyses comparatives complémentaires, notamment d'étudier l'impact lié à la normalisation du nuage, car nous considérons le nuage « végétation normalisé » pour la reconstruction des arbres.

Vers un clustering « orienté nuage » : K-moyennes et *voxels*

Pour parer les faiblesses liées à la rasterisation, on observe depuis 2006 un intérêt croissant pour les approches de segmen-

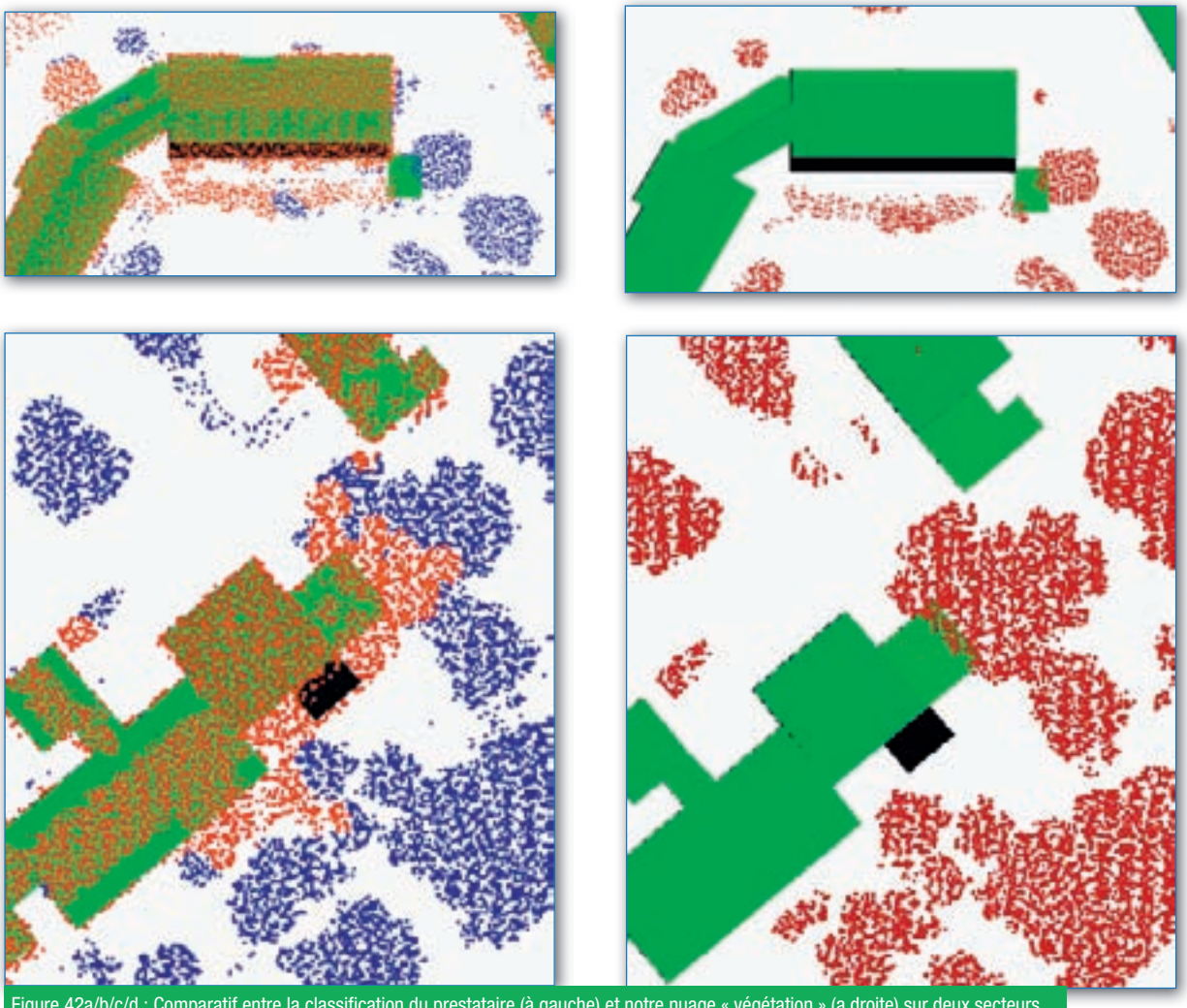


Figure 42a/b/c/d : Comparatif entre la classification du prestataire (à gauche) et notre nuage « végétation » (a droite) sur deux secteurs. En rouge le nuage « végétation » ; en orange : la classe « bâti » du prestataire ; en bleu : la classe « végétation » du prestataire.

