

ISSN : 1620-4989

Géomatique

Expert

SIG et BIM (2)

Convergence SIG/BIM

Journées de la Recherche IGN

Traitement d'images en Python

N° 121 - Mars-Avril 2018 - 14 €



Quelles pratiques et méthodes adopter lorsque l'espace se contracte et le temps s'accélère ?

La 19^e édition du GEOWORLD vous donne les clés d'une transformation digitale réussie grâce aux solutions d'optimisation géographique.

AU PROGRAMME



INFORMATIONS & INSCRIPTION GRATUITE
geoworld.geoconcept.com

Avec la participation de :



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 : CNAM/ESGT, L. Charrier,
C. Schiltz, IGN, C. Castaing, G. Nagy,
L. Niggeler, F. Robida

Ont collaboré à ce numéro :

Hervé Halbout

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 :

0618 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.



2^e et 4^e
de couverture

édito

Géo | néopotamique

Quand on parle de changement climatique, on évoque surtout le réchauffement atmosphérique dû à l'accumulation du dioxyde de carbone issu de la combustion des « énergies fossiles », avec sa principale conséquence : la montée du niveau des mers, qui menace à moyenne échéance les principales métropoles côtières. Les multiples débats autour de la définition exacte du « trait de côte », alors que cette montée ne s'est pas encore concrétisée, laissent augurer d'un long travail pour les géographes des prochaines générations (je n'évoque évidemment pas ici la tâche pharaonique de déplacement des populations qu'il va bien falloir entreprendre tôt ou tard).

Une autre conséquence moins connue du phénomène : l'acidification des océans. Le CO₂, en se dissolvant dans l'eau, se transforme en acide carbonique (H₂CO₃), un acide certes faible, mais qui est capable de faire baisser le pH de l'eau. Or, sous un pH réduit, les bactéries et organismes marins qui sécrètent des coquilles calcaires se trouvent fragilisés, car le calcaire se dissout dans l'eau acide selon la réaction $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (un phénomène à l'origine des stalactites/stalagmites dans les grottes des massifs karstiques).

Mais l'une des conséquences la plus inattendue est l'apparition de cours d'eau à des endroits improbables. Témoins ces fermiers du nord de l'Argentine, qui ont vu il y a deux ans une partie de leurs champs s'effondrer pour former en quelques secondes un profond cañon où une rivière s'est mise à couler ; c'est ainsi qu'a pris naissance le *Rio Nuevo*, la « nouvelle rivière », qui mesure aujourd'hui plus de vingt-cinq kilomètres de long et atteint par endroits une profondeur de vingt mètres pour une largeur de soixante mètres environ.

En cause, d'une part un régime pluvial en forte hausse, sans doute sous l'effet des prémices du changement climatique. Mais pas que. La « pampa » argentine, autrefois recouverte de bois, de prairies et de cultures extensives, est devenue en quelques années une zone de monoculture dédiée à la production de soja, l'une des principales ressources économiques du pays (18 % de la production mondiale). Une mutation catalysée par les grandes multinationales de l'agroalimentaire, qui achètent les terres des paysans pauvres, puis les leur confient en métayage, charge à eux de planter et de récolter des hectares et des hectares du précieux légume¹ dont les végétariens – végétaliens raffolent.

Mais celui-ci ne pousse pas toute l'année, et sa capacité d'absorption de l'eau est bien plus faible que le mélange graminées-arbres qui constituait le milieu naturel original. La nappe phréatique a donc remonté sous l'effet des pluies plus intenses, jusqu'à affleurer et provoquer l'apparition spectaculaire de ce nouveau cours d'eau.

Doit-on donc arrêter de consommer du tofu pour préserver les écosystèmes ? Nous laisserons aux experts le soin de débattre de cette question. Quant aux géographes, leur avenir semble assuré : la nature ne cesse d'inventer de nouveaux paysages.

Vincent Habchi

¹ Le soja est un légume de la famille *Glycine*. Les « glycines » grimpantes décoratives sont des lointains cousins du soja, mais ne sont plus classées dans la même famille ; elles font maintenant partie du genre *Wisteria* (leur nom en anglais).

FORUM DE LA TOPOGRAPHIE 2018



L'Association française de topographie (AFT)
et le lycée Cantau, Anglet (Pyrénées-Atlantiques)



accueillent

le 14^e Forum de la topographie

le jeudi 29 mars 2018 de 9 h 00 à 17 h 30
1 allée de Cantau, 64600 Anglet

La cartographie mobile intérieure et extérieure

PROGRAMME

9 h 00 - 9 h 30	Ouverture du Forum et café de bienvenue	11 h 00 - 11 h 30	La parole aux exposants
9 h 30 - 9 h 45	Accueil des participants par Gérard MONPAYS, proviseur du lycée Cantau et Françoise DUQUENNE, présidente de l'AFT	11 h 30 - 13 h 00	Visite des stands
9 h 45 - 10 h 15	<i>"L'intérêt de la cartographie mobile pour les relevés topographiques à grande échelle", Mikaël ROYÈRE (GEOSAT)</i>	13 h 00 - 14 h 00	Pause repas
10 h 15 - 10 h 45	<i>"La cartographie mobile et le géo-référencement précis de réseaux souterrains", Quentin DARTIALH (IMAJING)</i>	14 h 00 - 15 h 00	Café sur les stands
10 h 45 - 11 h 00	Baptême de la promotion GEO 3D par son parrain l'inspecteur général de l'éducation nationale et sa marraine la présidente de l'AFT	15 h 00 - 15 h 45	La parole aux exposants
		15 h 45 - 16 h 15	<i>"Préparation de la compétition internationale de localisation intérieure IPIN 2018 : cartographie de parcours piétons", Valérie RENAUDIN (IFSTTAR)</i>
		16 h 15 - 17 h 00	Remise du prix de l'AFT à Luc PERRIN, Maxime CARTIER XATARD et Maylis TEYSSENDIER DE LA SERVE (exposés de 10 mn chacun)
		17 h 15	Cocktail



Actus

- Les premières rencontres SIG du Grand-Est 4
- Le Japon face aux catastrophes naturelles 4
- *SenseFly* et *Trimble* signent un accord autour des drones 5
- Saint-Quentin-en-Yvelines à 2,5 cm 6
- Le Grand Paris des géomètres 10
- *Géom@TICE* 2018 13
- La Normandie, une région au cœur du BIM 14
- Forum *GéONG* 2018 16
- FME 2018 17
- Communiqué du CNIG 17
- Journées de la Recherche IGN 2018 18

SIG

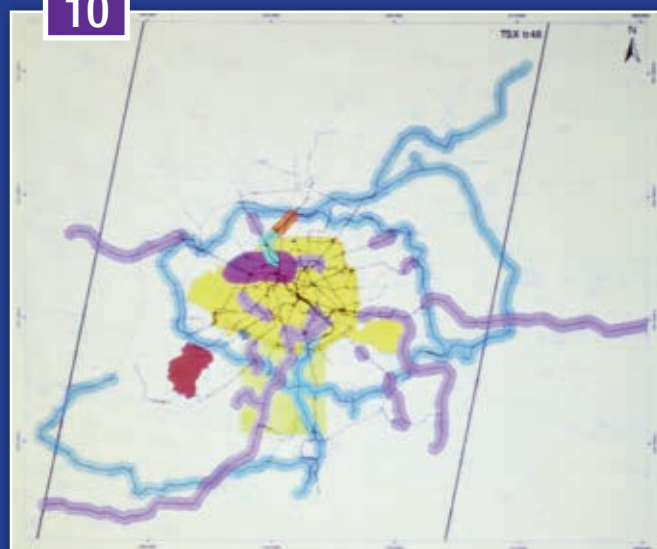
- BIM et SIG, l'impossible mariage ? 34

Carto

- Traitement d'image en Python avec *RSGISLib* 46

SIG et BIM (2)

10



14



34



Les premières rencontres SIG du Grand-Est

Les besoins en cartographie numérique sont de plus en plus précis, la fréquence d'actualisation des données s'accroît, et en parallèle la technologie évolue de plus en plus vite ; pouvoir faire un état des lieux des nouvelles problématiques et des solutions mises en œuvre pour y répondre trouve toute sa pertinence.

Pour cela, l'*Europe vue du Ciel* organise les *Rencontres SIG du Grand-Est*, qui se tiendront sur l'aérodrome de Chambley le 19 avril 2018.

Elles s'articuleront autour de trois moments clés : présentation de l'avionneur et des nouveaux outils et techniques d'acquisition mis en œuvre, interventions de Philippe Slisse, chef de projet SIG3D de l'Eurométropole de Strasbourg et d'Antoine Richard, chef de projet SIG du Grand Nancy, axées sur la gestion des données 2D et 3D. Ces séquences seront ponctuées de questions-réponses permettant d'apporter non seulement des informations précises sur des points particuliers mais aussi de comparer les différents avis et expériences des participants.

Les moments de pause (incluant le déjeuner prévu sur place) seront autant d'occasions supplémentaires de poursuivre les discussions dans l'esprit de convivialité et de découverte que nous souhaitons donner à cette journée.

Favoriser l'échange d'idées entre des géomaticiens est le but principal de cette journée. Elle vise en particulier l'ensemble des géomaticiens du Grand-Est.

Pour plus de renseignements, n'hésitez pas à contacter Christophe SCHILTZ (tél. : 06 64 14 55 41 ou 03 82 46 04 25). ■

Le Japon face aux catastrophes naturelles

On peut parfois apprendre en regardant ce que font nos voisins. Dans le domaine des risques naturels, le Japon fait figure de « poids lourd », le pays étant soumis aussi bien aux aléas sismiques, marins (tsunamis post-sismiques), météorologiques (typhons) et, hélas, nucléaires. Considéré comme très avancé en matière de prévention et de gestion des désastres, il développe depuis longtemps des mesures pour réduire sa vulnérabilité.

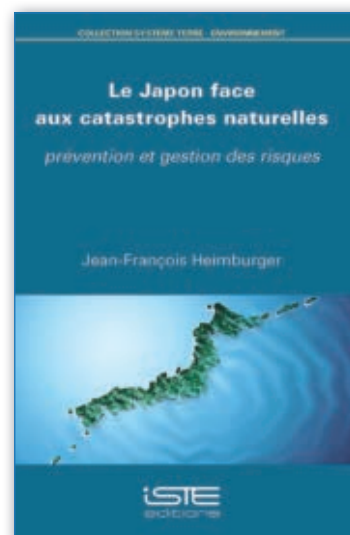
Divers événements récents ont néanmoins surpris et mis en évidence une série de difficultés. Parmi eux, les séismes de Kôbe en 1995 et de Kumamoto en 2016, le tsunami de l'est du Japon en 2011, les mouvements

de terrain à Hiroshima en 2014, l'éruption volcanique du mont Ontake la même année, ou encore les pluies diluviennes du nord de Kyûshû en 2017.

Le Japon face aux catastrophes naturelles, ouvrage de Jean-François Heimbürger publié aux éditions ISTE, s'appuie sur nombre d'entretiens, d'enquêtes de terrain et de sources écrites majoritairement japonaises, propose une analyse complète des risques naturels au Japon, en allant à l'encontre de certaines idées reçues, et expose les clés pour comprendre les défis auxquels doit faire face le pays.

Aux éditions ISTE. 204 pages. ISBN : 978-1-78405-373-4,

46 € pour la version papier (également disponible en version e-book au prix de 9,90 €). ■



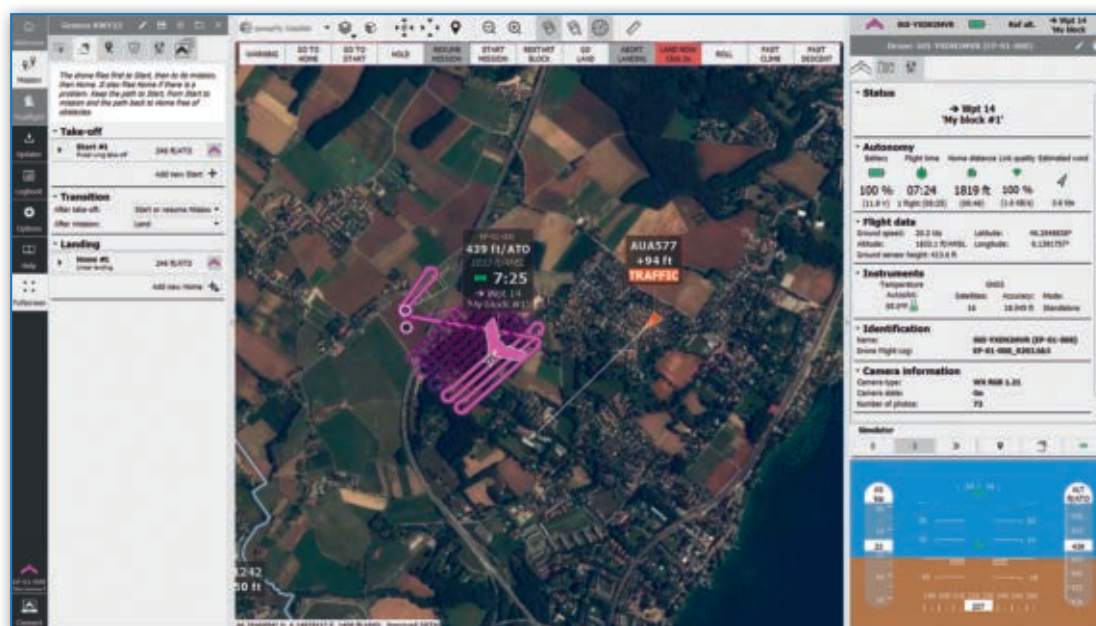
SenseFly et Trimble signent un accord autour des drones

SenseFly, la société suisse basée à Cheseaux-sur-Lausanne, conceptrice des fameux drones eBee très utilisés pour les besoins cartographiques des organisations humanitaires, entre autres, vient de signer un accord avec Trimble pour simplifier l'intégration des images prises par ses drones au sein des suites photogrammétriques éditées par Trimble.

Concrètement, au sein de la suite eMotion développée par senseFly pour post-traiter les images issues de l'appareil photo, il est désormais possible d'exporter les photographies géoréférencées dans un format (.JXL) automatiquement reconnu par les outils Trimble, ce qui évite toute la phase de

saisie et d'organisation manuelle des clichés généralement associée à ce type de traitement. Rappelons que la caméra senseFly est équipée d'une optique photogrammétrique et embarque un capteur vingt mégapixels dans un format 1 pouce.

L'utilisation des outils Trimble permet en outre de combiner les photographies avec une variété d'autres mesures, comme celles issues de stations totales, ou des nuages de points LIDAR. □



Saint-Quentin-

La communauté d'agglomération de la ville nouvelle de Saint-Quentin-en-Yvelines a fait réaliser une orthophotographie à 2,5 cm d'une partie de la ville de Plaisir, avec en bonus un modèle 3D ultra-réaliste réalisé à partir de l'extraction stéréoscopique. De quoi satisfaire nombre de demandes de ses services techniques.

La ville de Plaisir (Yvelines) a récemment rejoint la communauté d'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines (autrefois ville nouvelle), obligeant les responsables, notamment des services techniques, à acquérir (ou à ajouter) des données sur cette nouvelle commune, données qu'ils ne possédaient pas jusqu'à présent. Au nombre de ceux-ci, le service géomatique, qui a décidé de compléter son orthophotographie en effectuant une mission complémentaire au-dessus de la nouvelle venue. L'occasion, Laurent Charrier, responsable géomatique de la communauté, de tenter une expérience inédite.

À Saint-Quentin-en-Yvelines, les géomaticiens n'ont jamais hésité

à pousser les avionneurs dans leurs derniers retranchements, afin d'obtenir les meilleurs clichés aériens possibles compte tenu de l'état de l'art du moment. L'année dernière, Laurent Charrier a donc contacté *'Europe vue du Ciel'* pour réaliser un « prototype » : une photographie aérienne prise à la fin d'automne, période où la végétation ne masque plus complètement le sol. Autre objectif : obtenir une résolution et un calage aussi précis que possible. Car l'ambition de Laurent Charrier était d'utiliser cette orthophotographie non seulement comme référentiel de calage des différentes couches métiers produites par la communauté, mais également comme base pour générer un positionnement planimétrique,

ainsi qu'un MNT, suffisamment précis pour pouvoir couvrir tous types d'applications. Or, qui dit MNT, dit altitude du terrain, donc obligation de « passer au travers » de la végétation qui pousse dessus.

'Europe vue du Ciel' possède plusieurs vecteurs aériens qu'elle peut adapter à chaque mission. Ici, le drone ne pouvait pas convenir : la surface à acquérir était beaucoup trop importante. L'utilisation du drone se cantonne actuellement à des applications précises sur des espaces limités, étant donné sa faible autonomie. Recourir à l'ULM, l'un des produits phares de *'Europe vue du Ciel'*, présentait également un certain nombre de soucis : en



en-Yvelines à 2,5 cm

Extrait du modèle 3D issu de la campagne de photographie à 2,5 cm réalisée par l'Europe vue du ciel.

région parisienne, la circulation aérienne est très dense et les altitudes possibles de vol très limitées ; ces contraintes ne permettaient pas de réaliser des prises de vue à haute précision de qualité, car la vitesse de l'avion aurait été trop importante et aurait entraîné un flou au sol non compensable.

Le seul moyen de satisfaire les exigences de la communauté d'agglomération était donc d'utiliser un hélicoptère, seul « aéronef » capable de voler suffisamment lentement (voire même d'arrêter en vol), et d'équiper l'appareil photo d'un téléobjectif à longue focale. Préalablement au vol, il a fallu installer des points d'amer au

sol pour servir de référence lors du futur traitement d'orthorectification. Des géomètres ont donc étendu le réseau d'arpentage et placé vingt-deux clous à peu près régulièrement espacés sur le territoire à acquérir.

Une fois les autorisations de la DGAC obtenues, la mission s'est déroulée le 22 novembre, avec départ et retour à l'héliport de Paris/Issy-les-Moulineaux. Moins de deux heures ont été nécessaires pour acquérir l'ensemble du quartier du Valibou (soit deux kilomètres carrés), deux heures placées à cheval sur le « midi solaire » de Paris afin de minimiser les ombres qui, à cette période de l'année, sont assez allon-

gées (le Soleil ne monte que peu au-dessus de l'horizon). L'utilisation de l'hélicoptère a permis de maintenir la vitesse de vol en deçà de 150 km/h et l'altitude à 550 mètres (c'est-à-dire en dessous du plancher des couloirs aériens commerciaux).

Pour ce qui est de la prise de vue, l'*Europe vue du Ciel* a employé un boîtier moyen format **Phase One** haut de gamme (capteur cent millions de pixels) avec un objectif de focale 110 mm. L'ensemble de la zone a été couverte par des photos obliques 360° (deux passages par cible), soit au total 1 650 clichés représentant, une fois transformés en images au format TIFF, environ 500 Go de données.

Production

Une fois les multiples photographies obliques transférées sur disque dur, la deuxième partie du travail a commencé. L'ensemble des clichés a été injecté dans un utilitaire de traitement chargé d'effectuer les corrélations entre les prises de vue, et générer, à partir de l'image mosaïque reconstituée et des données d'altitude dérivées, le modèle 3D et le MNT.

Cette partie complexe consiste tout d'abord à harmoniser la radiométrie entre les clichés. Celle-ci (bien que les photographies aient été prises à peu près à la même heure) peut varier (en raison de la présence de nuages, par exemple). La méthode de correction radiométrique choisie utilise la valeur de plusieurs pixels situés dans les zones de recouvrement. L'usage d'une zone étendue permet d'effectuer des corrections bien plus précises qu'un simple point blanc comme cela se fait sous des logiciels de traitement d'image comme **Photoshop**, car le point blanc ne prend en compte qu'un seul

pixel (qu'il faut donc choisir judicieusement !).

Après cette phase préliminaire, l'utilisation des points d'amer a permis de déterminer l'orientation exacte des photographies, et donc de connaître tous les paramètres des transformations optiques applicables. Une fois ceux-ci déterminés, vient la rectification des clichés puis l'appariement et la corrélation, étape la plus longue et la plus complexe du traitement. Vu la complexité sous-jacente, la société belge **BeMap**, qui a réalisé l'opération pour le compte de l'**Europe vue du Ciel**, a loué de la puissance CPU (ferme de serveurs) et une grande quantité de mémoire RAM. En effet, toutes les images à corrélérer doivent idéalement pouvoir être chargées en RAM simultanément, faute de quoi le processus peut ralentir drastiquement. Malgré toutes ces précautions, le traitement a nécessité une semaine de calcul environ pour obtenir un résultat satisfaisant.