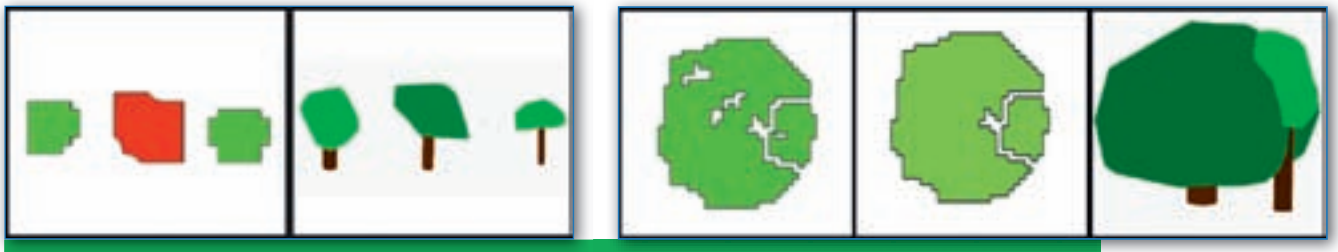


Figure 43a/b : Problèmes restants dans le traitement des houppiers.

tation dites « orienté nuage » [Zhen Zhen *et al.*] segmentant les arbres directement au sein du nuage LiDAR. Deux méthodes sont particulièrement utilisées : le *clustering* par k-moyenne ou la segmentation individuelle par *voxels*.

La technique de *clustering* par k-moyenne consiste à regrouper des points dans différents *clusters* selon un critère de distance (figure 44). Associant les maxima locaux d'un nuage de points (et donc les cimes) à des nœuds [Morsdorf *et al.*, 2004] parviennent à déduire les paramètres de position, hauteur et diamètres des couronnes des arbres.

Dans un second temps, l'utilisation des grilles *voxels* (figure 47), déjà très présente en imagerie

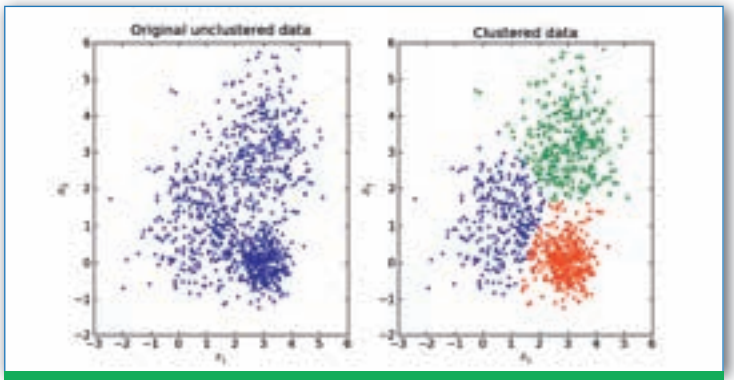


Figure 44 : *Clustering* par K-moyenne.

médicale où elle a été introduite en 1973 par Godfrey Hounsfield, fait également de plus en plus parler d'elle dans le domaine de la segmentation de données LiDAR. Analogue 3D du *pixel*, le *voxel* divise un espace 3D en cellules 3D, typiquement des cubes. Ainsi, en matière d'ITCD, des travaux plus récents s'intéressent à cette nouvelle technique [B. Douillard *et al.* ; Scott Gebhardt *et al.*]. Comme elle limite les interventions pouvant affecter la précision de la donnée initiale, il pourrait être intéressant de développer une méthode de segmentation du nuage LiDAR selon une approche « orientée nuage » préalablement à la phase de reconstruction 3D.

Reconstruction 3D des houppiers et écarts au nuage de points

Une fois les houppiers reconstruits en volume, il est naturel d'analyser les écarts existants entre ces objets et le nuage de points (végétation normalisée) dont ils sont issus.

Après avoir importé chacune de ces deux couches de données sous *CloudCompare*, nous analysons les écarts existant entre le nuage de point et les houppiers (à l'exclusion des troncs) à l'aide du *plug-in Cloud/Mesh.* La figure 46 traduit une répartition gaussienne des écarts selon une moyenne $\mu = 0$ et un écart-type $\sigma = 1{,}57$ m. La valeur de la moyenne est à la fois surprenante et rassurante. En effet, elle traduit un drapage quasi parfait de la reconstruction par formes alpha. La valeur de l'écart-type est liée à la considération de points résiduels exclus de la modélisation en raison des critères de surface (surface inférieure à 10 m^2) ou de géométrie (formes non circulaires).

Reconstruction 3D des houppiers : faces non soudées et non orientées

Une analyse des objets « houppiers », bien que déjà très prometteuse, met en évidence deux défauts majeurs de reconstruction. Premièrement, c'est sans surprise que nous constatons l'absence de normales associées aux différentes faces (figure 47a). Le *script* permettant l'export des objets ayant été développé par nos soins, nous avons conscience de cette faiblesse. Néanmoins, de manière générale, les logiciels de visualisation et de manipulation d'objets 3D disposent d'outils propres à la définition des normales ; il

Figure 45 : *Clustering* par voxels.
Crédit : B. Douillard.

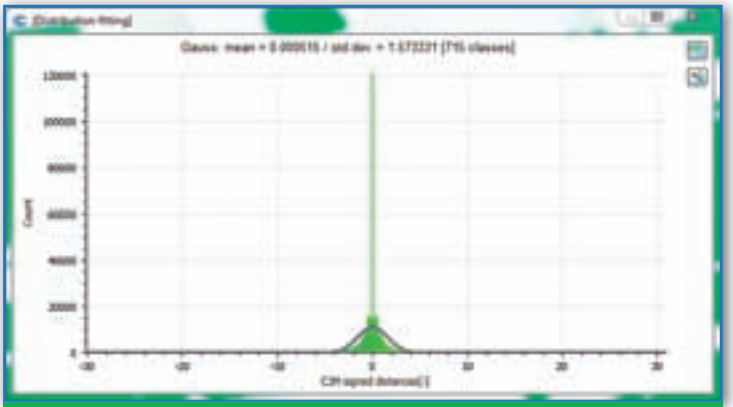


Figure 46 : Répartition des écarts entre le nuage de points et la modélisation 3D.

s'avère que cela est notamment le cas pour *Rhinocéros*. Après entretien avec la société *RhinoTerrain*, cette absence ne pose pas un réel obstacle au traitement des houppiers en vue de leur transcription dans un format *CityGML*. Par ailleurs le package *alphashape3d* propose une fonction complémentaire permettant le calcul des normales propres à chacune des faces. Nous travaillons actuellement à intégrer cette information au cours de l'export des objets.

Dans un second temps, nous remarquons également que les différentes faces des objets ne sont pas soudées les unes aux autres (figure 47b). Ce défaut complexifie toute manipulation des houppiers, car il peut entraîner des déformations importantes. De plus, si des outils de jonction des faces existent, leur performance est entravée par l'absence de normales. Néanmoins, une fois encore, ce souci ne semble pas poser un obstacle majeur pour la société *RhinoTerrain* à l'écriture des houppiers dans un format *CityGML*.

Modélisation 3D des troncs : vers une relation scientifique

D'après notre processus de reconstruction, le diamètre et la hauteur des troncs sont définis en tenant compte de la hauteur des houppiers auxquels ils sont associés. Bien que cette approche permette aujourd'hui de produire des troncs de circonférence et de hauteur diverses, créant ainsi plus de vraisemblance d'un point de vue esthétique, leurs valeurs restent incohérentes d'un point de vue scientifique. À l'avenir, il serait utile de définir de véritables relations mathématiques entre les envergures des houppiers et celles des troncs.

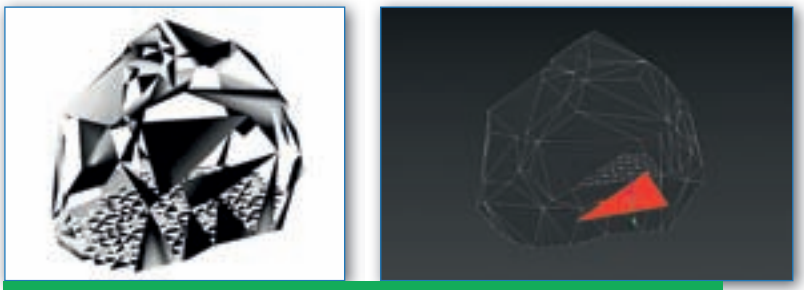


Figure 47a/b : Problèmes de reconstruction des houppiers.

La corrélation dense, une alternative envisageable ?