Trois produits sont générés par le logiciel de corrélation : l'orthopho-

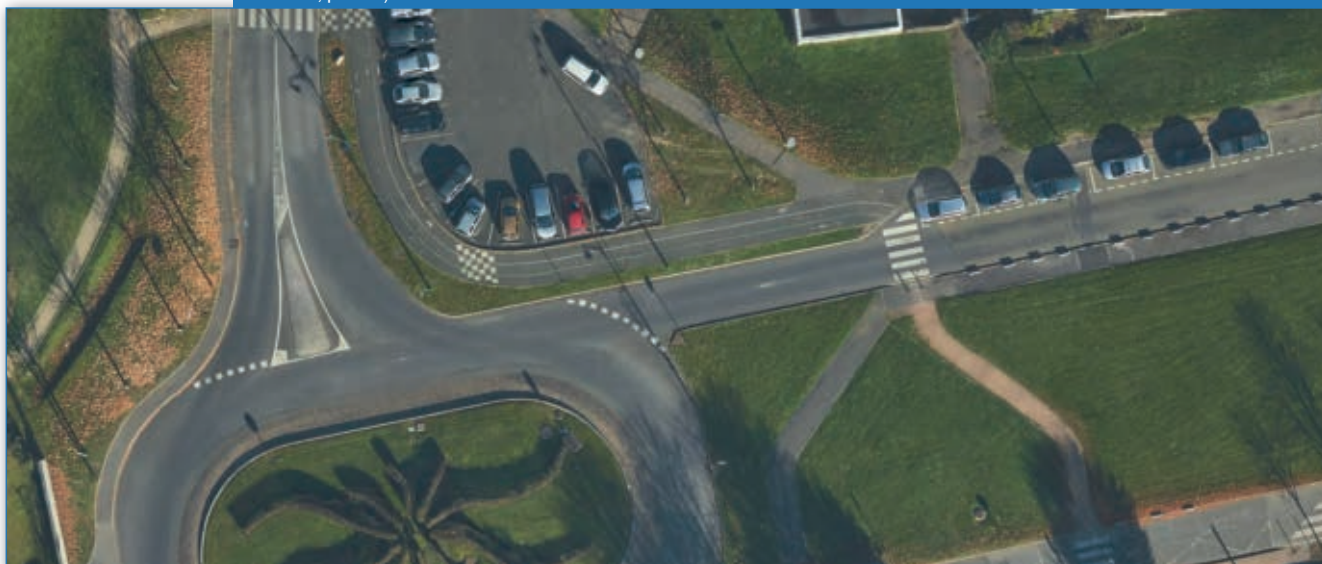
tographie, le modèle numérique de terrain/élévation et le nuage de points constitué des pixels composant les images avec leur position tridimensionnelle. Ces livrables doivent faire l'objet d'un examen *a posteriori* pour en éliminer les éventuels points aberrants (*outliers*) avant d'être livrés au client, sous des formats standards (TIFF pour les photographies, I3S pour le modèle 3D et LAZ pour le nuage de points).

Objectifs

Les objectifs de cette mission expérimentale étaient multiples : obtenir un levé de surface et de récolement cohérent, bien sûr, mais également pouvoir dénombrer tous les éléments du paysage urbain : candélabres, arbres, abri bus, bords de voie, trottoirs, murets, clôtures, etc.

De ce côté, Saint-Quentin-en-Yvelines est enchanté : l'orthophotographie à 2,5 cm de l'ensemble du quartier donne une précision de restitution inégalée : « *Plus besoin d'envoyer des équipes sur le terrain pour relever*

Orthophotographie à 2,5 cm de résolution sol. Le vol ayant été réalisé mi-novembre, le sol est parfaitement visible en dessous des arbres dont les feuilles sont tombées, mais les ombres portées sont longues. Le logiciel de corrélation élimine les objets mobiles (voitures sur les routes, piétons).



la configuration des lieux, explique Laurent Charrier. Avec ce niveau de précision, tout est lisible directement sur l'image, et parfois celle-ci, qui "voit du dessus" restitue des détails qui sont invisibles du sol. Couplez à cela la possibilité d'effectuer des mesures directement dans un logiciel SIG – ou un client léger couplé au SIG – et voilà ! Vous disposez d'un outil formidable pour gagner un temps précieux. »

Effectivement, la qualité de l'image finale permet de localiser et d'intégrer en bloc dans le plan topographique de l'agglomération des éléments comme les candélabres, les arbres, les bords de trottoir... plutôt que d'avoir à les lever un par un. Du côté 3D, le modèle texturé comporte des détails d'une extrême finesse, par exemple l'intégralité des poteaux d'un terrain de rugby. L'algorithme de calcul du modèle a été conçu pour éliminer les éléments non corrélables, comme par exemple les piétons ou véhicules en mouvement. Ces derniers n'apparaissent donc pas sur la maquette (mais les véhicules

en stationnement sont, eux, présents).

Bien sûr, tout n'est pas rose. Ainsi, s'il est relativement facile de segmenter/classifier le nuage de points produit par la photo-interprétation et déterminer ce qui est végétation, bâti, routes, etc., ce n'est pas nécessairement le cas pour les tampons et autres regards donnant accès au réseau, en raison notamment des zones d'ombres et des artefacts possibles dans la correction de couleurs. Le plan de recensement des réseaux humides devra donc être complété par des levés de terrains supplémentaires. Paradoxalement, ces problèmes sont dus à la météo trop ensoleillée, qui a provoqué l'apparition d'ombres trop franches. « Il est possible, indique Christophe Schiltz, responsable commercial de l'Europe vue du Ciel, de réaliser des photographies par temps couvert, ce qui élimine les ombres, mais entraîne d'autres complications, comme l'allongement du temps de pose. Il n'y a pas, pour l'instant, de solution miracle au problème

des ombres, à moins de faire plusieurs captures à différents moments de la journée, et de générer une image composite. Mais ceci nécessite un prétraitement délicat qui allonge la durée de calcul des produits. Une autre possibilité consisterait à prendre des photographies HDR, prises en rafale avec des temps de pose différents, pour déboucher les ombres et atténuer les blancs, mais rares sont les boîtiers professionnels qui proposent ce genre de technologie. »

En outre, si la précision planimétrique obtenue est suffisante pour procéder au calage du plan topographique, les données altimétriques restent, quant à elles, trop peu précises (5 à 10 cm) pour quelques applications, particulièrement la gestion des réseaux d'eaux usées, ou parfois l'écoulement gravitaire dépend d'une pente de quelques centimètres au plus. Toutefois, l'orthophotographie permet de repérer les regards, et donc d'accélérer les opérations de nivellement complémentaires. ■

Rendu en perspective du modèle 3D constitué à partir des photographies obliques.



Le Grand Paris des géomètres

Bref retour sur la conférence organisée par l'ESGT au CNAM destinée à mieux cerner les enjeux du projet pharaonique que représente le Grand Paris pour les géomètres.

Quand on parle de projets de métro souterrains, la première problématique qui vient tout de suite à l'esprit est celle de la sécurité. Sécurité du chantier, bien entendu, mais surtout sécurité des riverains. Les travaux enterrés, qu'ils laissent derrière eux des canalisations ou des tunnels, ont une réputation « sulfureuse » acquise au fil des années : multiples explosions de canalisations de gaz mal repérées, tassements menaçant l'intégrité des bâtiments lors du forage du tunnel du RER E, effondrement dans une cour d'école, heureusement déserte, à l'aplomb du tunnel de l'extension de la ligne 14 du métro vers Olympiades.

Nécessité d'un référentiel de précision

« En raison de l'urbanisation galopante, et du développement des infrastructures qui vont avec, notre sous-sol est devenu un véritable gruyère, explique Yves Riallant, ancien délégué général de l'Afigéo. Nous avons un trésor

sous les pieds, mais jusqu'à récemment il était nécessaire de creuser à chaque fois pour être certain de la nature, et de la position, de ce trésor. »

Le problème du positionnement n'est pas nouveau. Dès 1987, dans un article de *Ouest France*, des gestionnaires promettaient « une carte numérique du sous-sol pour l'an deux-mille ». Malheureusement, force est de constater que, du moins jusqu'en 2017, rien n'a véritablement été fait dans ce sens.

Les pouvoirs publics ont cependant été obligés de prendre des mesures, après la répétition des accidents survenus au cours des années 2000. La loi *Grenelle 2* a donc introduit l'obligation de repérer les réseaux enterrés suffisamment précisément. Mais les modalités d'applications, qui ont fait l'objet de travaux à l'AFNOR, ont mis en avant la différence de point de vue entre les géomaticiens, qui pensaient base de données et référentiels, et les géomètres, pour qui les travaux portaient essentiellement



Yves Riallant (à gauche), ancien délégué général de l'Afigéo, explique les raisons qui ont conduit à la mise en place du projet PCRS.

sur l'aspect CAO. Finalement, les travaux de préparation du décret d'application ont donc été menés avec le CNIG, ce qui a permis de prendre en compte l'avancée des technologies numériques et de positionnement. Le décret oblige en effet les exploitants à disposer de système de localisation précis à moins de dix centimètres. Il crée également **de facto** l'obligation de relevé et d'entretien d'un référentiel de voirie suffisamment précis pour pouvoir y porter ces mesures.

Des tests préliminaires ont été conduits à Orléans. Ils ont montré que, pour la plupart, les opérateurs de réseau utilisaient des référentiels imprécis, quand il ne s'agissait pas tout simplement du cadastre. Devant ce constat, il a été décidé qu'il fallait créer une toute nouvelle image de la voirie à partir d'un nouveau levé sur l'ensemble du territoire national. C'est un travail de fin d'études réalisé par un étudiant de l'ESGT qui a servi de base à la définition de ce nouveau référentiel de voirie, le PCRS. On devrait y trouver tout ce que l'on peut voir de la voirie, ainsi que les limites physiques apparentes qui peuvent servir de référence pour les cotes.

Le projet a démarré en 2014 dans un certain flou méthodologique, et une absence de standard d'échange. Son coût total est estimé à cinq cents millions d'euros, une somme qui peut paraître énorme, mais qui en réalité est dépensée en pure perte tous les quatre ans du fait de l'absence de données précises du sous-sol. Le PCRS devrait donc apporter une nouvelle représentation géographique actualisée, fiable et géoréférencée en coordonnées absolues.

Le travail est titanesque. Ce sont, par exemple, plus de trois millions de folios chez ERDF qu'il va falloir saisir. Le financement pour les petites communes n'est pas entièrement garanti. Il semble que les syndicats d'énergie aient un rôle à jouer. Cependant l'intérêt économique et social d'un tel document, standard et mutualisable, est évident.

Utilisation de l'interférométrie satellite pour la surveillance du sous-sol

Le principe de l'interférométrie consiste à comparer la phase des signaux radar sur deux clichés (satellites) pris à des instants différents : les endroits du sol qui ont bougé n'ont plus la même distance par rapport au satellite, donc la phase du signal renvoyé est différente, et cela apparaît sur l'interférogramme. Cette technique fonctionne particulièrement bien en environnement urbain

où les signaux renvoyés ont une cohérence très forte et permettent d'arriver à une précision millimétrique. Mais on peut également l'appliquer à la surveillance des barrages, à celle de l'environnement (glissement de terrains) ou à des mines souterraines pour déterminer comment se comporte la surface et voir s'il y a des risques d'effondrement.

Pour la surveillance des travaux de forage du Grand Paris, la première étape est de collecter des images radar d'archives aussi loin que possible (1992). L'examen de ces clichés pré-construction permet de mettre en évidence d'éventuels mouvements « séculiers » qui seront donc ensuite déduits des résultats des futures mesures.

Le travail sur les images radar est assez compliqué, car, quoique les ondes radio traversent les nuages, ils sont affectés par le retard troposphérique, lui-même fonction de l'humidité de l'air. De l'eau de pluie au sol peut causer des artefacts. Etc. Il faut donc en moyenne vingt-cinq images radar



Fifamé Koudogbo et Anne Urdiroz, toutes deux de la société Tre-Altamira, expliquent comment les images radar peuvent aider à détecter les mouvements de terrain ou surveiller les ouvrages d'art.

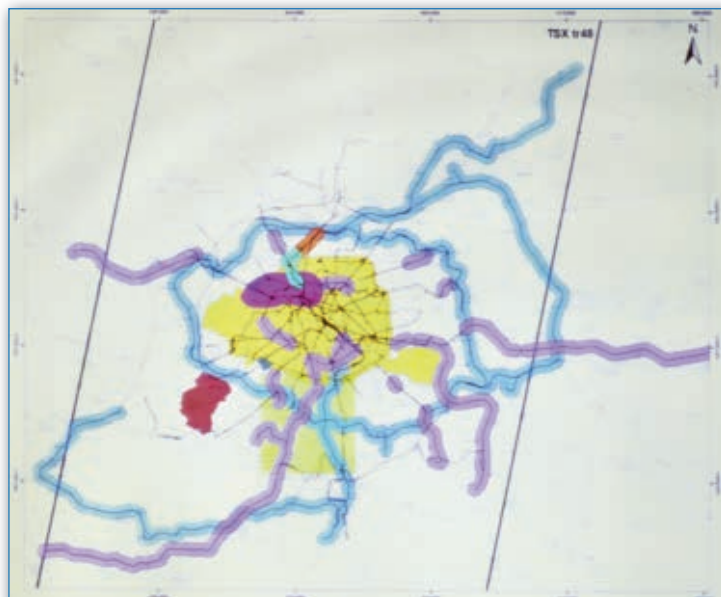
pour pouvoir extraire des informations statistiques significatives. Heureusement, avec l'arrivée de la constellation **Sentinel**, l'Île-de-France est couverte par des données radar tous les onze jours.

Une fois les images collectées, le processus s'appuie sur une série de réflecteurs identifiés comme stables au cours du temps, puis les données calculées, qui sont valables le long de la ligne de visée du radar, sont reprojétées sur la surface (c'est d'ailleurs au cours de cette reprojektion, dont la précision dépend de données externes, par exemple un MNT, que sont commises la plupart des erreurs planimétriques). Si les points de contrôle sont de bonne qualité, la précision obtenue est millimétrique.

La RATP utilise déjà cette technique pour la surveillance de ses ouvrages d'art (ponts), y compris des effets dus à la dilatation en période de fortes chaleurs. Le service infrastructure procède à ses propres mesures, qu'il complète avec des techniques satellites. C'est l'ensemble du réseau aérien, RER et métro, de la RATP, qui est ainsi surveillé, soit environ deux millions de points de mesure radar pour cent kilomètres de voies (dix mille points par kilomètre carré).

Techniques d'auscultation

L'apparition des techniques d'auscultation dans le génie civil remonte au vingtième siècle avec l'apparition des barrages voûtes. En 1930, un ingénieur des Ponts et Chaussées, André Coyne, imagine un dispositif appelé « extensomètre » pour mesurer les déformations des ouvrages : il s'agit de deux picots plantés dans



Emprises des études de surveillance réalisées par Tre-Altamira pour le compte de la RATP, ainsi que d'autres entités publiques franciliennes, comme l'IGC ou la ville de Clamart. En bleu, le tracé du futur **Grand Paris Express**.

le béton, reliés par une corde métallique tendue. Cette corde produit, lorsqu'on la pince, un son d'une certaine hauteur. Si l'écartement des picots change, la tension de la corde change également, et donc la note produite par pincement n'est plus la même. Ce changement est détectable à l'oreille ou avec des instruments de mesure (fréquencemètres ou résonateurs d'Helmholtz) déjà disponibles dans les années 1930. L'utilisation de ces extensomètres acoustiques est à l'origine du nom « auscultation ».

Après un certain nombre de catastrophes causées par la rupture d'ouvrages d'art (Barrages de Malpasset en 1959, Pont Wilson à Tours en 1978), l'auscultation périodique de l'ensemble des ouvrages d'art à risque est devenue réglementaire. Ces opérations sont évidemment justifiées par des considérations de sécurité, mais permettent également aux pouvoirs publics de justifier un prolongement de durée de vie, ou, au contraire, une fermeture anticipée. Les ouvrages

d'art obéissent, tout comme les appareils domestiques, à la loi en « baignoire » : au début se manifestent les défauts de jeunesse, puis l'ouvrage, mûre, ne pose plus de soucis majeurs, jusqu'à ce que ses structures commencent à vieillir.

Pour les constructions souterraines, les techniques modernes de surveillance *in situ* font appel à une foule de capteurs différents : inclinomètres pour mesurer la déviation de la verticale (précis à cinq millièmes de degrés), fissuromètres pour mesurer l'évolution des éventuelles fissures, piézomètres pour juger de la hauteur des nappes d'eau, extensomètres parfois articulés pour surveiller les ouvrages en courbe, etc. Ces capteurs, dont la plupart sont connectés à une centrale de surveillance, sont disposés sur tous les objets qui constitueront la future infrastructure (soutènements, parois, revêtement des tunnels...) et, pour certains, à proximité de celle-ci dans la zone dite géo-active, où des puits de mesures sont pratiqués.

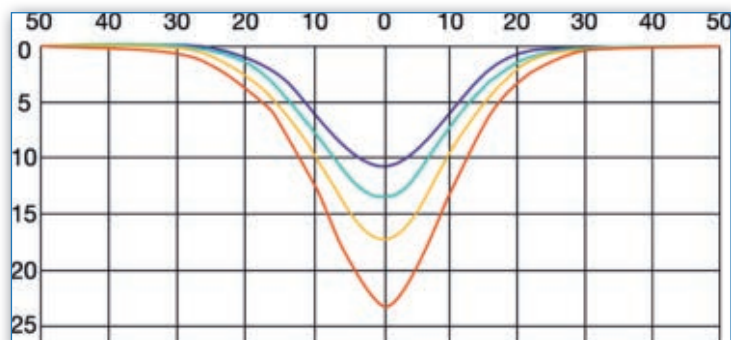


Diagramme montrant les tassements simulés (en millimètres) lors du creusement d'un tunnel en fonction de la distance à celui-ci (en mètres) en fonction de différents paramètres de percement, comme la profondeur ou le diamètre du tunnel.

La remontée des informations capteur permet une visualisation en temps réel des déplacements du sol, qui peuvent être ensuite corrélés avec l'avancement des travaux, ou archivés pour obtenir des visualisations de type *time-lapse* sur plusieurs jours.

Lorsque les ouvrages souterrains traversent des routes à grandes circulations, ce sont des prismes qui sont plantés sur les bas-côtés, et sont visés régulièrement par des stations totales robotisées situées hors de la zone d'influence de l'ouvrage

souterrain, pour mesurer les éventuelles déformations. Le cas des voies ferrées est encore plus critique, car les trains sont très sensibles à la géométrie de la voie. L'auscultation s'effectue toutes les vingt minutes via des séries de prismes positionnés sur les traverses tous les trois mètres environ.

L'auscultation ne se pratique évidemment pas que lors de phase de construction. Même après la livraison du chantier, les capteurs resteront actifs pour fournir des données détaillées sur la géométrie et les contraintes s'exerçant au droit des futures gares, des puits d'accès et de secours, ou encore des puits de ventilation et désenfumage. ▣

Géom@TICE 2018

L'ENSG organise la huitième édition de *Géom@TICE*, les rencontres de la Géomatique et des TICE, les lundi 28 mai après-midi et mardi 29 mai 2018 toute la journée.

Tout en restant un événement destiné aux professionnels de l'*e-learning* et de la géomatique, cette huitième édition s'ouvre aux axes thématiques et aux partenaires de l'I-SITE FUTURE, porté par la Comue Université Paris-Est.

Trois thèmes seront à l'honneur :

- Potentialités du consortium I-SITE FUTURE en matière d'*e-learning* : axes de mutualisation et de développement ;
- Enseignement à distance : opportunités et freins pour les acteurs de la formation et les partenaires socio-économiques dans le cadre de la réforme de la formation professionnelle en France ;

- Géomatique et ville : quels besoins en formation dans les vingt prochaines années.