La corrélation dense est une technique visant à produire des nuages de points 3D à partir de prises de vues stéréoscopiques numériques très redondantes. Source d'acquisition de données à très haute résolution, la photogrammétrie pourrait peut-être fournir une alternative envisageable à la production de nuages de points LiDAR, plus onéreuse. Cependant, l'intérêt d'une acquisition LiDAR réside dans sa capacité à générer plusieurs retours pour une unique position et ce même au travers du feuillage. Une corrélation dense de points ne représenterait que la surface de la canopée, donc de ne considérerait en quelque sorte que les premiers retours d'un nuage de points LiDAR. Or, la multiplication des retours, par un effet de réflexion, est génératrice de nombreux points supplémentaires sur l'enveloppe extérieure de la canopée. De plus, il faut également tenir compte de la variation de la précision d'un relevé photogrammétrique (contrairement à un levé LiDAR) en fonction de la distance d'acquisition.

Le service SIG de Rennes Métropole réalisant, en partenariat avec l'IGN, des prises de vues obliques à très haute résolution sur le territoire, il serait intéressant de réaliser une étude de faisabilité de l'utilisation de nuages de points construits par corrélation dense sur la base de ces clichés.

Conclusion

Aspirant à un futur plus fonctionnel, économe et durable, les villes réfléchissent à leur développement en s'appuyant sur la maquette 3D. Jumeau numérique du territoire, la maquette, parmi ces nombreux usages, est un support d'exploration et d'analyse des possibilités de développement, et doit donc être le plus fidèle possible à la réalité. La modélisation 3D du bâti est une mécanique largement maîtrisée, ce qui n'est pas le cas pour la végétation, pourtant deuxième donnée volumique la plus importante à l'échelle de la ville.

Les formes alpha, par leur souplesse de reconstruction et leur niveau de détail paramétrable, constituent une solution intéressante pour la reconstruction 3D de la végétation. Très fidèles à la réalité, les objets modélisés présentent de bonnes dispositions pour une intégration dans la maquette 3D de la métropole. Néanmoins, cette étape reste encore une marche supplémentaire à franchir.

Aujourd'hui, le service SIG de Rennes Métropole dispose d'un outil semi-automatique de détection, de segmentation et

de modélisation de la végétation présente sur son territoire, fruit de deux travaux successifs de recherche menés par des étudiants de l'ESGT. Appliqué jusqu'à présent sur des secteurs d'études de taille restreinte, une mise en production est maintenant nécessaire afin de pouvoir appliquer le processus à l'ensemble de la métropole. Sur ce sujet, un prestataire privé s'est montré fortement intéressé par les résultats obtenus et un partenariat pourrait être envisagé avec le service SIG pour franchir cette nouvelle étape vers une intégration dans la maquette 3D. ◘