Le programme prévisionnel, ainsi que le formulaire d'inscription (gratuite, mais obligatoire) sont disponibles sur le site de la manifestation :

<http://www.ensg.eu/GeomaTICE-2018>. ▣

Un événement proposé par ENSG (École Nationale Supérieure de Géomatique) et IGN (Institut National de l'Information Géographique et Forestière).

En partenariat avec UNIVERSITÉ PARIS-EST.

Et les membres du consortium I-SITE FUTURE :

École d'architecture de la ville & des territoires à Marne-la-Vallée, EIVP, ESIEE Paris, IFSTTAR, UP EM.

Cet événement s'inscrit dans le cadre de l'I-SITE FUTURE bénéficiant d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme d'Investissements d'Avenir, en complément des apports des établissements et partenaires impliqués.

Géom@TICE

La Normandie, une région au cœur du BIM



Hervé Halbout, Consultant SIG, 3D, BIM (www.hc-sig.fr hhalbout@hc-sig.fr)
NOVIMAGE (www.novimage.org presidence@novimage.org)

BIM World : un salon de référence en quelques chiffres

Le salon international *BIM World*, qui se déroule à Paris-La Défense, est devenu en trois années le salon de référence sur le sujet du processus BIM/Maquette numérique en Europe et dans le monde. Son succès ne se dément pas et les chiffres de fréquentation le montrent (chiffres 2017 de l'organisation) :

- 5 932 participants uniques (dont environ 4 000 le premier jour) ;
- 149 exposants ;
- 160 conférenciers ;
- 1 187 auditeurs aux conférences ;
- 91 conférences et ateliers ;
- 57 nationalités représentées.

L'édition 2018 s'est révélée plus importante encore, avec une progression significative, tout en restant dans le même Espace Grande Arche : 175 exposants, 94 conférences (dont une majorité bilingues anglais/français), *keynotes* et ateliers. Ce salon prend donc sa place dans le paysage du numérique et du BTP en France, mais aussi dans celui

de l'aménagement du territoire, de la gestion de patrimoine ou encore du SIG.

Un pavillon Normandie au BIM World en 2017

En 2017, à l'initiative d'un groupe d'entreprises, la Normandie a été la première région française à mettre en œuvre sur ce salon un espace commun régional, baptisé « Pavillon Normandie », sur lequel se sont retrouvés des entreprises, centres de formations, associations professionnelles, etc., pour exposer à la fois leur savoir-faire et le dynamisme de la région en matière de BIM/Maquette numérique.

L'Éducation nationale a également apporté son soutien à cette présence normande. Elle participe, en Normandie, à la promotion du BIM et de la maquette numérique dans le cadre de la formation des élèves et des enseignants, et veille à mettre ces nouvelles pratiques numériques au programme des examens. D'autres organismes, tels que la FFB, la FRTP, la CCI Normandie, les fédérations *Cinov* et *Syntec*, la région Normandie (à travers son

agence de développement), et d'autres, ont apporté leur soutien à cette initiative.

Cette démarche a été coordonnée et animée par l'association professionnelle *Novimage*, qui regroupe, à l'échelle de la Normandie, des entreprises, centres de recherche et de formation (publics/privés) et autres acteurs qui interviennent dans le domaine de l'imagerie 3D : modélisation, simulation, *serious gaming*, impression 3D, acquisition de données 3D, vidéo 360, RA/RV, BIM/maquette numérique...

Bis repetita au BIM World 2018

En 2018, le Salon *BIM World* a accueilli à nouveau un « pavillon Normandie », sur un espace plus vaste qu'en 2017 (<http://normandie-bimworld2018.strikingly.com>).

L'objectif de ce Pavillon Normandie était triple :

- Permettre aux exposants normands de présenter leur savoir-faire professionnel en matière de BIM/maquette numé-

rique, à travers les prestations qu'ils proposent ;

- Montrer que la Normandie sait travailler de manière collaborative, en mettant en avant le dynamisme régional et l'organisation en réseau sur le sujet (« Seul on va plus vite, ensemble on va plus loin » – proverbe africain) ;

- Permettre aux maîtres d'ouvrages de Normandie de découvrir tout le savoir-faire normand sur le sujet, en visitant un salon international à Paris.

Lors du Salon BIM World 2018, la Normandie a figuré parmi les « Executive partners », au côté de sociétés comme *Autodesk*, *Bentley*, *Bouygues*, *Vinci* ou encore la *Société du Grand Paris*.

Comme l'année précédente, nous avons choisi de décroisonner l'espace occupé par le pavillon Normandie. Toutefois, cette année, nous avons décidé de préparer l'aménagement de cet espace ouvert en réalisant une maquette numérique 3D de celui-ci. Cela nous a permis de visualiser/discuter/valider le positionnement des différents éléments de mobilier, de documentation et médias associés (tables tactiles, écrans de télévision, kakémonos, etc.). Dans la mesure où nous sommes présents sur un Salon du BIM et de la maquette numérique, il nous a semblé pertinent de travailler sous la forme d'une maquette numérique de type BIM (processus collaboratif + BIM management + modélisation d'objets 3D), avec les informations attributaires associées, exportable au format IFC.

Cette maquette numérique, réalisée par deux entreprises normandes (*SCENObim* et



Modélisation 3D du pavillon Normandie au BIM World. Image : Novimage, SCENObim & Mindae.

Mindae) exposantes sur le salon, a été présentée sur ordinateur et sur l'une des tables tactiles lors de l'événement, à la fois dans un format métier (*Archicad*) et dans des visualisateurs au format IFC (*Tekla Bimsight*, *BIM'x...*), permettant ainsi de naviguer dans l'espace 501 (nom de code des organisateurs du salon pour le pavillon Normandie). Quelques extraits de cette modélisation, récemment finalisée, sont visibles page précédente.

Le réseau BIM normand

Par-delà les savoir-faire professionnels, en Normandie s'est aussi mis en place un « Réseau BIM normand », dont l'objectif est de faciliter l'échange entre ses

adhérents (au sens de ceux qui partagent cet objectif d'informations, de bonnes pratiques, de connaissances, de ressources documentaires, etc. Savoir ce qui se fait aujourd'hui en région dans le domaine du BIM/maquette numérique est une source de collaboration très importante. Si la Normandie est perçue aujourd'hui, en France, comme une région en pointe sur le BIM, ce n'est pas tant pour sa maîtrise des aspects technologiques mais plutôt pour l'ensemble des acteurs régionaux qui acceptent de travailler ensemble.

Ce réseau devient ainsi un endroit où il est possible de trouver facilement une information sur le BIM, sur les projets locaux et régionaux, des compé-

tences métiers, une vulgarisation pédagogique des informations nationales, etc.

Il compte aujourd'hui une trentaine d'acteurs institutionnels (Éducation nationale, FFB, FRTF, *Capeb*, architectes, chambres consulaires (commerce et industrie, agriculture, artisanat), centres de formations, région, *Cinov*, *Syntec...*) et il s'est ouvert, depuis le début 2018, à l'ensemble de l'écosystème professionnel régional et aux maîtres d'ouvrages. Il est coordonné et animé par l'association *Novimage*, considérée sur le territoire, comme un tiers neutre, représentatif du sujet.

Ce réseau était aussi largement représenté au *BIM World*. ■

Forum GéONG 2018



Le forum GéONG, consacré à l'application de la géomatique à l'humanitaire, aura lieu cette année du 29 au 31 octobre au Centre des congrès de Chambéry (Savoie).

Le thème retenu cette année est : « Le mieux, ennemi du bien dans la gestion de l'information : savoir s'adapter au contexte, à l'échelle, au déploiement et aux ressources financières ».

« Le principe du "suffisamment bon" a reçu de plus en plus d'attention dans le secteur humanitaire, et trouve des applications dans les échanges entre personnes, les outils et les pratiques. Pourquoi des techniques de gestion de l'information "suffisamment bonnes" se révèlent-elles à l'usage meilleures que des techniques jugées "parfaites" ? Nous espérons faire le point sur la manière de dimensionner les solutions de gestion de l'information tout en gardant un œil sur les enjeux majeurs

du secteur, comme l'utilisation raisonnée des données, le dimensionnement des infrastructures, l'interopérabilité et l'ergonomie des outils.

Pour la première fois depuis la création de GéONG, nous lancerons un appel à contributions en avril pour encourager toutes les associations et organisations travaillant dans le domaine humanitaire à participer à la création du programme de GéONG 2018.

Dans l'intervalle, si vous souhaitez déjà adresser des suggestions ou devenir partenaire de la manifestation, vous pouvez contacter Martin et Nina en utilisant l'adresse geong@cartong.org. ■ »

FME 2018

La version 2018 du célèbre ETL (*Extract-Transform-Load*) a récemment été publiée par son éditeur, la société canadienne *Safe Software*. Au menu de cette nouvelle mouture, différentes améliorations, parmi lesquelles on peut citer :

- Près d'une dizaine de nouveaux « *transformers* » : *3DBufferer*, *FeatureJoiner*, *PowerPointStyler*, *S3Connector* (fusion des *Transformers S3*), *SurfaceDissolver*, *HDFSConnector* (Hadoop), *MSWordStyler*, *ProjectWiseConnector*, *SalesforceConnector*. *FeatureJoiner* se veut être une alternative au vieillissant *FeatureMerger*. Il produit le même résultat mais avec un temps d'exécution beaucoup plus faible ;
- Plus de soixante-dix « nouveaux » formats (mais en

réalité la plupart sont issus de l'intégration de la bibliothèque *Open source* GDAL à *FME*) au rang desquels les formats *Esri Geodatabase Mosaic Dataset Writer* (ArcSDE et géodatabase fichier), *Esri Indexed 3D Scene Layer* (I3S) ou encore *Bentley i-Model Reader* (V1) ainsi que des formats de description de l'intérieur des bâtiments, comme *Apple Venue* ou *Here Venue* ;

- Lecture et extraction d'objets graphique et/ou textuels des fichiers PDF ;
- Les performances de *FME Workbench*, la partie « *extract/transform* » du logiciel ont été également améliorées : par exemple, moins de dix secondes suffisent désormais pour lire et trier un million d'enregistrements d'une base *SQLite* (ou *Spatialite*) là où la version précédente en demandait plus de cent ;

- *FME Server* a bénéficié lui aussi un certain nombre de nouveautés, notamment une politique améliorée de gestion des files d'attente (ordonnanceur), une meilleure visualisation des flux de travail.

L'ensemble de ces nouveautés, plus d'autres encore, seront présentées à la conférence FME 2018 organisée par le distributeur français de *Safe*, *Veremes*. Elle se tiendra à partir de 9 heures le 24 mai 2018 à la Maison de la RATP, juste à côté de la Gare de Lyon, à Paris. Son thème cette année tournera autour de la « réduction des coûts » : l'utilisation du cloud, de la mutualisation ou des données libres.

Les inscriptions sont d'ores et déjà ouvertes sur le site de *Veremes* :

<http://www.veremes.com/conference-fme-2018>. ■

Communiqué du CNIG

Valeria Faure-Muntian, députée de la Loire, a été chargée par le Premier ministre d'une mission auprès de Nicolas Hulot, ministre de la Transition écologique et solidaire, pour nourrir les réflexions relatives au renforcement de la coopération entre les administrations pour la production, l'entretien et la diffusion de données géographiques souveraines (sa lettre de mission est disponible

sur le site du CNIG <http://cnig.gouv.fr/?p=18055>.

Dans ce cadre, elle souhaite échanger avec des utilisateurs et producteurs de données géographiques dans les territoires et des animateurs de plates-formes régionales ou locales d'information géographique et a désiré rencontrer des membres de la commission animation territoriale représentant les territoires.

La mission devant être menée très rapidement, l'audition aura lieu au ministère de la Transition écologique et solidaire le vendredi 20 avril de 14h à 17h, 244, bd Saint-Germain à Paris.

Les personnes souhaitant être auditionnées à cette occasion peuvent transmettre leurs coordonnées à

cnig@cnig.gouv.fr. ■

Journées de la Recherche IGN 2018

Comme les marronniers à l'automne, avec le retour du printemps l'IGN fait le point sur l'activité de ses laboratoires. Avec, une fois n'est pas coutume, cette année l'intervention de chercheurs extérieurs.



Crédit : Iconem

Tous les ans en mars, les chercheurs de l'IGN donnent rendez-vous au public pour faire le point sur l'activité des laboratoires. Cette année, quelques chercheurs d'autres institutions travaillant dans des domaines connexes avaient également été invités.

Message du directeur général

Traditionnellement, c'est le directeur général de l'Institut (actuellement Daniel Bursaux) qui donne le coup d'envoi des journées avec une brève allocution. Cette année, ne pouvant se déplacer, c'est Nicolas Paparoditis, le directeur de l'ENSG, qui le remplace et lit son message au public.

« L'IGN se situe au carrefour des technologies numériques, et se trouve particulièrement impliqué dans le projet de république numérique porté par le gouvernement, au travers de problèmes comme l'interopérabilité des données, l'ouverture des données publiques, le droit à l'oubli et à la mort numérique. Il va sans dire que l'Institut attache une importance toute particulière à la protection des données personnelles.

« Dans le cadre du programme cadre 2022, l'IGN fait l'objet d'une mission parlementaire ayant pour thème l'étude de la production des données géographiques publiques et la prise en compte des forts enjeux qui s'y rapportent : Open Data, navigation autonome, crowdsourcing. Le ministre de Tutelle, Nicolas Hulot, a clairement fait savoir que la place l'IGN devait se situer au centre de l'organisation et de l'intégration de la collecte de données plutôt que sur la collecte de données elle-même. Le posi-



Nicolas Paparoditis (au premier plan), directeur de l'ENSG, fait part à l'assistance du message du directeur général de l'IGN.

tionnement de l'IGN devra donc varier, en faisant de plus en plus de place au téléversement des données depuis les collectivités locales et en contrôlant la qualité de ces données. L'Institut continuera cependant à alimenter les politiques régaliennes ayant pour thème les crises, l'assistance, la sûreté, etc.

« Le rôle de l'IGN sera donc désormais de valoriser son expertise au plus haut niveau pour faire évoluer les processus de collecte et de qualification des données. L'IGN continuera à produire de la donnée, et même davantage de données, mais de manière plus industrialisée. Pour cela, un des objectifs est de diminuer le temps d'industrialisation des algorithmes imaginés par les services de la recherche. L'autre objectif est d'ouvrir une plate-forme publique afin de proposer un guichet unique de collecte et diffusion de la donnée géographique. Une "géo-plate-forme" à la fois simple et efficace.

« En parallèle, l'année 2017 a été marquée par une forte transformation de la recherche avec la création d'un pôle d'excellence universitaire, nouvelles structures autour desquelles la recherche française s'organise désormais.

Le laboratoire LAREG va ainsi rejoindre l'université Paris Diderot, qui hébergeait déjà l'IPGP, le 1^{er} janvier 2019. Le laboratoire LIF, qui travaille sur l'information forestière et l'amélioration de nos connaissances de la forêt (qui représente un tiers du territoire français), et l'unité PEF de l'INRA vont fusionner. Les autres équipes vont intégrer une unité mixte de recherche avec l'École d'Ingénieurs de la Ville de Paris et l'université Paris-Est Marne-la-Vallée autour du thème "information géographique et géomatique pour la ville durable". Cette unité sera officiellement créée au 1^{er} janvier 2020. Elle se spécialisera sur la thématique de la ville de demain, durable, résiliente et connectée.

« L'un des autres objectifs de cette unité mixte sera de renforcer les collaborations avec les disciplines connexes comme le génie civil ou l'architecture, car l'information géographique et la géomatique ne sont qu'une partie de la réponse aux questions de la ville de demain. Si l'on prend, par exemple, le développement des véhicules autonomes, on s'aperçoit qu'au-delà du besoin de localisation précise, il sera également indispensable que ces

véhicules communiquent entre eux. L'IGN travaille donc avec l'IFSTAR au développement des infrastructures et des protocoles de communications qui pourront être utilisés par ces flottes d'automobiles futuristes.

« Enfin, ces Journées de la recherche 2018 feront une place particulière au patrimoine, l'année ayant été désignée année du patrimoine par la Communauté européenne. L'occasion de rappeler que, dans le passé, l'IGN a prêté son expertise à nombre de grands projets de sauvetage, comme celui du temple d'Abou Simbel. L'IGN s'est également engagée dans le nouveau projet européen "Time Machine", un portail Internet qui permettra de "naviguer vers le passé". »

Bilan 2017 des laboratoires de l'IGN

Les laboratoires de l'IGN sont maintenant regroupés sous l'acronyme *LaSTIG* (Laboratoire en Sciences et Technologies de l'Information Géographique), chaque laboratoire étant devenu une « équipe » au sein du *LaSTIG*.

Les évolutions majeures constatées en 2017, et à venir en 2018 sont les suivantes :

- Essayer de rendre comparables les propriétés spatiales à la surface de la Terre pour faciliter l'étude de changements ;
- Favoriser les recherches pluridisciplinaires ;
- Procéder à un recentrage des laboratoires autour des futures compétences de l'IGN (les laboratoires sont adossés à la production), quitte à renforcer les partenariats avec des équipes extérieures ;

- Approfondir les questions de fouille (recherche) et d'indexation sur des contenus visuels ;

- Prendre en compte la multiplication des capteurs : réseaux de « géocubes » ; images multispectrales réalisées avec la « Camlite » de l'IGN ; capteur « citoyen » (remontée de données à l'aide de smartphones) ;

- Croiser les modalités temps/espace : utiliser les séries temporelles pour modéliser dynamiquement les phénomènes (utilisation d'ondelettes bi-dimensionnelles 4D), par exemple pour modéliser les changements gravimétriques ou étudier l'évolution de l'humidité atmosphérique).

À plus long terme, on peut citer :

- La préparation de la prochaine itération de l'ITRF en prenant en compte les signaux basse fréquence dans les données des satellites GRACE, pour atteindre la précision centimétrique ;

- Améliorer les interfaces homme/machine pour la visualisation des données géographiques en cas d'urgence. Par exemple, dans

le cadre du projet *Crisis Lab* qui vise à fournir des visualisations optimales des zones affectées par les crues ;

- Réfléchir sur l'importance des données pour les simulations : quel niveau de précision atteindre en fonction des contraintes de temps de calcul/exactitude/coût ;

- Participer au projet européen *Time Machine* de fouille *a posteriori* des données géographiques et textuelles enregistrées dans le web pour afin de pouvoir reconstituer l'évolution de ces données au fil du temps.

Thématique patrimoine

Numérisation des vestiges archéologiques syriens

Johnathan Chemia (*Iconem*)

La sauvegarde numérique des sites archéologiques est plus que jamais d'actualité. Les événements récents au Proche-Orient ont montré que les pillages et les destructions volontaires n'étaient pas révolus. En dehors

Plan d'ensemble du Crac des Chevaliers, en Syrie.



de ces cas extrêmes, d'autres phénomènes peuvent menacer les sites : catastrophes naturelles, exploitation, urbanisme ou simplement tourisme.

Iconem est une jeune société créée conjointement par un pilote de drones et un architecte, qui s'est donné comme mission la préservation des sites en réalisant des copies numériques en 3D. Elle opère essentiellement par restitutions photogrammétriques utilisant l'appariement dense d'images, une technique issue des travaux de J. Ponce. Son savoir-faire réside particulièrement dans la combinaison de produits à plusieurs échelles. La société possède en effet plusieurs types de vecteurs : avions, hélicoptères ou ailes volantes (pour des résolutions de l'ordre de 10, 1 ou 0,1 cm, respectivement). Par exemple, la société a survolé et numérisé l'île de Delos à environ trois cents mètres d'altitude pour acquérir un MNE général du terrain et des ruines, puis a procédé à des survols particuliers des monuments pour acquérir les volumes au millimètre de résolution. Elle a ensuite procédé à la combinaison des échelles.

Mais la plupart des projets phares de la jeune PME ont été menés en Syrie dans le cadre de l'initiative *Syrian heritage*. C'est le cas de l'acquisition du fameux Crac des chevaliers, des ruines de la cité de Palmyre et de la ville d'Alep.

Dans le premier cas, l'équipe n'avait pas obtenu les visas nécessaires au démarrage du projet. Les premiers clichés ont donc dû être réalisés par des archéologues locaux puis envoyés à Paris pour traitement. Cela a donné lieu à la constitution d'un modèle itératif avec plusieurs va-et-vient ; les équipes de Paris demandant aux archéo-



Nuage de points de la voûte de la salle capitulaire du Crac.

logues locaux d'aller reprendre des photographies des parties insuffisamment couvertes. Cette première mission a conduit à la réalisation d'un modèle assez basique, enrichi en passant par comparaison avec des clichés extraits d'Internet.