Bibliographie

- Au *et al.* : *Skeleton extraction by mesh contraction. ACM Trans. on Graph*, volume 27, n° 3, 2008, p. 44:1-44:10.
- Bournez *et al.* : *From TLS Point Clouds to 3D models of trees : A comparison of existing algorithms for 3D tree reconstruction. Remote Sensing and Spatial Information Science*, 2017, volume XLII-2/W.
- Cao *et al.* : *Point cloud skeletons via Laplacian-based contraction. Proceedings of the IEEE International Conference on Shape Modeling and Applications*, Aix-en-Provence, France, 2010, p. 187-197.
- Douillard *et al.* : *On the segmentation of 3D LiDAR point clouds. Conference Paper, Proceedings – IEEE International Conference of Robotics and Automation*, juin 2011.
- *ESRI* : *USDA Forest Service FUSION Offers Powerful Lidar Tools. ESRI NEWS*, printemps 2013.
- *Gebhardt et al.* : *Polygons, Point-Clouds and Voxels, a Comparison of High-Fidelity Terrain Representations.*
- Gupta *et al.* : *Comparative analysis of clustering-based approaches for 3-D single tree detection using airborne fullwave LiDAR data. Remote Sens*, vol. 2, 2010, p. 968-989.
- Lafarge *et al.* : *Implementation of a Polyhedral Approximation to a 3D Set of Points Using the* α*-Shape. Journal of Statistical Software,* janvier 2014, volume 56, issue 4.
- Lande *et al.* : *Modélisation 3D d'arbre pour comprendre le climat urbain, un projet multidisciplinaire ambitieux. Revue XYZ*, 2014, 141 (4e trimestre), pp. 61-68.
- *Les modèles numériques de canopée (MNC) de Montréal. Géomatique* (revue de l'Ordre des Arpenteurs-Géomètres du Québec), printemps 2016, Volume 43 – Numéro 1, p. 16-19.
- #PacteEtatMétropole : l'innovation au service des territoires : https://www.gouvernement.fr/pacteetatmetropoles-l-innovation-au-service-des-territoires (27 janvier 2017).
- Pateiro-Lopez *et al.* : *alphahull, Generalization of the Convex Hull of a Sample of Points in the Plane. R package* version 0.2-1, 2010. http://CRAN.R-project.org/package=alphahull
- Pfeifer *et al.* : *Automatic Reconstruction of Single Trees from Terrestrial Laser Scanner Data. Proceedings of 20th ISPRS Congress*, 2004, p. 118-119.
- Rahman *et al.* : *Individual tree measurement in tropical environment using terrestrial laser scanning. Jurnal Teknologi*, 73 (5), 2015, p. 127-133.
- Reitberger *et al.* : *3D segmentation of single trees exploiting full waveform LiDAR data, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 64, 2009, p. 561-574.
- Valente : *Niveau de précision d'une maquette urbaine.* https://bimbtp.com/conception/niveaux-de-precision-dune-maquette-numerique-urbaine
- Valente : *Les intérêts d'une maquette urbaine.* https://bimbtp.com/conception/les-interets-dune-maquette-numerique-urbaine (consulté le 24 décembre 2017).
- Van Leeuwen *et al.* : *Canopy surface reconstruction from a LiDAR point cloud using Hough transform. Remote Sensing and Spatial Information Sciences.* Lett. 1, 2010, p. 125-132.
- *Wolisz et al.* : *District Information Modeling as a foundation for simulation and evaluation of smart city approaches*, 2014.
- Zhen Zhen *et al.* : *Trends in Automatic Individual Tree Crown Detection and Delineation-Evolution of LiDAR Data. Remote Sensing and Spatial Information Science*, volume 8, 2016, p. 333.
- Zhu *et al.* : *Reconstruction of Tree Crown Shape from Scanned Data,* juin 2008.

ABONNEZ-VOUS !

Tarifs TTC	1 an	1 numéro
FRANCE	70 €	14 €
Education (TVA 2,1 % incluse)	55 €	
Union Européenne	85 €	16 €
Etranger	95 €	18 €

Le premier bimestriel français consacré entièrement aux technologies et aux applications des systèmes d'information géographique

OUI, je souhaite m'abonner 1 an à **Géomatique Expert** au prix de ..... €

Mon abonnement comprend : 6 numéros + 10 eNewletters

Je règle mon abonnement par : ☐ chèque ci-joint à l'ordre de CIMAX ☐ à réception de facture ☐ virement ou mandat administratif

Prénom ..... Nom ..... Fonction .....

Société .....

N° TVA intracommunautaire .....

Adresse .....

Code postal ..... Ville .....

Tél. ..... eMail (pour recevoir les newsletter) .....

L'abonnement ne sera pris en compte qu'accompagné de son règlement. ☐ Je souhaite recevoir une facture acquittée.

À renvoyer sous enveloppe affranchie au tarif en vigueur à : **Géomatique Expert** Service Abonnements

12, place G. Pompidou • 93167 Noisy-le-Grand cedex • Tél. : 01 45 92 98 98 - Fax : 01 49 32 10 74

Géocliché

Moyenne de l'index de végétation NVDI sur l'Europe centrale entre le 1er juin et le 31 août (en vert, anomalie positive ; en brun, anomalie négative). Les effets de la sécheresse qui a frappé l'Europe centrale et septentrionale sont clairement visibles. Les récoltes de blé en Allemagne et Tchéquie ont été fortement affectées.

Document NASA.

Retrouvez les principaux articles de la revue en ligne sur le site

Géomag.fr

INTERGEO®

GLOBAL HUB OF THE GEOSPATIAL COMMUNITY

FRANKFURT 2018

16 – 18 OCTOBER

DIGITALIZATION

BIM

INTERAERIAL SOLUTIONS

SMART CITIES

» **REGISTER NOW!**

WWW.INTERGEO.DE

DVW

Host: DVW e.V.
Conference organiser: DVW GmbH
Trade fair organiser: HINTE GmbH

SPONSORS: HEXAGON Trimble.