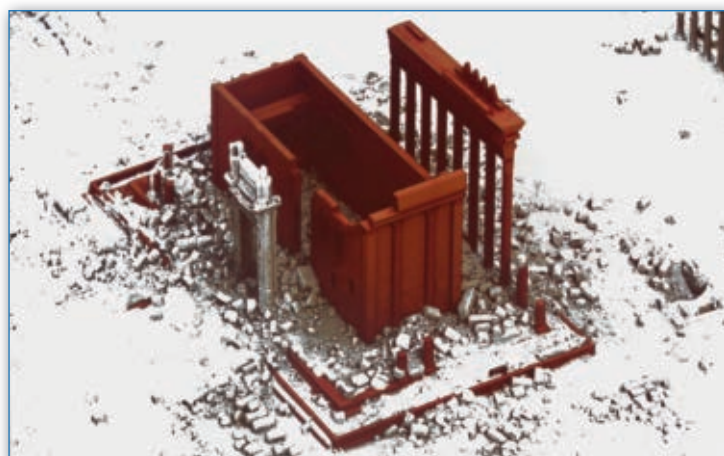
Après cette première campagne, le monument a malheureusement été dégradé par la guerre. En avril 2017, une fois la ligne de front écartée, l'Unesco a mandaté une mission pour la numérisation intégrale du Crac. Cette mission a mobilisé six personnes pendant dix jours, pour un total de quinze mille clichés. Le but ultime de cette mission étant d'intégrer

le modèle dans une base de données pour documenter l'évolution du site (le modèle 3D permet en effet de « recontextualiser » des documents papier 2D réalisés au fil du temps).

À Palmyre, pratiquement entièrement détruite, le travail de reconstitution s'est appuyé sur des relevés archéologiques pierre à pierre des années 1930. Dans le cas du temple de Baal, vingt mille clichés ont été réalisés sur le site et au musée en avril 2016, seulement quelques jours après la reprise de la vieille ville à l'État islamique. La maquette numérique reconstituée a ensuite été injectée sous forme de modèle 3D sous le



Coupe 2D horizontale du nuage de points modélisant le Crac des Chevaliers.



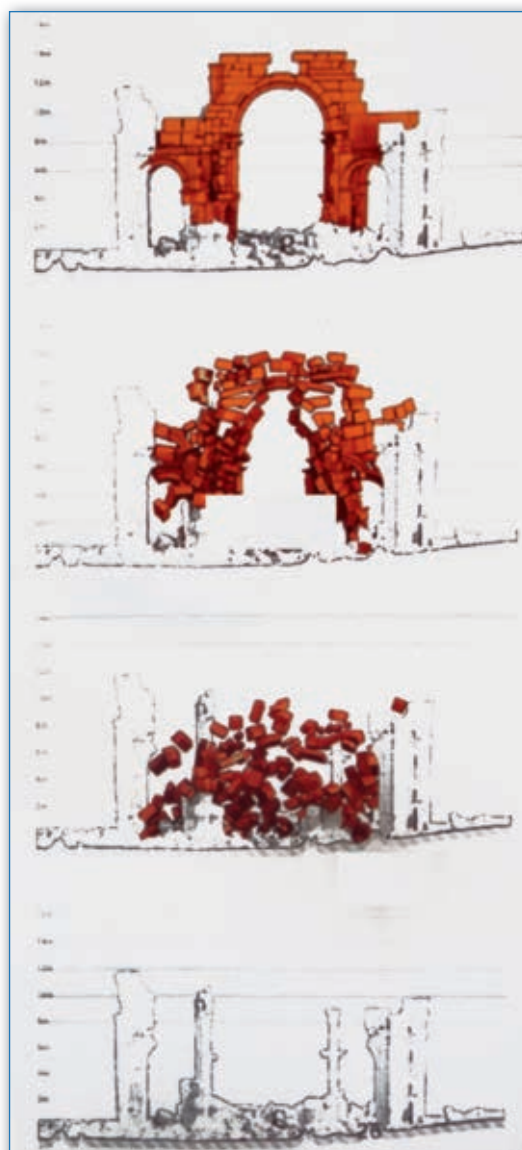
Modèle 3D du temple de Baal à Palmyre, issu de relevés architecturaux des années 1930 (Doc. *Iconem*).

l'aide de drones longue distance (cent kilomètres d'autonomie pour deux heures de vol). La même technique a été employée à Korsabad. Dans ce dernier cas, le résultat est un levé de terrain à dix centimètres, complété par des plans de fouilles d'époque. Ce modèle de terrain a été utilisé pour repérer des entrées de tunnels. Une des ressources de l'État islamique consiste en effet à vendre des vestiges archéologiques au marché noir (sur le site Nimrud, par exemple, l'État islamique a partiellement détruit

logiciel libre *Blender*, avec lequel l'équipe s'est livrée à une simulation physique de la destruction de la grande arche. La comparaison des positions simulées de chute des débris avec les positions des vrais débris au sol a permis d'écarter l'hypothèse d'une explosion en faveur d'une destruction par bulldozers. La maquette 3D a également permis d'identifier les blocs éventuellement réutilisables pour une reconstruction à l'identique.

Cette opération de 2016 a permis également de numériser et de restituer le théâtre de Palmyre, juste avant que l'État islamique ne se ré-empare de la zone et procède à de nouvelles destructions. Lorsque *Iconem* a pu revenir sur place en 2017, le théâtre était bien plus endommagé. Les dommages exacts ont pu ainsi être facilement documentés.

Iconem est également intervenu lors de la reconstruction d'Alep en septembre 2016 et encore plus récemment à Mossul, une ville fraîchement reprise à l'État islamique. Ici, *Iconem* a même procédé à une numérisation de la vieille ville avant que les derniers djihadistes ne quittent la ville, à



Simulation numérique d'une explosion détruisant l'arche de Palmyre (Doc. *Iconem*).



Destructions dans la ville d'Alep (Doc. Iconem).

la ziggourat au bulldozer sans doute pour excaver des objets – vainement, car les ziggourats n'en contiennent généralement pas). Le MNT a montré des ouvertures suspectes concentrées sur des parties du site non encore fouillées, donc susceptibles d'avoir été pillées.

Exploitation des données ouvertes disponibles sur le web

Le W3C, consortium de normalisation des échanges *web*, a souhaité favoriser la publication sur Internet de données ouvertes, non pas en isolation, mais en liaison, de sorte que chaque jeu de données soit relié à des « voisins sémantiques » en utilisant les « bonnes pratiques » telles que définies par le W3C : emploi exclusif d'URI, etc. Les jeux de données ainsi liés constituent un graphe. On trouve dans ce grand marché des données ouvertes des données patrimoniales et culturelles ouvertes, par exemple data.gouv.fr, le site de la

Bibliothèque nationale *Gallica*, le site des Archives nationales, ainsi que la plupart des grands musées européens (*British museum...*).

Depuis 2007, date de démarrage du projet, les données géographiques ont toujours constitué une base importante des données publiées. La localisation se retrouve souvent au centre de la plupart des liens créés, car il s'agit d'un critère intuitif et

efficace de recherche. Or, les bonnes pratiques imposent l'utilisation des URI pour référencer des objets.

On utilise alors le langage RDF (*Resource Description Framework*) comme modèle de données, ce qui permet d'associer des étiquettes avec des ressources. La liaison des ressources par identité géographique nécessite une analyse de similarité entre des ressources homologues : si deux ressources sont très proches, elles doivent représenter la même chose, et vice versa. Cela permet d'apparier les données géographiques. Mais le problème n'est pas si évident, car les jeux de données peuvent désigner une même ressource géographique différemment : position (de l'entrée, du centroïde, sur un axe de route proche) ou adresse postale, par exemple. Les méthodes d'appariement fonctionnent donc bien sur des jeux de données de référence, mais très mal sur des jeux informels (*crowdsourcing*), où la mesure de similarité ne fonctionne plus du tout. La méthode la plus simple consiste à s'autoriser un cercle d'erreur et de regrouper les objets qui s'y trouvent pour vérifier s'ils sont bien identiques.

Le site de Nimrud, relevé par drone à longue portée (Doc. Iconem).



L'IGN a donc entrepris de résoudre ce problème en utilisant une représentation plus poussée à l'aide du langage OWL, doublée d'un stockage des métadonnées stockées au format RDF, le tout analysé par des scripts écrits en langage *RuleML* pour dériver une nouvelle fonction de similarité « intelligente ». Le jeu test consistait en, d'une part, la liste des immeubles classés à l'inventaire des monuments historiques (soit plus de quinze cents bâtiments qu'il a fallu géocoder, car leur position est indiquée sous forme d'adresse postale dans les fichiers du ministère de la Culture) et, d'autre part, la même base mais issue de *DBpedia*, une base de connaissance dérivée des articles de *Wikipedia*, qui ne recense que six cents monuments historiques environ.

Pour la production d'un jeu de liens de référence, un jeu d'entraînement a été constitué en trois étapes :

1. Extraction de la modélisation géographique par comparaison avec une orthophotographie ;
2. Choix du descripteur géographique (centre, entrée, axe de la rue...) le plus adapté ;
3. Calcul d'un seuil de décision optimal, puis estimation de la précision des points donnés dans *DBpedia*. La valeur du seuil de décision va dépendre de la méthode de saisie (suivant que le point a été saisi au centre, à l'entrée ou sur la voie).

Le meilleur seuil après étude est fixé à quarante mètres. L'étude montre cependant que les meilleurs résultats sont obtenus lorsque les seuils sont adaptés en fonction des contextes pour éviter les faux positifs et les faux négatifs.

Les grands relevés photogrammétriques architecturaux de l'IGN

Yves Egels/Raphaëlle Héno

La tradition des relevés photogrammétriques remonte à la création de l'IGN sous la direction de Georges Poivilliers, inventeur de plusieurs appareils de stéréo-restitution. Il dirige lui-même en 1944 le levé de la Sainte-Chapelle, et effectue une restitution sur le portail, la rose, une voûte et un élément de mur. À l'époque, sous son impulsion, l'IGN se dote d'un

centre de restitution archéologique de dix personnes équipé de huit appareils de restitution. Cette étude va permettre de déterminer que le monument s'est incliné et que la rose est déformée par rapport à la version qu'en a donnée Viollet-le-Duc.

En 1955, l'IGN procède à une mission de relevé des temples de Nubie, voués à la submersion sous le futur lac Nasser après la mise en service du barrage d'Assouan. Ces relevés donnent lieu à des stéréo-restitutions par courbe de niveaux, par

Un employé de l'IGN procède à la stéréo-restitution d'une série de clichés sur un appareil de type Poivilliers (Doc. IGN).



exemple la frise des prisonniers à Abou Simbel. Elles vont aussi aider l'Unesco lors du chantier « pharaonique » de déplacement de ces temples.

En 1960, l'IGN est appelé pour procéder au levé de la grotte de Lascaux qui commence à montrer des taches de mauvais augure sur ses peintures. Les scientifiques estiment indispensable de fermer la grotte au public, mais les pouvoirs publics souhaitent la laisser visitable quand même. Finalement, la fermeture du site est décidée en 1964/1965. Après que l'IGN a procédé en 1962 au relevé total de la grotte.

Ce relevé finit au placard, après un premier essai de restitution par courbe de niveau, jugé sans intérêt par les archéologues. Mais vingt ans plus tard, décision est prise de rendre le site visitable à nouveau en construisant un double : Lascaux II. En réalité, ce sont deux doubles qui sont réalisés : Lascaux II et un « Lascaux » en carton transportable en avion, créé à l'aide d'une technique de décor de théâtre restitué à l'échelle 1::1 par projection sur du papier kraft. Le décor des parois est constitué des photos couleurs de la grotte, Kodak ayant à l'époque trouvé le moyen de décoller la pellicule de la gélatine support. Ce double « carton-pâte » a circulé un certain temps et est maintenant perdu (après avoir longtemps séjourné dans les douves du château de Saint-Germain-en-Laye).

Ce relevé est suivi de celui de la cathédrale de Strasbourg, puis de tous les « grands » monuments de France, chacun rendu au 1::50, pour cinq mille heures de restitution en moyenne : la basilique de Saint-Denis (pour pouvoir la reconstruire en cas de

bombardements), le Panthéon (des pierres étant tombées, l'architecte en chef responsable de la conservation voulait étudier les lignes de forces), la basilique de Vézelay (dont une des voûtes écrasées ne devrait plus exister selon les modèles mathématiques), le Palais idéal du facteur Cheval... Le relevé de la cathédrale d'Amiens est l'occasion d'expérimenter l'aérotriangulation analytique numérique.

À l'étranger, l'IGN réalise un ensemble de relevés en Égypte (Philæ), à Damas, à Petra (tombeaux à étages), de l'Acropole d'Athènes, du palais Farnese à Rome, de la Tour de Pise. En Asie du Sud-Est, Borobudur (Indonésie, réalisé en hélicoptère), mais aussi le Hanuman Dhoka au Népal et Pagan (en Birmanie) où dix-huit pagodes sont levées en trente jours.

En 1973, l'informatique s'en mêle avec le développement du premier logiciel de restitution « TRAPU », avec lequel l'IGN calcule son premier modèle 3D

urbain en trois jours. La machine de l'époque qui exécutait le logiciel ne possédait que 32 Ko de RAM et moins d'un milliardième de la puissance de calcul actuelle...

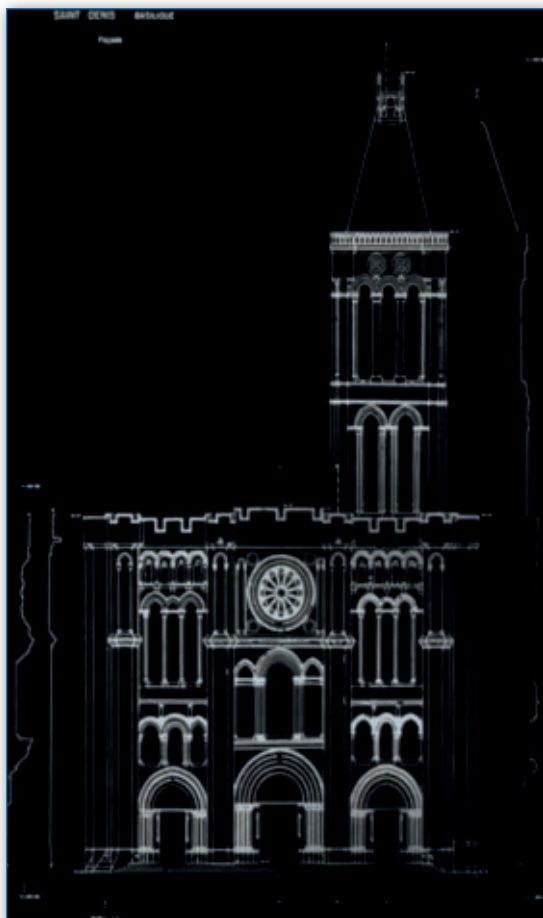
Malheureusement, pour des raisons politiques et surtout économiques, ces opérations de prestige, mais qui coûtaient fort cher, ont fini par cesser.

Numérisation des bâtiments historiques par des étudiants

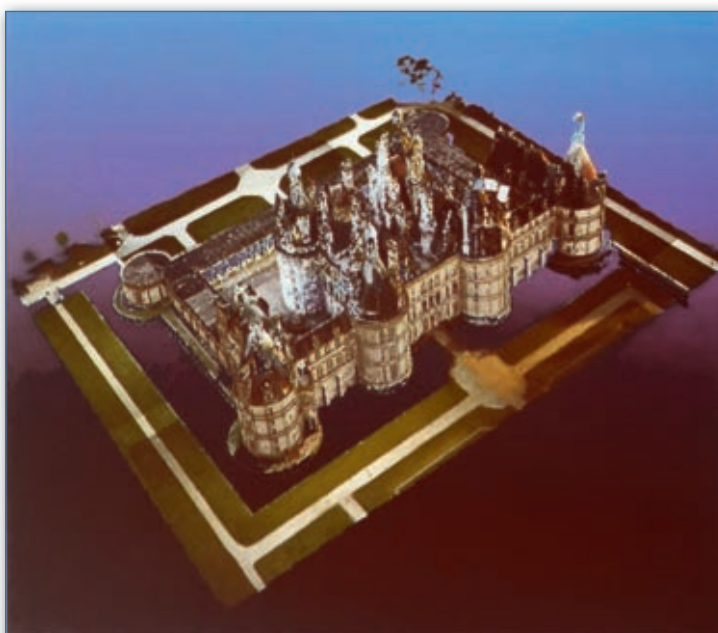
Plusieurs des cycles d'étude de l'ENSG (dont le master PPMD) comprennent des UV d'initiation à la photogrammétrie et à la lasergrammétrie. C'est donc tout naturellement que les élèves de ces formations procèdent à la numérisation de différents éléments du patrimoine, par exemple : le château de Chambord et une de ses chapelles annexes (chapelle Maurepas), l'église Saint-Ours de Loches (drone/photogrammétrie/lasergrammétrie), le château fort de Brie-Comte-Robert, la citadelle de Murolo, la collégiale de Crécy-la-Chapelle, etc. Le relevé

Relevé photogrammétrique de la « fresque des prisonniers » du temple d'Abou Simbel.





Restitution photogrammétrique de la Basilique de Saint-Denis (Doc. IGN).



Visualisation du nuage de points 3D du château de Chambord acquis par les élèves de l'ENSG (Doc. IGN).

de Chambord est disponible à l'adresse suivante : <http://dias.ensg.eu/Chambord> sous licence *Creative Commons*.

Ces campagnes sont certes l'occasion pour les étudiants de confronter leurs connaissances théoriques avec les exigences du terrain, mais aussi l'occasion d'identifier ou de flirter avec certains enjeux de recherche comme :

- Peut-on réaliser de la télédétection architecturale multicanaux hyper-spectrale ? Que faire avec les bandes non visibles ? Peuvent-elles aider à mieux restituer les couleurs ? Peut-on détecter des dégradations ou des infiltrations ?
- Comment faire pour éclairer correctement les lieux intérieurs trop obscurs afin d'obtenir une information exploitable à la fois pour la restitution et la texturation ?
- Comment minimiser la dérive photogrammétrique, et vérifier la qualité et le nombre de points de contrôle ?
- Comment utiliser les multiples relevés pour déterminer l'évolution des structures, corriger ou densifier des relevés précédents ?

- Comment identifier et éliminer les *outliers* et autres pixels aux limites ?

Extraction d'informations à partir de données « denses »

Détection des feux tricolores par analyse des trajectoires

Le but de cette étude est d'essayer de repérer où se situent les feux tricolores en étudiant

la trajectoire des véhicules. Ce travail s'inscrit dans un cadre plus large appelé *map inference* consistant à utiliser des traces GPS pour déduire des informations géographiques.

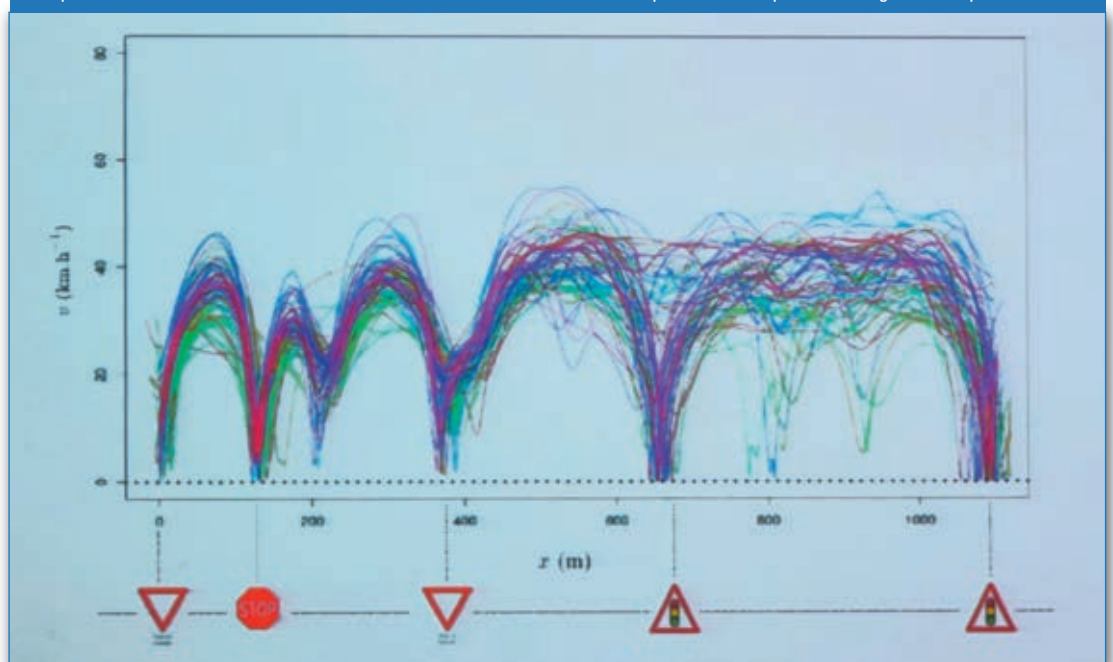
Les véhicules dont on étudie les traces roulent sur des routes ; l'exploitation de leurs traces GPS pourrait donc constituer une méthode de construction et de mise à jour plus rapide du filaire de voirie, moins onéreuse que la saisie à partir d'orthophotographie ou les relevés de terrain, mais demandant en revanche plus de post-traitements. Ce problème a été étudié et est désormais quasiment résolu, du moins pour la géométrie. Mais pour l'enrichissement (sémantique, toponymie...) il reste encore beaucoup à faire. On pourrait penser, par exemple, à une combinaison avec des données *Twitter* pour connaître le nom des rues ou bien procéder à une détection en temps réel de travaux ou d'accidents.

Pour les feux tricolores, on peut essayer un apprentissage automatique, par exemple à partir des trajectoires. On commence par « pré-localiser » les intersections, voire on s'appuie sur des données riches comme *Open Street Map* pour collecter un premier jeu de données correspondant aux intersections avec feux. On procède ensuite à une estimation précise de temps de parcours : les arrêts aux feux tricolores se matérialisent par des plages de vitesse nulle, encadrées par des ralentissements relativement longs et des accélérations longues (deux phases de vitesse nulle trop rapprochées et/ou séparées par un trajet à très petite vitesse reflètent plutôt des embouteillages). Une fois le travail de repérage dans les traces effectué, on procède à la comparaison de cinq algorithmes de classification issues de différents milieux (image, traitement du signal...). La méthode d'apprentissage fonctionnel fonctionne avec des forêts aléatoires.

Les données réelles sont issues de la ville japonaise de Mitaka, située en proche banlieue de Tokyo (surface 16 km²). Cette ville a été choisie car on y trouve une grande variété de typologies urbaines (autoroutes, rue étroites, parcs...), et pas de passages à niveau connus – où le comportement ressemble à celui d'un carrefour à feux. La localisation de ces derniers a été dérivée d'*Open Street Map* (pour 70 % d'entre eux), complété ensuite manuellement avec des orthophotographies prises à différentes dates (pour éviter les problèmes d'occlusion dus aux véhicules ou à la végétation) où l'on a cherché la ligne de stop au sol, systématique au Japon. La position des feux tricolores a ensuite été projetée sur la chaussée.

L'analyse a considéré douze mille trajectoires échantillonnées une fois par seconde, parfois un peu moins. La première étape de *map matching* relocalise les traces sur la carte. On utilise pour cela des

Exemple de courbes de vitesse relevées sur des véhicules en milieu urbain. Chaque arrêt correspond à une signalisation particulière.



modèles markoviens plus souples que les algorithmes traditionnels. Une fois cette étape réalisée, on peut étudier les pKs. On remarque immédiatement que les points sont de mauvaise qualité, il faut trouver un moyen de découper les traces. La meilleure façon de faire consiste à recourir à des fenêtres d'analyse de cent mètres de long environ, chacune partant d'une intersection. On extrait ensuite les points correspondant aux arrêts (succession de points co-localisés sur plus de cinq secondes), puis on procède à une estimation de densité par noyau.

La méthode n'est pas entièrement satisfaisante : elle produit beaucoup de faux positifs (87 % de spécificité), qu'il faut donc éliminer par des contrôles *a posteriori*. En outre, on dénombre beaucoup d'*outliers* (l'erreur de positionnement est de six mètres en moyenne, ce qui correspond *grosso modo* à la précision du GPS ou à la longueur du véhicule). Au vu de ce résultat assez peu satisfaisant, on peut même se poser la question de savoir s'il est utile de détecter un feu au-delà d'un certain seuil d'erreur, ou bien s'il faut ajouter une étape d'élimination par seuil, ce qui entraîne une perte de détection, mais accroît la précision sur les données correctement identifiées.

Une autre voie à explorer consiste à combiner des traces de différentes directions. On obtient dans ce cas une hausse des détections d'environ dix pour-cent, ce qui montre bien que l'approche multi-source et la fusion de données augmentent les performances.

Les prochaines étapes consisteront à affiner la méthode sur des profils de vitesses issus de l'agglomération de Bordeaux, de déterminer la sensibilité de la

méthode, et d'explorer son extension à d'autres signaux comme les stops ou les passages piétons.

Segmentation sémantique à grande échelle

Il s'agit ici d'effectuer du « *deep learning* » sur des nuages de points 3D pour en extraire les parties sémantiquement homogènes (objets). Cette tâche est bien plus complexe qu'en 2D, car il n'est pas possible de découper les informations en grille. Plusieurs approches ont déjà été développées. Celle de l'ONERA (*snapshot*) consiste à effectuer de la tomographie virtuelle puis de projeter les coupes sur le nuage de points. Mais cela ne résout pas les problèmes d'occlusions, entre autres. Une autre approche consiste à généraliser les algorithmes 2D en utilisant une grille 3D de voxels, mais cela entraîne une perte de détail, et n'est guère efficace car les nuages de points comportent beaucoup de vide.

Certains algorithmes, comme *PointNet* ou *ECC (Edge Condition Convolution)* fonctionnent bien sur des petits nuages, mais ne sont pas conçus pour passer à l'échelle. On va quand même chercher à les exploiter, en procédant à une segmentation préliminaire du nuage de points en formes simples, qui sont plus faciles à classer. En outre, les relations entre formes sont plus riches que celles qui existent entre points. On passe alors d'un problème de segmentation à trois sous-problèmes :

1. Découper le nuage en formes géométriques simples, une opération pour laquelle il existe des algorithmes très efficaces (et non supervisés) ;
2. Décrire les formes ainsi créées avec l'algorithme *PointNet* ;

3. Passer au contexte : qu'est-ce qui entoure les formes ? Il s'agit d'un problème à la complexité faible bien résolu par l'algorithme ECC.

Pour effectuer la partition géométrique préliminaire, on réalise un catalogue de descripteurs géométriques divers (lignes, plans, sphères, etc.) puis on cherche à résoudre le problème de partition généralisé : associer les points qui se trouvent sur la même géométrie locale et qui sont mitoyens. On utilise pour cela un algorithme adaptatif multi-échelle, qui permet de garder le même niveau de précision, que les formes soient très grandes ou très petites.

Une fois la découpe en formes réalisée, la méthode construit un graphe d'adjacence à descripteurs non symétriques. Cette étape est raffinée par l'utilisation d'un espace de description à trente-deux dimensions afin que le réseau neuronal entraîné apprenne non seulement à classer les objets mais aussi à sous-classifier les parties de ceux-ci. Concrètement, chaque élément envoie des messages aux formes auxquelles il est connecté. Ces messages sont filtrés par les nœuds du réseau, de type GRU, chaque nœud pouvant décider d'ignorer les messages qu'il reçoit (par exemple si le nœud est certain du type d'objet qu'il représente).

Cette méthode a été testée sur deux jeux de tests, dont l'un, S3DIS, contient un million de points représentant une scène intérieure (salle de classe). Les performances brutes sont assez bonnes, une fois la phase d'apprentissage passée (mille secondes pour classifier quatre-vingts millions de points) ; cette dernière est, en revanche, assez



Résultat de la classification par *deep learning* du jeu de test S3DIS représentant une chambre.

longue : huit heures GPU haute performance pour le jeu S3DIS.

Les résultats sont assez bons, mais laissent apparaître encore des erreurs, comme la classification d'un tableau blanc avec le mur blanc qui l'entoure. En revanche, les portes blanches, dont la géométrie diffère de celles des murs environnants, ont correctement été reconnues. Malgré ces points négatifs, la méthode fonctionne globalement mieux que celles utilisées jusqu'ici.

Quelques pistes d'amélioration existent, dont une phase de décimation préliminaire, qui non seulement améliore le temps de calcul, mais aussi la qualité de la classification, en diminuant le niveau de bruit. Dans la mesure où elle n'est pas trop importante, la décimation n'entraîne pas de perte d'information.

Occupation des sols

L'occupation des sols est une couche de données fondamentales pour alimenter de nombreux logiciels de simulation métier : météorologie, écologie, etc. Elle

sert aussi pour les besoins régionaux et la mise à jour de bases vectorielles.

Beaucoup de bases d'occupation du sol sont actuellement disponibles, chacune ayant sa résolution, son extension, sa sémantique, sa fréquence de mise à jour, etc. Par exemple *Corine Land Cover* utilise encore un processus de classification largement manuel, ce qui rend sa mise à jour longue. Qui plus est, si elle convient bien au niveau régional, son échelle est trop grande pour des utilisations sur des territoires de faibles dimensions.

Parmi les autres produits, on peut citer la couche *OcSol* de la *BD Topo*®, certains produits régionaux comme le *MOS* de l'IAU Île-de-France – dont la couverture est restreinte et la mise à jour malgré tout irrégulière car issue de processus manuels –, et certains produits particuliers comme *Bâti 3D*®.

La situation ne cesse cependant de s'améliorer : de plus en plus d'images sont disponibles gratuitement (*Copernicus*), les images intègrent de plus en

plus de capteurs et de bandes spectrales, les taux de revisite s'améliorent, de plus en plus de logiciels, parfois *Open Source*, apparaissent, et les données d'apprentissage pour la classification supervisée se multiplient. Où sont donc les verrous ? Il y en a encore plusieurs :

- Le passage à l'échelle d'une photo-interprétation localisée à un pays entier ;
- Comment procéder à une photo-interprétation haute résolution ?
- Apprendre à extraire l'information déjà stockée dans les bases existantes ;
- Que peut apporter la télédétection multimodale, comment l'exploiter ?
- Comment paramétrer automatiquement les algorithmes ?

Ce n'est que lorsque ces verrous auront été levés que l'on pourra avoir accès à une couche d'occupation du sol multi-échelle suffisamment riche, précise et actualisée pour satisfaire tous les besoins.

Occupation et usage des sols par des séries temporelles

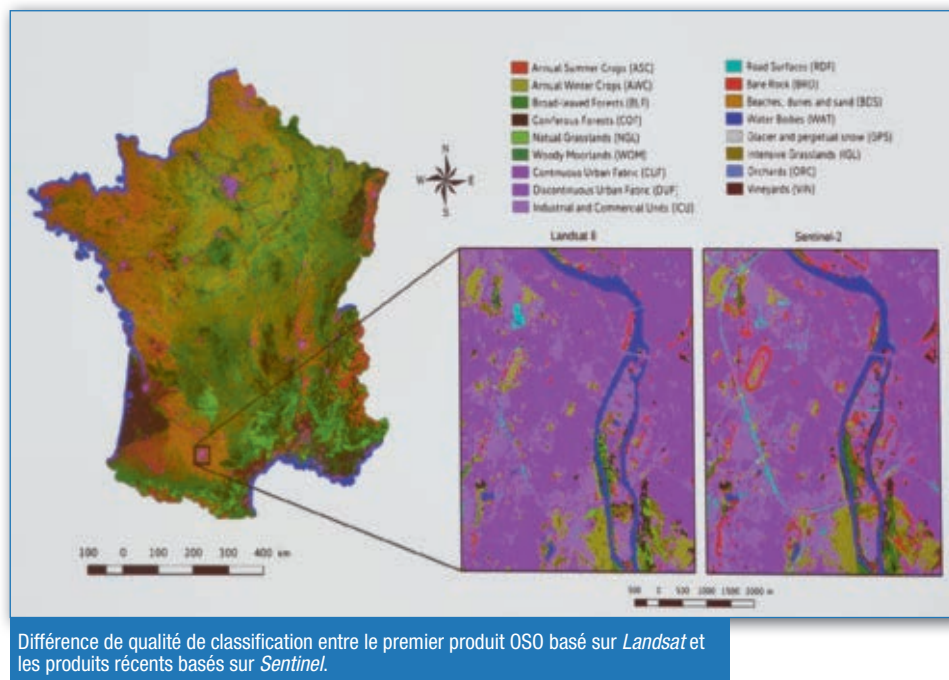
L'un des problèmes centraux de la télédétection supervisée est de trouver les paramètres justes qui vont permettre de classer un pixel de manière fiable et répétitive. C'est donc le problème de la détermination d'une fonction de classement et de sa généralisation d'une zone d'apprentissage vers un pays, voire un continent.

Avec les séries temporelles *Sentinel 2*, la télédétection dispose de clichés couvrant des

dizaines de dates et des milliards de pixels. Ces images possèdent une résolution de dix mètres dans dix bandes spectrales acquises tous les cinq jours. Donc, le territoire national est systématiquement acquis tous les cinq jours. Cependant, tout n'est pas rose. Les images sont bruitées et masquées (présence de nuages et de leurs ombres) ; l'adéquation entre les séries temporelles satellites anciennes et les bases modernes est mal connue ; le volume d'images à traiter est astronomique (plusieurs dizaines de téraoctets chaque année).

Ces séries devraient permettre néanmoins de constituer un nouveau produit d'occupation du sol ayant une nomenclature de dix à vingt classes, une résolution d'une dizaine de mètres et une mise à jour annuelle ou semestrielle, qui devrait prendre le relais du produit OSO, développé par le CESBIO à partir d'une chaîne de traitement *open source* (Orfeo toolbox + GDAL/OGR), qui couvre la France entière au format *raster* et vecteur en dix-sept classes avec une mise à jour annuelle à partir d'images *Sentinel 2* (*Landsat 8* à 30 m de résolution pour les premières versions).

OSO est réalisé entièrement par classification automatique, ce qui accroît nettement la vitesse de constitution de la base, mais évidemment pose des problèmes de mauvaise classification. Des études sur la matrice de confusion réalisée à partir d'échantillons ont montré que le produit se comporte bien, sauf en zones urbaines où les détails internes aux villes (parcs, eau...) sont souvent perdus. On pourrait penser les retrouver à partir d'autres bases de référence comme la *BD Topo*, *Corine Land Cover*, etc.



Différence de qualité de classification entre le premier produit OSO basé sur *Landsat* et les produits récents basés sur *Sentinel*.

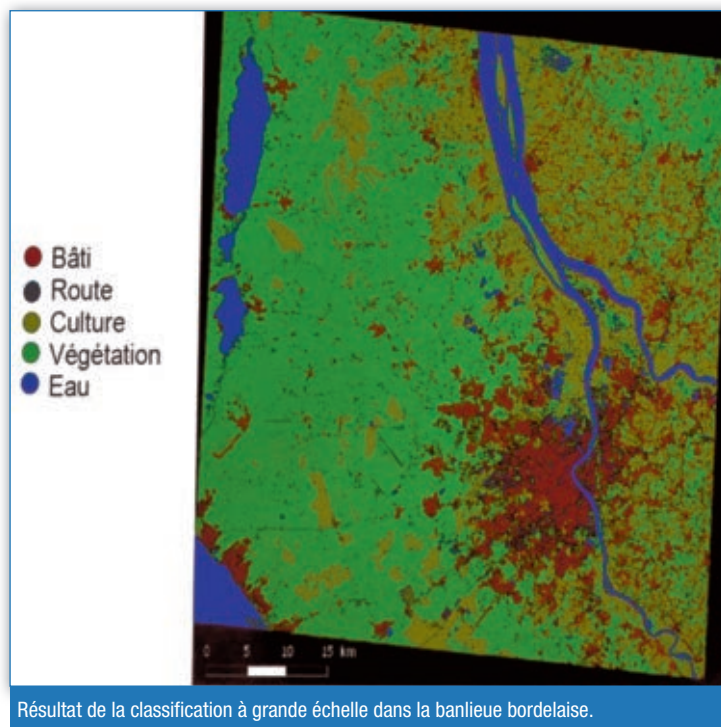
La classification automatique fait face à d'autres soucis : comme la donnée est disponible par bande, et que ces bandes ne sont pas acquises le même jour, l'échantillonnage temporel n'est pas le même d'une zone à l'autre : dans des cas extrêmes, des objets à cheval sur les bandes peuvent être à moitié masqués par des nuages, par exemple. Dans ce cas, les valeurs manquantes sont reconstituées à partir de méthodes d'interpolation.

La future couche OSO améliorée s'appuiera sur un découpage de la France en huit régions (correspondant à des climats/végétations différents), puis des algorithmes de type *random forest*. Les algorithmes exacts ne sont pas encore connus, mais ceux-ci devront être capables de gérer plusieurs centaines de millions de pixels d'entraînement, donc devront être parallélisables et robustes aux erreurs d'étiquetage.

Une fois ces algorithmes implémentés, ils seront utilisés pour améliorer *a posteriori* les couches OSO déjà constituées, et à procéder à de la fusion de données (donnée très haute résolution et/ou radar issu de *Sentinel 1*, qui passe à travers les nuages).

Essais de classification à grande échelle

La classification à grande échelle recouvre plusieurs problèmes. D'abord celui de la classification. Un essai a été réalisé à partir de séries d'images *Spot 6* et *Spot 7* quatre canaux (visible + proche infrarouge). La classification s'est appuyée sur une méthode à base de réseaux de neurones convolutifs : il s'agit de « *end to end learning* », où l'on essaie d'apprendre quels sont les attributs pertinents dans la phase d'apprentissage. Le « circuit neuronal » est composé de sous-circuits organisés hiérarchiquement, la sortie de chacun



d'entre eux servant d'entrée au suivant, etc. À chaque étape, la taille de l'image est divisée par deux, ce qui « élargit » le contexte et diminue le temps de calcul.

Les résultats obtenus sont plutôt bons, mais dépendent fortement de la qualité du jeu d'apprentissage, qui a été pour l'occasion divisé en deux : un jeu général, valable à petite échelle, et un jeu « local », applicable sur une partie restreinte de l'image.

D'autres expériences ont porté sur la fusion des classifications *Sentinel 2* et *Spot*, des images complémentaires (l'une est de résolution géométrique moyenne mais de résolution spatiale élevée, et c'est l'inverse pour l'autre). La constitution d'une classification mixte est partie sur l'idée d'un premier niveau grossier (cinq classes), progressivement raffiné par un processus binaire alimenté par une méthode de fusion décisionnelle suivie d'une régularisation globale tenant compte du contraste de l'image. Le résultat

global montre une précision de l'ordre de soixante-quinze pour-cent, avec, par rapport à la *BD Topo*[®], des sous-détections, mais par rapport à OSM ou OSO des sur-détections, la plupart du temps correctement classées.

La haute résolution peut se justifier dans le cadre du suivi de biotopes particuliers dont l'extension spatiale est faible, ce qui est le cas, par exemple, des prairies semi-naturelles, qui sont des « communautés végétales spontanées maintenues en état par des pratiques extensives ». *Sentinel* arrive tout juste à détecter ces prairies ; *Landsat* ne le peut pas. Et l'utilisation d'images *Spot* pose un souci de suivi en raison du taux de revisite trop faible.

Caractériser une prairie pose un autre souci, celui de la signature spectrale, car les prairies sont des systèmes complexes qui évoluent au cours du temps. Sur les images *Sentinel 2*, qui représentent un total de cent trente

millions de pixels, pour la région Occitanie, moins de cent pixels par image représentent des prairies, ce qui ne procure que peu de points d'apprentissage.

Pour pallier ce manque, il faut aller sur le terrain et utiliser un spectroscope pour déterminer la radiométrie au sol directement, au minimum deux fois par mois au printemps et en période de fauche, où la radiométrie montre une grande variabilité, particulièrement dans l'infrarouge qui correspond au contenu en chlorophylle.

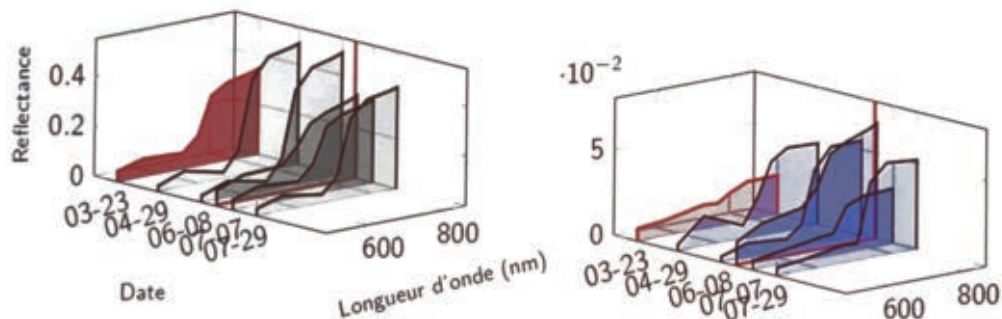
Pour améliorer la performance de la classification réalisée à partir des échantillons radiométriques, on peut adopter une approche fonctionnelle qui modélise la radiométrie comme une loi de distribution gaussienne et utilise ensuite une méthode à noyau pour calculer la similarité d'un profil radiométrique avec celui d'une prairie type. Ce type d'approche donne des résultats de classification assez semblables à celle de la classification pixel simple, mais permet un gain de temps de calcul non négligeable.

La caméra super-spectrale de l'IGN : SUSPECT

Cette caméra est une commande de la Direction de la recherche et de l'enseignement. Elle doit permettre de couvrir une cible en très haute résolution spatiale et en mode super-spectral.

L'état de l'art montre que la plupart des caméras super-spectrales ont des défauts. Certaines sont lourdes et ne peuvent être placées sous des drones. D'autres ont des performances radiométriques impressionnantes mais des résolutions faibles (mégapixel), ou bien utilisent des filtres interférentiels dont la bande passante varie avec l'axe de

PSN fauchée (vallée)



Début de saison de croissance

La radiométrie des prairies semi-naturelles varie beaucoup dans le temps, suivant l'état de la végétation qui s'y développe.

visée. Les caméras hyper-spectrales utilisent souvent un jeu de filtres rotatifs, donc ne peuvent pas prendre toutes les bandes en parfait synchronisme.

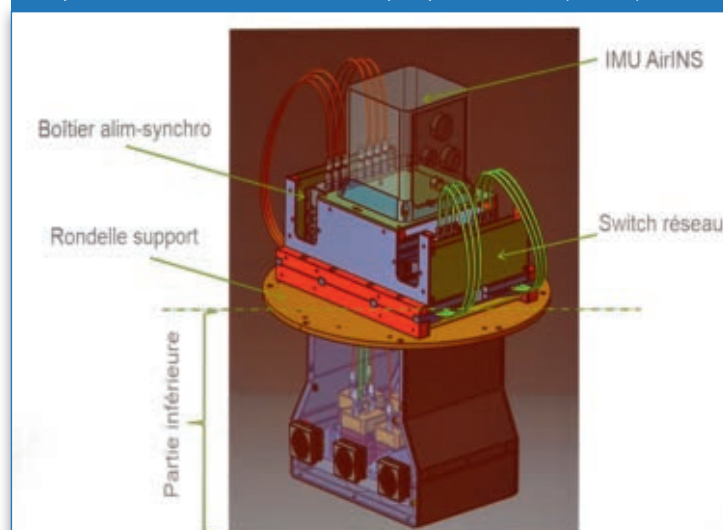
Le LOEMI a donc décidé de fabriquer sa propre caméra basée sur la *CamLight* déjà présentée

lors d'une édition précédente des *Journées de la recherche* : six *CamLights* (chacune munie d'un capteur CMOS de vingt mégapixels et pesant moins de deux cents grammes) seront assemblées et synchronisées. Ces boîtiers seront munis d'objectifs à focales courtes (35 mm).

Pour l'aspect spectral, les filtres interférentiels à trente nanomètres de bande passante étant inutilisables, puisque leur réponse spectrale n'est pas spatialement homogène, le LOEMI s'est rabattu sur des filtres classiques à absorption (utilisant des pigments). Ces filtres sont moins performants spectralement (soixante nanomètres de bande passante), mais leur réponse est homogène et surtout leur bande passante étendue signifie qu'ils laissent passer plus de lumière, donc permettent des temps de pose plus courts, rendant inutiles les systèmes de compensation de filé. Il faut simplement les associer correctement pour obtenir une réponse globale acceptable.

Finalement, la caméra super-spectrale ainsi constituée devrait offrir un pixel sol de l'ordre de soixante centimètres, correspondant à un temps de pose de trois millisecondes max (pour ne pas avoir de filé). ▣

Principe de constitution de la future caméra super-spectrale de l'IGN (Doc. IGN).





BIM et SIG, l'impossible mariage ?

On en parle, et les choses avancent peu à peu :
le BIM et le SIG devraient converger dans leur mode
de représentation des objets 3D. Mais, venus de deux
mondes que tout oppose, les obstacles à cette future
union restent encore nombreux.





Dans un passé pas si lointain que ça, les SIG travaillaient uniquement sur des polygones, et les entreprises du BTP utilisaient des plans *Autodesk*. À cette époque, tout le monde était donc en 2D, et personne ne se parlait : le génie civil construisait les bâtiments, gentiment survolés quelques années plus tard par l'IGN ou un autre avionneur, avant d'être intégrés *in fine* à la *BD Topo*. Le monde de la construction et de la géomatique ne se tournaient pas le dos, mais n'avaient aucune raison spéciale de coopérer.

Et puis vint la 3D.

Portés par la capacité de calcul et de visualisation accrue des ordinateurs, les logiciels de construction, puis le SIG, ont conquis la troisième dimension. D'abord de manière très informelle, sous la forme de simples dessins « sans substance ». Puis, de plus en plus, en relation avec des bases de données, le dessin se muant progressivement en véritable maquette intelligente où le trait n'est plus la fin en soi, mais la simple

représentation des éléments qui constituent l'objet construit.

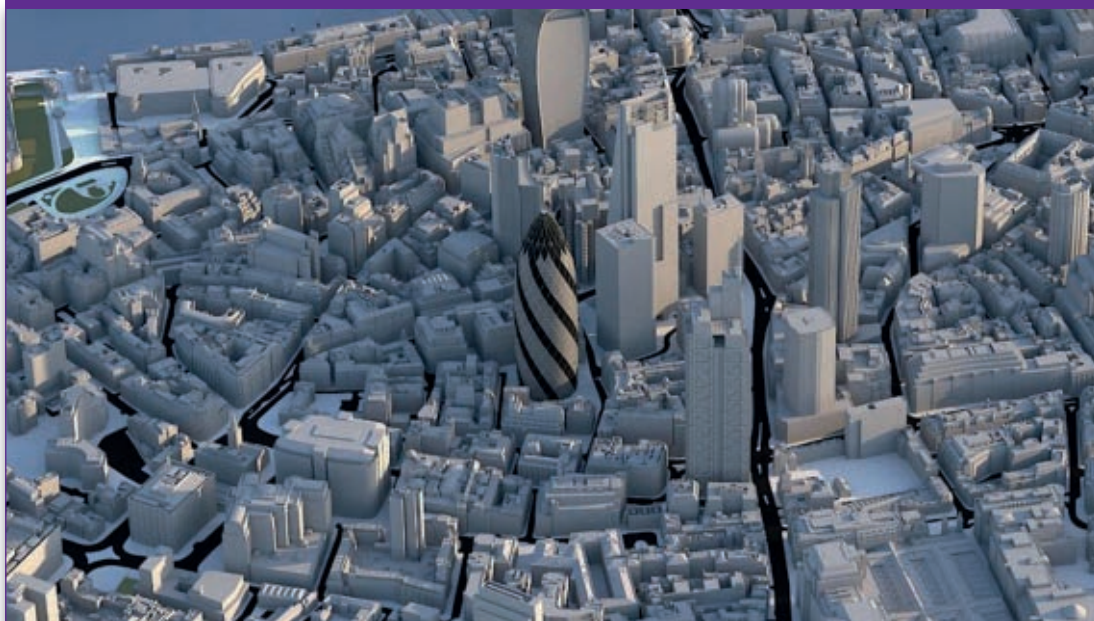
En parallèle se sont développées des ontologies, ensemble de normes structurantes chargées d'harmoniser la manière dont les objets, et les relations qui unissent ces objets, sont décrits : toutes les portes possèdent un certain nombre d'attributs en commun (une poignée, une largeur, une hauteur, une épaisseur, un matériau de réalisation, des gonds, etc.) mais sont aussi fixées sur un mur et ouvrent sur deux espaces. Une porte est donc un objet qui met en relation des pièces entre elles. En aménagement urbain, une route possède une géométrie, bien sûr, mais aussi des voies, des marquages, parfois un séparateur, et surtout se connecte au moins à un autre tronçon. Ces normes portent le nom de *CityGML* du côté SIG, et IFC du côté de la construction.

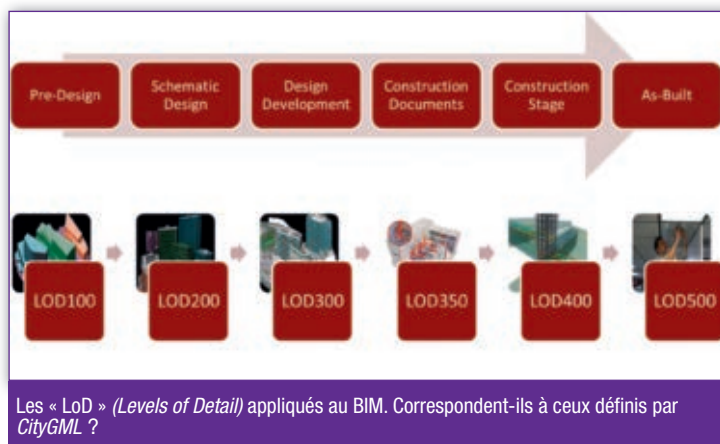
Malheureusement, si la maquette numérique version bâtiment s'est développée autour des

méthodes et des objets utilisés dans la construction et l'aménagement intérieur, la maquette 3D version SIG a colonisé le « terrain » complémentaire, à savoir la description extérieure, l'aspect et la géométrie des bâtiments. La surface de « récolement » entre les deux réalités, les façades et éléments visibles de l'extérieur, ne constitue qu'une interface bien mince. Bien sûr, certaines notions de base sont identiques dans les deux mondes : on parle de niveau de détail (*LoD*, *Level of Detail*), que l'on classe en quatre niveaux. Mais force est de constater que même sur cette notion simple, les deux mondes ne sont pas tout à fait d'accord : LOD 0, 1, 2 et 3 pour *CityGML*, la norme SIG 3D, LOD 000, 100, 200, 300 pour les IML, la norme BIM. Parle-t-on exactement de la même chose des deux côtés ? Difficile à dire.

Les méthodes de travail complètement différentes expliquent pour partie les différences constatées à l'heure actuelle : le monde du BTP, habitué aux logiciels de

Maquette numérique 3D du centre de Londres. Le modèle BIM de la « Gherkin Tower » (« Tour cornichon ») a été inséré dans un ensemble de bâtiments modélisés en *CityGML*.





CAO, place toute l'importance dans le dessin. Le rendu doit être aussi proche que possible de la réalité, car le produit fini doit suivre les indications du plan (mesures) dans ses plus menus détails. Au contraire, dans le SIG, l'importance réside dans les attributs des objets et les relations qu'ils entretiennent entre eux, ce qui explique l'aspect primordial de la base de données. La représentation peut faire l'objet d'approximations plus ou moins importantes (selon l'échelle de travail), sans que l'étude s'en trouve perturbée.

Des organismes de normalisation totalement différents

Évidemment, qui dit mondes différents dit également organismes de normalisation séparés. Dans le BTP, les tentatives de normalisation remontent à 1994 lorsque douze éditeurs de logiciels de construction se retrouvent, sous la houlette d'AutoDesk, pour fonder le groupe IAI, *Industry Alliance for Interoperability*. En 1995, l'IAI s'ouvre à d'autres participants, et les utilisateurs de logiciels demandent un changement de paradigme, en plaçant pour des normes ouvertes et non

propriétaires. L'IAI modifie alors son nom pour devenir l'*International Alliance for Interoperability*, une association sans but lucratif dont le but est de promouvoir l'utilisation des IFC tout au long du cycle de vie des infrastructures. En 2005, l'IAI, dont le nom est jugé trop long et trop peu explicite, est rebaptisée *BuildingSMART*.

Du côté du SIG, les premières tentatives timides de normalisation remontent également à 1994 et, à l'époque, les premiers efforts portent sur le logiciel GRASS, SIG *Open source* issu de travaux universitaires. Il se forme alors un premier groupe appelé l'OGF, *Open Grass Foundation*. Celui-ci engrange de plus en plus de membres avec les années, parti-

culièrement des représentants des services de l'État américain. Or, ce dernier n'utilise guère GRASS, mais plutôt des logiciels propriétaires de type ESRI. Des essais d'interopérabilité au travers du protocole *XWindows*, spécifique à UNIX, sont alors tentés, mais c'est finalement au début des années 1990 que le besoin de protocoles d'échange de données neutres sur les réseaux d'alors se transforme de simple sujet d'étude en véritable projet (*Open Geodata Interoperability Specification*), autour duquel se forme une nouvelle structure, d'abord l'*OGIS consortium*, renommé par la suite en *Open GIS consortium*, qui deviendra lui-même en 2004 l'*Open Geospatial Consortium*, pour marquer le fait que l'échange de données géospatiales débordait largement le cadre du SIG.

Les contacts entre les deux entités sont tardifs par rapport à leur date de formation. Il faut attendre les années 2010 pour que l'intérêt de l'emploi des données géospatiales apparaisse clairement dans le monde de la construction, et encore cela se fait-il uniquement au travers des infrastructures comme les routes, tunnels, ponts, etc. En 2013, un *formal agreement* est signé





André Borrmann – professeur « Computational Modeling and Simulation » au Technische Universität München – a publié nombre d'ouvrages sur le BIM, parmi lesquels :

- Spécification et implémentation des « *directional drill operators* » dans un langage de requête spatial 3D pour des modèles de données construction ;
- Modélisation géométrique-sémantique, multi-échelles, des « Shield tunnels » (tunnels à voussoir) pour les applications SIG et BIM ;
- Échange de modèles paramétriques de ponts à l'aide d'un format de données neutre.

Nous lui avons demandé de revenir sur ces sujets et plus généralement sur les liens entre BIM et SIG.

Pourriez-vous expliquer brièvement l'objet des ouvrages ci-dessus ?

Le premier article fait référence à un langage de requête pour BIM et SIG que nous avons développé au cours des dernières années. Il fournit un support pour l'analyse spatiale 3D et permet de formaliser des requêtes telles que : « Trouver tous les bâtiments situés au-dessus du tunnel prévu ». Également des requêtes très complexes impliquant la géométrie, la topologie et la sémantique des modèles de données bâtiment et des modèles de villes en 3D. C'est une contribution qui vise à combler le fossé entre le BIM et le monde SIG.

Le deuxième document élabore la modélisation de tunnel 3D dans la perspective SIG et BIM. Plus important encore, nous montrons comment le concept de LOD du domaine SIG peut être traduit dans le monde BIM. Ce faisant, nous montrons comment les IFC peuvent être utilisés pour véhiculer de multiples LOD d'un modèle vers un fichier.

Pourquoi travaillez-vous sur ce sujet ? Quels sont les enjeux et les difficultés de la convergence du langage de requête spatial 3D dans le BIM et le SIG ?

Le BIM et le SIG sont deux mondes informatiques très adéquats pour la numérisation du domaine bâti, mais qui sont longtemps restés séparés les uns des autres. Pour tirer le meilleur parti des méthodes numériques pour l'industrie de la construction, il est très important de rassembler ces mondes.

Quels sont les problèmes pour chacun d'entre eux ?

Les deux mondes nécessitent de nouvelles approches de méthodes de calcul avancées. Pour les fonctionnalités de requête par exemple, nous avons créé un nouveau langage qui est supposé être utilisable aussi par des non-programmeurs, c'est-à-dire des ingénieurs et des architectes. Cela implique également un langage visuel que nous avons développé à cette fin.

En ce qui concerne les modèles multi-LOD, un grand défi consiste à préserver la cohérence des représentations à travers les différents niveaux de détail. Nous avons utilisé des techniques de modélisation paramétrique avancées pour y parvenir.

Comment se développe la recherche sur BIM en Allemagne ?

La recherche BIM en Allemagne est menée et financée à différents niveaux. D'un côté, nous avons des recherches fondamentales menées par des universités et financées typiquement par la *German Research Foundation*. Dans ces programmes, les méthodes et technologies BIM fondamentales ont été développées depuis vingt ans déjà. À côté de cela, nous avons des programmes de recherche appliquée, généralement financés par le ministère de la Recherche et de l'Éducation, où des consortiums de partenaires industriels et des universités travaillent ensemble. Cependant, comme le BIM a maintenant atteint une maturité qui permet sa mise en

œuvre pratique, le ministère des Transports déploie une feuille de route BIM qui ne comprend pas vraiment la recherche, mais plutôt le développement de guides, et de spécifications précises, relatifs au *workflow* BIM.

Quels sont vos prochains sujets de recherche maintenant ?

Nous allons maintenant certainement aborder la question de l'automatisation du processus de construction. Ayant une base numérique solide avec les modèles BIM décrivant l'ouvrage à construire, nous pouvons maintenant rechercher comment les machines autonomes peuvent nous aider à réaliser au moins certaines parties de la construction.



entre les deux entités, suivi d'un *Memorandum of Understanding* en 2014.

LandXML

Mais, dans les faits, un format de description du territoire adapté aux travaux des entreprises d'infrastructure existe déjà. Il s'agit de *LandXML*. Ce dernier embarque des informations de génie civil et de topographie. Les premiers travaux de normalisation autour de *LandXML* ont commencé au début des années 2000 (pour la version 0.88), puis ont évolué progressivement vers une

version 1.0 (2002), 1.1 (2006) et finalement 1.2 (2008). *LandXML* a été particulièrement conçu pour l'industrie routière, on y trouve une foule d'objets liés à la chaussée ou au trafic (des feux tricolores ou des panneaux routiers, par exemple), mais rien qui ne puisse concerner d'autres modes de transports, comme les réseaux ferrés par exemple.

Rappelons que les formats *XML* correspondent à une ontologie : il s'agit de décrire les éléments importants qui forment le « monde » à décrire. À ce titre, il ne s'agit pas d'un format d'échange, mais d'une sorte de structure

générale, un ensemble de règles à l'aune desquelles on peut juger la conformité d'un élément descriptif. Cet élément descriptif lui-même doit être décrit dans une autre variété d'*XML* : en ce qui concerne l'OGC, cette variété d'*XML* s'appelle *GML* pour *Geographical Markup Language*. *GML* est utilisé, par exemple, pour échanger des données vectorielles à l'aide du protocole *WFS(-T)*.

En 2013, l'OGC commence à s'intéresser à *LandXML* et y voit une ontologie intéressante pour échanger des informations entre le monde du SIG et celui du BIM, et ce d'autant que le langage est



utilisé par plus de soixante-dix logiciels et que la communauté qui s'est constituée autour de celui-ci compte plus de six cents entités réparties aux quatre coins de la planète.

Mais l'utilisation directe de *LandXML* se heurte à plusieurs problèmes. Le premier d'entre eux est qu'il s'agit d'un « standard » qui n'en est pas un. Autrement dit, il n'est jamais passé sous les fourches Caudines des instituts comme l'ISO, ce qui rend son support par les principaux éditeurs aléatoire, et ce d'autant que le « standard » n'a pas évolué depuis 2008.

En outre, *LandXML* 1.2 consiste en environ cinq mille lignes de code XML, accompagnés d'une documentation minimale sous forme de commentaires embarqués. Aucune documentation technique, aide en ligne, ou même schéma UML n'ont jamais été publiés. Le seul moyen de comprendre ce que *LandXML* modélise, et comment il le fait, consiste donc à tenter de déchiffrer ces lignes.

L'OGC crée alors le *Land And Infrastructure Domain Working Group* pour étudier plus à fond les potentialités de *LandXML*, et tenter de dresser la première description UML de l'ontologie, pour en faciliter la compréhension, et voir comment faire pour pouvoir inclure dans l'ontologie des éléments qui ne s'y trouvent pas (comme, par exemple, les descriptions nécessaires aux voies ferrées). Tout cela en vue de préparer une version 2.0 de *LandXML* avec un *LandGML* qui permettrait d'échanger des éléments sur *Internet*.

Le groupe identifie rapidement un certain nombre de problèmes

et d'incohérences dans *LandXML* 1.2, parmi lesquels :

- Beaucoup trop de champs optionnels, qui font de *LandXML* 1.2 moins un standard d'interopérabilité qu'un cadre souple de description ;
- La structure du document est déficiente ;
- Certains choix permettent la répétition ou l'absence d'information alors même qu'elle est requise pour la description de l'élément ;
- Certains types définis ne sont pas utilisés ou sont ambigus, pouvant convenir à plusieurs sémantismes distincts ;
- Le choix des noms est discutable ;
- Un attribut unique est exigé, mais peut parfois être remplacé par un nom qui n'a pas la même contrainte d'unicité ;
- La notion « d'objet » (*feature*) est différente dans *LandXML* par rapport à son équivalent généralement admis dans toutes les autres normes relatives à l'information géographique ou à la construction.

L'équipe remarque que modifier le standard pour le rendre plus conforme à ce qui est attendu d'une norme d'interopérabilité rendrait automatiquement la majorité des fichiers non conformes. En outre, *LandXML* 1.2 est orienté 2D, alors que de 2008 à 2014, la majorité des logiciels a généralisé l'utilisation de la 3D. Pis, *LandXML* n'est pas conforme sur plusieurs points avec les « bonnes pratiques » édictés par l'OGC : absence de modularité dans le format, absence de modèle conceptuel et de documentation, absence de notion

« d'objet », utilisation de types géométriques différents de ceux définis par l'OGC, confusions multiples dans l'usage des majuscules-minuscules.

InfraGML

La seule solution possible pour faire évoluer *LandXML* consistait donc à « rompre » avec la version 1.2 et évoluer vers une 2.0, incompatible avec la version précédente. Malheureusement, le *Land And Infrastructure Domain Working Group* n'arrive pas vraiment à remobiliser les acteurs ayant participé à la création de *LandXML* 1.2 et, faute d'interlocuteurs pouvant expliquer la philosophie à l'origine de la « norme » et/ou les éléments pertinents de celle-ci, il décide d'abandonner la piste de la modernisation et de s'orienter vers une toute nouvelle norme, incorporant des éléments de *LandXML*, mais distincte de celle-ci : *InfraGML*.

Les objectifs initiaux d'*InfraGML* étaient les suivants :

- Être maintenu par un organisme reconnu et pérenne, l'OGC ;
- Être conforme avec les standards OGC (TC211 et SQL/MM), ainsi que modulaire ;
- Bénéficier des développements et types déjà existants en GML comme les objets, les géométries, les systèmes de référence, les abscisses linéaires et les réseaux de triangles irréguliers (TIN) ;
- Se focaliser au départ sur la topographie et les alignements, les deux principaux sujets en manque de support ;
- Pouvoir être étendu à d'autres domaines (p.e. : gestion des

réseaux, cadastre...) au fur et à mesure de son adoption ;

- Évoluer en fonction des besoins utilisateurs ;

- Se fonder sur un modèle UML développé avant l'arrivée de GML ou de tout autre futur encodage ;

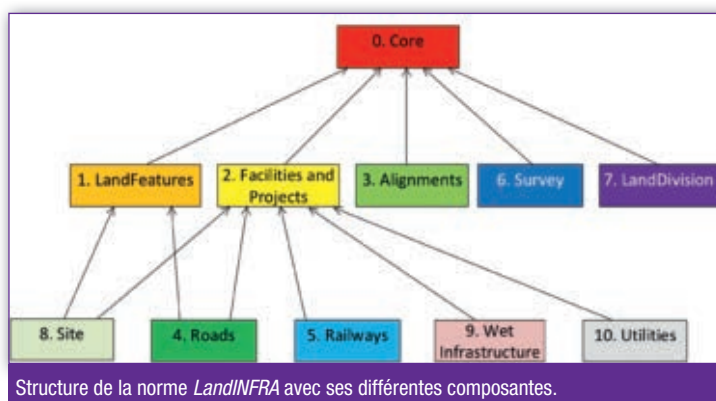
- Être plus en phase avec l'état de l'art ;

- Se synchroniser avec le cycle de développement des IFC d'infrastructure pilotés par *buildingSMART* ;

- Développer la symbiose avec *CityGML* et *TransXML*.

Il est cependant rapidement apparu que les différentes problématiques censées tomber sous la coupe d'*InfraGML* étaient trop vastes pour être traitées dans le cadre d'un langage de description unique. La norme *InfraGML* a donc été scindée en un nombre de composantes correspondant chacune à un domaine particulier de l'infrastructure : routes, rails, tunnels, plus des « services » comme celui de la topographie, de l'alignement (entendre ici la transformation de données 2D en pK et vice-versa) ou du cadastre. Le projet, dont on imagine la complexité, est encore loin d'être achevé, même si certains grands organismes, comme les chemins de fer chinois, ont décidé de prendre les choses en main dans leur domaine de compétence.

InfraGML prend place dans une proposition plus large, qui comprend également le modèle conceptuel de données et l'ontologie correspondante, appelée *LandInfra*, développé conjointement par *buildingSmart International* et l'OGC.



Des difficultés multiples

Concrètement, les deux officines vitrines de la normalisation dans chacun des secteurs travaillent donc à une norme commune, capable d'offrir la passerelle indispensable si l'on souhaite que les deux mondes se parlent. Ce n'est pas pari gagné, ne serait-ce qu'au niveau de chaque instance de normalisation : « Il y a des enjeux au sein même de l'OGC, confie François Robida, directeur adjoint au département informatique du BRGM et membre de l'OGC. L'influence des éditeurs de logiciels majeurs comme AutoDesk, ESRI ou Bentley est sensible ;

c'est d'ailleurs ce dernier qui pilote tous les efforts autour des travaux portant sur l'"alignement". Mais ceci ne va pas dans l'intérêt des utilisateurs : il faut qu'ils puissent peser sur les démarches de standardisation pour expliquer quelle ontologie leur convient, quels sont leurs besoins, où se font les interactions, les échanges et qui est responsable de quoi. Il ne faut pas laisser les industriels se mettre d'accord et dicter les étapes de la standardisation. D'autant que le risque est grand qu'à coups de millions de dollars, chacun des majors acquière une exclusivité sur l'une des grandes parties de Land Infra. »



Ces efforts de normalisation ont été relayés à l'échelon national par différentes structures, et, en France, le projet MINnD créé à l'instigation de Pierre Benning et Christophe Castaing a connu un succès spectaculaire, à tel point qu'à quelques mois de la fin officielle du projet, de nouvelles entreprises continuent à le rejoindre. *« Ce projet est particulier, indique Christophe Castaing, car il a été initié par l'industrie, contrairement à des structures homologues dans d'autres pays européens qui sont, elles, placées sous la responsabilité directe de l'État, et ne rencontrent ni le même succès, ni le même foisonnement d'idées. »*

Les problèmes se posent à différents niveaux. Au BRGM, par exemple : *« Nous travaillons sur la manière de communiquer l'information géographique du sous-sol que nous possédons aux futurs chantiers impliquant des constructions souterraines, qui ont besoin de cette information. Comment l'intégrer ? Faut-il que le BIM réinvente le "spatial" ou l'OGC doit-il créer un LOD 5 qui décrirait le sous-sol des bâtiments ? Je pense personnellement que la réponse est dans une synthèse des deux approches »,* poursuit François Robida.

« La réflexion à mener consiste à savoir qui a besoin de quoi. Qu'attendent les gens qui font du BIM comme informations que nous, BRGM (par exemple), possédons au format GéoGML ? Un profil géologique intégrable dans les grands logiciels du secteur ? Autre chose ? Et inversement, une fois l'infrastructure réalisée, comment l'intégrer dans nos bases de données pour tenir compte de cette modification et en mesurer les impacts dans l'écoulement de la nappe phréatique ? Etc. L'échange est bien entendu bi-directionnel. Ne nous



François Robida, coordinateur du Forum OGC France.

leurrons pas : il y a beaucoup à faire pour rapprocher les géomaticiens des ingénieurs travaillant dans la construction au sein des mêmes entreprises. Alors, imaginez quand il faut mettre autour de la même table des gens des collectivités locales, des opérateurs de réseaux, des entreprises de BTP et des utilisateurs... Encore une fois, le sujet démontre que la technologie avance plus vite que la culture. »

Problèmes juridiques

L'utilisation de la maquette BIM comme support aux opérations de construction-maintenance n'est pas sans poser des casse-têtes juridiques. Comme à son habitude, le Canton de Genève a pris les devants et prépare déjà un projet de loi pour refondre les délivrances de permis de construire afin d'y intégrer la dimension BIM. Cette transition, pour laquelle un budget à hauteur de huit millions de francs suisses a été voté, implique également le dialogue entre la base foncière de l'État, au format SIG, et les différents intervenants BIM, au moins pour les gabarits des parcelles. *« Nous avons fait réaliser des tests par différentes écoles d'ingénieurs, indique Laurent Niggeler, Géomètre cantonal de l'État*

de Genève. Les résultats sont bons, et ce succès initial nous a encouragé à poursuivre dans la définition d'une feuille de route BIM pour l'État, comprenant entre autres la définition d'une stratégie BIM de l'administration, rédigée au cas par cas en fonction de la maturité des services. Nous sommes conscients que cette transition vers le BIM influencera à la fois l'État en tant que maître d'œuvre, l'État en tant que gestionnaire du patrimoine, et l'État en tant que régulateur. »

Le Canton de Genève va donc répertorier toutes les données qu'il possède actuellement dans le SITG (le Système d'Information du Territoire Genevois) et qui pourraient être utiles aux architectes, pour les convertir dans un format BIM – selon différents niveaux de LOD. Comme il est évidemment impossible d'effectuer toutes ces conversions à la main, le Canton va faire développer des moulinettes utilisant certains utilitaires comme FME.

Dans un deuxième temps, des outils d'aide à la régulation seront mis en place, par exemple des applications s'assurant que la maquette numérique respecte les principales dispositions d'urbanisme en place sur la parcelle de construction. ■

Christophe Castaing, président du CST de buildingSMART France, co-directeur de MINnD, Directeur du Programme Ingénierie Numérique EGIS, répond à six questions.



Où en est-on, finalement, de la convergence entre IFC d'une part et CityGML d'autre part, deux formats d'échange qui ne cherchent pas à décrire les mêmes réalités ?

Alors que le nombre de projets délivrés sous forme IFC augmente, la préoccupation des villes d'intégrer les modèles des ouvrages à leur système d'information progresse également. Des travaux sur la convergence des deux formats se font à plusieurs niveaux. On constate que le format *CityGML* est très largement sous-utilisé et sous-implémenté chez les éditeurs. Dans le cadre du projet *MINnD*, un travail a été mené – sous la direction de l'IGN et du BRGM – pour étudier plus précisément la complémentarité des deux formats afin de donner des règles de bonnes pratiques et permettre une plus large mise en œuvre. Au niveau des organisations de pré-normalisation que sont *buildingSMART International* et l'OGC, il y a eu d'une part une première expérimentation menée pour vérifier la possibilité de déposer des permis de construire en utilisant la complémentarité des deux formats. Une deuxième expérimentation, plus poussée, devrait être lancée prochainement. D'autre part, un groupe de travail commun des deux organisations travaille pour formaliser, à partir d'une liste plus étendue de cas d'usages, des règles d'implémentation dans les *BIM Execution Plan*.

Est-ce qu'il existe des problèmes d'échelle BIM/SIG ?

Cette question qui revient souvent n'est pas forcément pertinente. Tout d'abord, dans le numérique, la question des échelles ne se pose pas. Les échelles sont liées à la capacité



d'interpréter des traits dans un format de papier donné. Nous allons plutôt parler de niveaux de détail, de niveaux d'information, mais pas d'échelle. Le BIM, jusqu'à maintenant s'est attaché à l'acte de construire : dans le bâtiment et maintenant dans les infrastructures. Dès lors, le BIM comme le SIG, appréhende le territoire, la ville. On en revient donc à la première question – sur la complémentarité des deux formats d'échange – qui ont, par ailleurs leur propre approche des niveaux de détail ou d'information. Les travaux en cours dans le cadre du CEN TC 442 vont permettre d'affirmer des concepts de niveaux d'information requis (LOIN) unifiant.

Peut-on dresser un bilan succinct du projet MINnD ? Au-delà de ce projet, y aura-t-il d'autres initiatives à venir ?

Le projet national *MINnD* a réussi au-delà de ce qui pouvait être espéré. Pour mémoire *MINnD* veut dire « *modélisation des informations interopérables pour des infrastructures durables* ». *MINnD* a été mandaté par *buildingSMART France – Mediaconstruct* sur les *IFC Infrastructures*. Ainsi, à partir de ses travaux, ont été lancés tous les travaux d'extension des IFC autour de la route du rail, des ouvrages d'art, des tunnels, au sein de *bSI (buildingSmart International)* ! Mais c'est aussi en partie grâce à la convergence de ses travaux avec d'autres projets internationaux que le groupe de travail commun entre l'OGC et *bSI* a été mis en place.

Existe-t-il une approche mixte BIM/SIG dans le domaine des réseaux souterrains ?

L'approche par le SIG de la gestion des réseaux est maintenant relativement ancienne, aussi bien pour les réseaux humides que pour les réseaux secs. Les outils BIM, quand ils arrivent à maturité, montrent la nécessaire convergence de mise en œuvre de ces deux approches, et plus particulièrement pour les phases d'exploitation. Les travaux engagés en commun par *bSI* et par l'OGC au travers de modèles conceptuels communs pour les IFC et *InfraGML* ont pour ambition d'améliorer cette convergence indispensable.

L'apport du SIG dans la réalisation d'une maquette numérique d'infrastructure avant l'ouverture des travaux est bien connu. Mais qu'en est-il du processus inverse, l'alimentation du SIG à partir de la maquette contenant les informations du « tel que construit » ?

Cette problématique devient plus prégnante dès que les ouvrages construits sont envisagés, non seulement dans leur cycle de vie mais aussi dans leur insertion dans le territoire. Les pratiques devraient pouvoir évoluer, grâce aux travaux sur l'interopérabilité qui devraient permettre de rendre fluide le transfert des données vers les outils de « *facilities management* ».

Le monde du SIG, et sans doute celui du BIM également, est dominé par la culture anglo-saxonne. Quelle est la place de la France dans Mediaconstruct et, plus largement, dans la communauté BIM mondiale ? Comment faire intégrer les particularismes français dans les normes internationales ?

Les outils de SIG tout comme les outils produisant des modèles BIM sont largement dominés par les « *software vendors* » US. Ceci ne fait aucun doute. Quant à l'utilisation ou à la pratique, la domination, au-delà des aspects marketing, l'appréciation est beaucoup plus discutable. Nous pouvons en avoir une preuve au travers de l'Award qu'Egis a obtenu au Royaume-Uni pour la mise en œuvre commune SIG/BIM sur le contrat pour le tramway de Birmingham. Une présence française active dans les communautés de pré-normalisation ou normalisation est la condition nécessaire et suffisante pour faire valoir les bonnes pratiques développées dans l'industrie française. *MINnD* qui rassemble aussi bien des industriels que des académiques tels que l'IGN, le BRGM ou l'IFSTTAR contribue pratiquement à ce que se rejoignent aussi bien dans la CN-PPBIM de l'AFNOR, que dans les réunions de l'ISO ou du CEN les spécifications techniques issues de ces bonnes pratiques.

ISSN : 1620-4989

Géomatique

Expert

ABONNEZ-VOUS !

SIG et BIM (2)

Convergence SIG/BIM

Journées de la Recherche IGN

Traitement d'images en Python

N° 121 - Mars-Avril 2018 - 14 €

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

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

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

Mon abonnement comprend : 6 numéros + 10 eNewsletters

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)

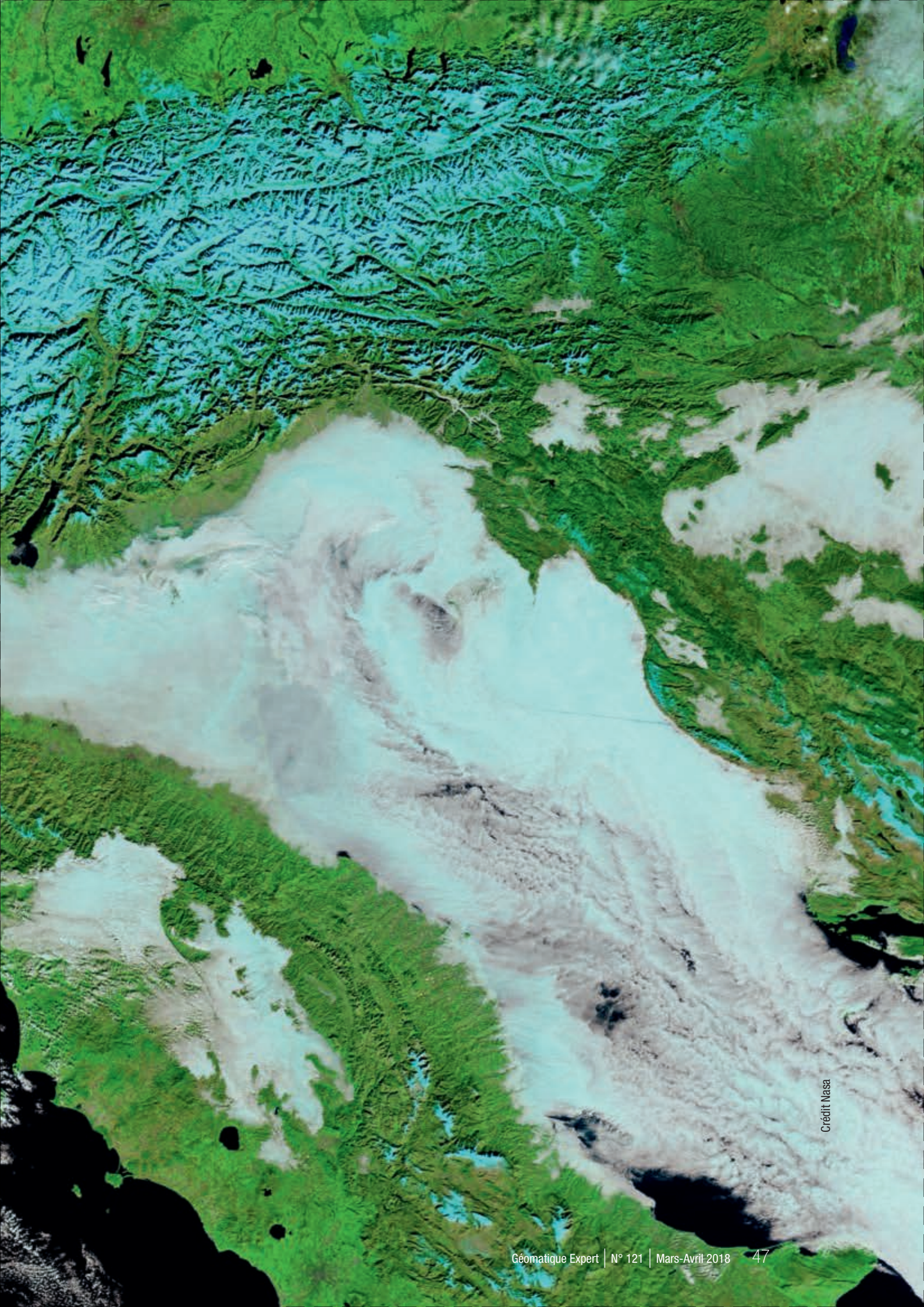
L'abonnement ne sera pris en compte qu'accompagné de son règlement. ☐ Je souhaite recevoir une facture acquittée.

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

Traitement d'image en Python avec RSGISLib

Autrefois limités à quelques logiciels commerciaux excessivement onéreux (ENVI...) les outils de traitement d'image se sont progressivement « ouverts » grâce à l'initiative d'universitaires ou de grands groupes désireux de développer la pratique de la télédétection.



Crédit Nasa



La télédétection est une discipline extrêmement utile. Les images aériennes, ou satellite, couvrent de grandes étendues. La télédétection permet donc d'identifier, d'isoler et de répertorier de multitudes d'objets, identiques ou similaires, simultanément, d'où un gain de temps significatif quand il s'agit, par exemple, de géolocaliser des bosquets, des haies, des mares ou d'autres éléments du paysage ou d'évaluer les surfaces couvertes par ceux-ci. En outre, les capteurs aériens ou satellite « voient » des éléments qui ne sont pas nécessairement accessibles (au milieu de zones marécageuses, par exemple), ou bien font appel à des longueurs d'onde d'analyse hors du spectre visible (proche infrarouge, infrarouge lointain, ondes radio), dans lesquelles les objets peuvent exhiber des réponses caractéristiques (un peu comme la spectroscopie pour les molécules en chimie).

Malheureusement, jusqu'à naguère, la pratique de la télédétection était limitée par aux moins deux facteurs :

- L'accès aux images sources (satellite) : quoique les images des satellites **Landsat** aient été librement diffusées dès le début du programme (~ 1980), celles-ci sont limitées en résolution. L'accès à des images de meilleure résolution signifiait souvent déboursier plusieurs centaines, voire milliers d'euros, et faire face à des délais difficilement négociables ;
- Le prix des logiciels de traitement : les logiciels de télédétection, destinés à un marché de niche, principalement dans le domaine militaire ou chez les pétroliers, ont toujours été onéreux.

Au total, la difficulté à pratiquer la discipline, et les filières de formation peu nombreuses, n'ont jamais permis à la télédétection de devenir une discipline véritablement populaire. Heureusement, l'**Open Source** est passée par là, et l'**Open Data** aussi.

L'**Open Data** tout d'abord : le projet **Copernicus**, par exemple, donne maintenant accès gratuitement aux milliers de photographies prises par les satellites de la constellation **Sentinel**. Les clichés de la constellation **Pléiades** sont accessibles gratuitement aux administrations publiques au travers des serveurs de l'IGN, qui fait office de distributeur. Ce sont donc des milliers de clichés auxquels les géomaticiens ont maintenant accès. Mais le manque de formation et souvent le manque d'outils de traitement rendent l'utilisation de ces clichés difficile dans les petites structures.

Heureusement là aussi, de nouveaux outils de traitement libres et gratuits ont fait leur apparition ces dernières années. On pourra saluer l'initiative d'**Astrium** qui a développé, puis gracieusement offert sous licence libre, l'ensemble des outils de la bibliothèque **Orfeo Toolbox**. Cette dernière est particulièrement fournie et puissante, et peut sans rougir rivaliser avec les logiciels professionnels les plus aboutis. Son principal souci est qu'elle est essentiellement destinée aux professionnels du secteur : même si son interface avec **QGis** la rend potentiellement utilisable par le profane (**MonteVerdi**, l'interface native d'utilisation se laisse prendre en mains, mais opérer directement dans **QGis**, particulièrement si l'on souhaite générer des jeux de données, est un avantage), il n'en reste pas moins qu'il faut comprendre ce que chaque opération réalise et quels sont les

paramètres associés, ce qui n'est pas toujours évident.

Et puis, pour les programmeurs, **Orfeo Toolbox** est écrite en C++, ce qui signifie que l'API est relativement complexe, pareille à la complexité du langage lui-même. Pour ceux qui ne parlent pas ce langage, il n'y a pas vraiment de solution.

Heureusement, un deuxième projet, issu des milieux académiques, a récemment vu le jour. Baptisé **RSGISLib (Remote Sensing for GIS LIBrary)**, il résulte des efforts conjoints de Pete Bunting, membre du **Earth Observation and Ecosystem Dynamics Group** à l'université d'Aberystwyth et de Dan Clewley, du laboratoire marin de Plymouth. Il s'agit d'une bibliothèque écrite en **Python**, qui va donc permettre de réaliser un ensemble d'opérations sur les images sous forme de **script**, directement testable sans avoir à passer par le cycle infernal développement/compilation/essai du C++.

La bibliothèque **RSGISLib** (<http://www.rsgislib.com>) contient un certain nombre d'algorithmes pour pré-traiter et analyser les images. La plupart d'entre eux ont été intégrés, au départ, pour répondre aux besoins des travaux de recherche des auteurs. Progressivement d'autres fonctions ont été ajoutées à la demande de certains utilisateurs tiers. La bibliothèque contient de quoi traiter la plupart des tâches courantes en télédétection :

- Segmentation d'image
- Classification objet
- Recalage d'images/géolocalisation
- Traitement d'image
- Statistiques zonales
- Et des fonctions d'E/S et de traitement général raster/vecteur.

L'intérêt d'utiliser une bibliothèque **Python** est bien sûr de pouvoir automatiser un certain nombre de traitements via un **script** appelé répétitivement sur une série d'images, tout en ayant accès à un cycle de mise au point très simple.

Quelques exemples

Voyons ce qu'il est possible de faire avec la bibliothèque **RSGISLib** à partir de la console **Python**.

La première des opérations classiques en télédétection, quand on reçoit une image brute, consiste à appliquer un certain nombre d'algorithmes pour corriger la radiométrie et la géométrie des images. Les capteurs satellites (aéroportés, dans une moindre mesure) enregistrent une image où la radiométrie est qualifiée de « haut de l'atmosphère », c'est-à-dire qu'elle correspond à la vue de la terre entachée de (ou modifiée par) l'absorption atmosphérique, laquelle varie suivant la position du Soleil et l'angle de visée (car la tranche d'air traversée varie en épaisseur). Un modèle a été développé pour corriger automatiquement la radiométrie des images satellite, le « modèle **6S** ». Il s'agit d'un modèle complexe avec une série de coefficients par bande (l'absorption atmosphérique dépend de la longueur d'onde), la prise en compte de l'altitude du pixel (qui change l'intensité de l'absorption) et d'un facteur dit AOT (**Aerosol Optical Thickness**) qui permet de représenter les problèmes de pollution.

La bibliothèque **RSGISLib** contient trois appels différents pour appliquer l'algorithme 6S à une image **Landsat** : **apply6SCoeffElevAOT-LUTParam**, **apply6SCoeffElevLUT-Param** et **apply6SCoeffSinglePa-ram**. Sans grande surprise, on

comprendra vite que la première tient compte de tous les paramètres, la deuxième laisse de côté l'AOT, et la troisième n'utilise que la correction atmosphérique simple.

Un second problème avec les images satellites (et parfois avec les images aériennes prises à l'occasion d'événements exceptionnels) consiste à éliminer les nuages qui s'intercalent entre l'objectif et le sol. La fonction spéciale **applyLandsatTMCLOUDF-Mask** permet de lancer, sur une image **landSat**, l'algorithme **FMask**. Ce dernier utilise des paramètres divers (attention, assez nombreux) pour estimer quelles sont les zones de l'image qui correspondent à des nuages, et quelles sont les zones où ces nuages projettent une ombre. Une fois le calcul effectué, une autre fonction permet d'isoler les parties exploitables de l'image (**calcClearSkyRegions**), par exemple dans le cas où l'on souhaite superposer plusieurs images de la même zone prises à des dates différentes pour obtenir une image sans nuages.

Notons qu'il existe également des fonctions de calibration pour les satellites **Spot 5** et **Worldview**.

Combinaison de bandes

Le module **imagecalc** permet d'effectuer des calculs sur les images, en bloc, par bandes. Par exemple, on peut calculer une image panchromatique à partir d'une image multispectrale RVB :

```
import rsgislib as r
from rsgislib.imagecalc import *
image = 'Presquile.jp2'
bands = [BandDefn('b1', image, 1), BandDefn('b2', image, 2),
BandDefn('b3', image, 3)]
bandMath('Presquile-panchro',
'(b1+b2+b3)/3', 'GTiff',
r.TYPE_8INT, bands)
```



Photographie aérienne IGN BD Ortho® du bout de la presqu'île de Lyon, au sud du projet Confluence. En haut, couleurs naturelles, en bas, fausses couleurs infrarouges.

Image contient le nom de l'image à traiter. On va ici utiliser des images aériennes IGN type **BD Ortho®**, en couleurs vraies et en fausses couleurs infrarouges, du bout de la presqu'île de Lyon.

On définit ensuite les bandes de cette image qui vont être utilisées, en leur donnant un nom (ici, **b1**, **b2** et **b3**, respectivement rouge, vert et bleu). La fonction **image-Math** effectue la combinaison, qui est spécifiée sous forme

d'expression au milieu de l'appel. Ici, il s'agit juste de moyenner les bandes, ce qui donne une image panchromatique « non calibrée », dans le sens où la luminosité des couleurs n'est pas préservée (le vert apparaît plus lumineux que le rouge, lui-même plus lumineux que le bleu). Pour obtenir la véritable image noir et blanc, il faut utiliser une expression plus complexe, qui tient compte de la sensibilité de l'œil :

```
bandMath('Presquile-panchro',
'.21*b1+.71*b2+.072*b3', 'GTiff',
r.TYPE_8INT, bands)
```

Les deux images obtenues sont subtilement différentes, l'écart le plus notable concernant la végétation, car la pondération du vert est sensiblement différente dans les deux cas.

Une autre application du calcul d'image consiste à calculer des index dérivés des valeurs des bandes. Le plus connu de ces index est certainement le NDVI, l'index de végétation, qui se calcule ainsi : $NDVI = (IR - R) \div (IR + R)$ où IR et R sont les valeurs des pixels dans les bandes proches infrarouge et rouge, respectivement. L'idée de cet index est de refléter la propriété de la chlorophylle, qui absorbe à peu près toute la lumière rouge (d'où son apparence verte) tout en réfléchissant la quasi-intégralité de l'infrarouge proche.

```
image = 'Presquile-IR.tiff'
bands = [BandDefn('b1', image, 1),
BandDefn('b2', image, 2)]
bandMath('Presquile-NDVI.tiff',
'(b1 > 40) && ((b1 - b2) > 0)? (b1 - b2) * 256 / (b1 + b2) : 0', 'GTiff',
r.TYPE_8INT, bandDefns)
```



Deux images panchromatiques obtenues en mélangeant les bandes de l'image en couleur naturelle. À gauche, la luminance est simplement la moyenne des composantes rouge, vert, bleu de chaque pixel. À droite, la luminance est pondérée en fonction de la sensibilité de l'œil aux différentes couleurs. La différence entre les deux images est visible, mais subtile.

L'expression du NDVI est ici plus complexe que la formule de base. Pour éviter les calculs imprécis dans les zones d'ombre, on élimine les zones de l'image où l'intensité infrarouge est inférieure à 40 (ce seuil nécessite un peu d'ajustement). Dans l'absolu, ce n'est pas gênant, car les objets, même éclairés, qui ne reflètent quasiment pas d'infrarouge ne

sont vraisemblablement pas de la végétation. Ensuite, on évite de calculer le NDVI dans le cas où le numérateur est négatif, ce qui risquerait d'entraîner des artefacts dans l'image, qui ne peut contenir que des valeurs allant de 0 à 255 (il est possible d'augmenter la dynamique en utilisant un autre type d'entier dans le TIFF, par exemple **r.type_16INT**



Superposition de l'image obtenue en calculant l'index NDVI, colorée en vert et de l'image en couleurs naturelles. Tous les pixels vert « *flashy* » peuvent être considérés comme des zones de végétation (NDVI important).

ou `r.type_32INT`, mais l'image ne peut alors plus être affichée dans la plupart des visualisateurs). Dans les deux cas précédents, le pixel final est autoritairement mis à 0. Sinon, on calcule le NVDI, qui parcourt l'intervalle [0, 1]. On le multiplie donc par 256 pour obtenir une dynamique aussi large que possible.

Le résultat est plutôt bon, voire très bon. La plupart des zones de végétation, même de faibles dimensions, sont détectées. Les pelouses très rases ont une réponse un peu moins marquée. Il n'y a quasiment pas de sur-détection (peut-être sur le toit d'un des bâtiments industriels à gauche, et certaines voitures en stationnement, suivant les pigments utilisés pour la peinture). La superposition de l'image NVDI calculée, colorée en vert vif, au-dessus de l'image orthophotographique en couleurs naturelles permet de mettre en évidence les résultats surprenants de cette méthode relativement simple.

Pour dénombrer la surface couverte par la végétation, on peut ensuite procéder à une opération de « seuillage » (on enlève tous les pixels dont la valeur est inférieure à un seuil), puis on compte le nombre de pixels dont la valeur n'est pas nulle. Le résultat est multiplié par la surface sol du pixel (0,25 m²).

Filtres

Outre les calculs sur les bandes, il est possible d'appliquer une variété de filtres différents à l'image entière. Ces filtres peuvent également être utilisés pour traiter des photographies aériennes, ce que nous allons faire ici à partir d'une autre photographie aérienne extraite de la **BD Ortho**[®] de la ville de Lyon.



Image de départ avant filtrage.

Filtres de premier ordre

La première possibilité consiste à appliquer un filtre de flou gaussien. Rappelons que ce filtre consiste à « mélanger » la valeur des pixels qui se trouvent au voisinage d'un pixel central, les coefficients du mélange étant fixés par une fonction de type gaussienne

$$e^{-\frac{x^2+y^2}{\sigma_x+\sigma_y}}$$

Il est possible de fixer les valeurs de σ_x et σ_y de manière indépendante, ainsi que le « rayon » de la gaussienne. Notons que fixer σ_x et σ_y tous deux à 0 revient à placer tous les pixels de l'image à 1 (image blanche) ; plus la valeur de σ_x et σ_y augmente, plus la gaussienne est atténuée, ce qui produit plus de flou, mais également un assombrissement de l'image.

Deux autres filtres « passe-bas » (donc qui atténuent les bruits ponctuels) sont également disponibles : le filtre **moyenne (mean)** remplace la valeur du pixel central par la moyenne des valeurs des pixels périphériques (dont la largeur est sélectionnée par l'utilisateur). Dans la version **médiane (median)**, la valeur de remplacement n'est pas la moyenne mais la médiane, c'est-à-dire la valeur se trouvant au milieu de toutes les valeurs existantes quand on les range par ordre croissant (ou décroissant). On pourrait croire que les effets de ces deux filtres sont quasiment identiques, mais ce n'est pas le cas : le filtre **moyenne** tend à produire un flou assez semblable au flou gaussien, le filtre **median** produit un effet de type « estompage » où la couleur dominante recouvre les petits



Trois exemples de filtrage passe-bas gaussien, sur une grille de neuf pixels. En haut, la variance est à un pixel, trois au milieu, sept en bas. On voit bien que le flou augmente. Les images ont été corrigées, mais il est clair que la dynamique diminue lorsque le flou augmente, puisque les détails très lumineux ou très sombres sont « gommés ».

objets, ce qui donne un rendu proche d'une peinture à l'huile.

Cet effet est encore plus marqué avec un filtre spécial appelé filtre de **Kuwahara**. Il s'agit d'un filtre non linéaire (il ne se contente pas d'additionner la valeur des

pixels adjacents, mais opère des calculs plus complexes), élaboré au début pour l'imagerie médicale, permet d'homogénéiser les plages quasi uniformes tout en respectant la netteté des contours (ce que ne font pas les filtres précédemment évoqués). On obtient le même effet de peinture à l'huile que le filtre **médian**, mais plus perceptible en raison du piqué des contours.

Un autre moyen de produire le même effet est d'utiliser le filtre **mode**. Ce dernier est également non linéaire. Il remplace la valeur d'un pixel par la valeur la plus fréquente située aux environs de celui-ci. On obtient une image moins bruitée où cependant les contours et petits détails ont l'air d'avoir été surlignés au marqueur à pointe large.

Deux autres filtres spéciaux sont également à disposition. Avec le filtre **max**, la valeur du pixel est remplacée par le maximum des valeurs des pixels environnants, et le filtre **min** effectue, on l'aura deviné, exactement l'opération inverse. Ces deux filtres produisent évidemment une augmentation (respectivement diminution) de la luminosité de l'image.

L'utilisation de ces filtres est particulièrement indiquée dans le cas où :

1. On souhaite filtrer du bruit présent sur l'image en préservant son contenu morphologique (donc en respectant les contours) ;
2. On cherche à passer l'image dans une deuxième batterie de filtres destinée à détecter les contours, ce qui élimine les petits détails et ne permet de garder que les bâtiments ou objets significatifs.

Filtres détecteurs de contours

La raison d'être de ces filtres, dits passe-haut, est justement de réaliser l'inverse des filtres passe-bas, c'est-à-dire de mettre en évidence les contrastes de l'image, qui correspondent généralement aux contours des objets. Les filtres passe-haut se fondent tous sur des approximations de la dérivée (ou du gradient). Ils calculent la différence de luminosité entre les points voisins du point étudié. Le problème principal de cette méthode est qu'elle amplifie le bruit (celui-ci se trouve compter deux fois au lieu d'une).

Un enchaînement de filtres passe-bas/passe-haut permet de commencer par atténuer le bruit, afin d'obtenir une image de départ de meilleure qualité. Cependant, un filtrage passe-bas excessif va également atténuer les contours : au lieu d'une bordure nette, on aura une zone floue où la luminosité augmentera ou diminuera progressivement, d'abord doucement à l'amorce de la transition, plus vite à l'endroit de l'ancienne transition, puis de nouveau plus lentement au fur et à mesure que l'on s'en éloignera. Il est donc important de ne pas trop « estomper » les contours pour que les filtres passe-haut puissent continuer à fonctionner : si le contraste a été trop atténué, le contour devient indétectable. C'est la raison pour laquelle les filtres **médian** et **Kuwahara** sont utiles.

RSGISLib propose un filtre calculant la dérivée après application d'un passe-bas gaussien. Comme on peut le voir, lorsque les paramètres de la gaussienne sont faibles, l'image résultante est nettement bruitée : les contours sont repérables, mais noyés dans un flot de « grains ». Si l'on



Même image, traitée aux filtres *moyenne* et *médian* de sept pixels. Le rendu diffère, quoique l'algorithme soit quasiment identique.



Comparaison des filtres de *Kuwahara* (gauche) et *médian* (droite). L'effet est globalement identique, mais notez comment les bords de l'image de gauche sont mieux définis que ceux de l'image de droite.



Comparaison des filtres de *Kuwahara* (gauche) et *mode* (droite). Le filtre mode produit une homogénéisation, mais des petits détails et les bordures contrastées sont comme « repassés » avec un marqueur à pointe grossière.

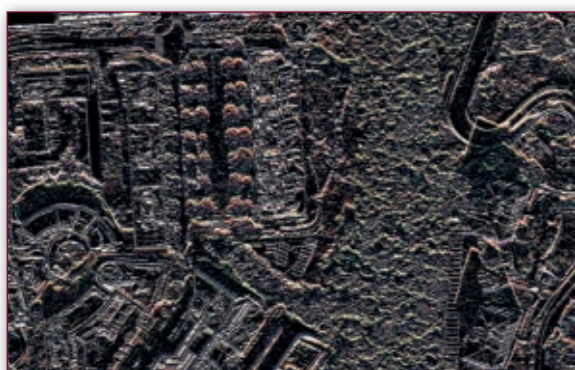
augmente l'intensité du filtrage préliminaire, le bruit décroît nettement, mais certains contours s'affinent et d'autres disparaissent.

Pour mieux localiser les bords, on peut appliquer une dérivée seconde (une dérivée de la

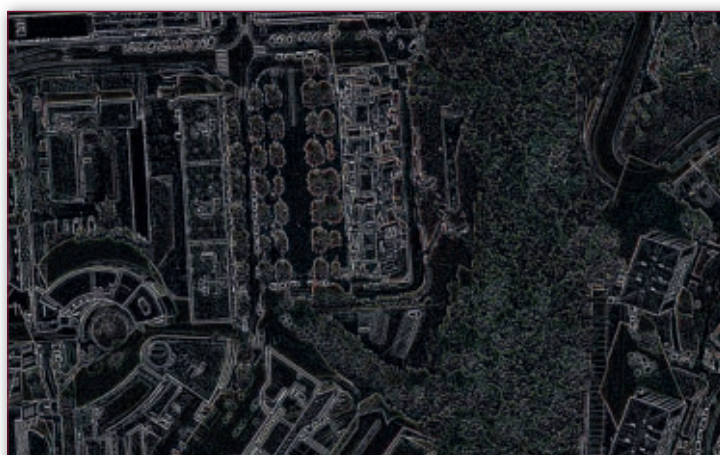
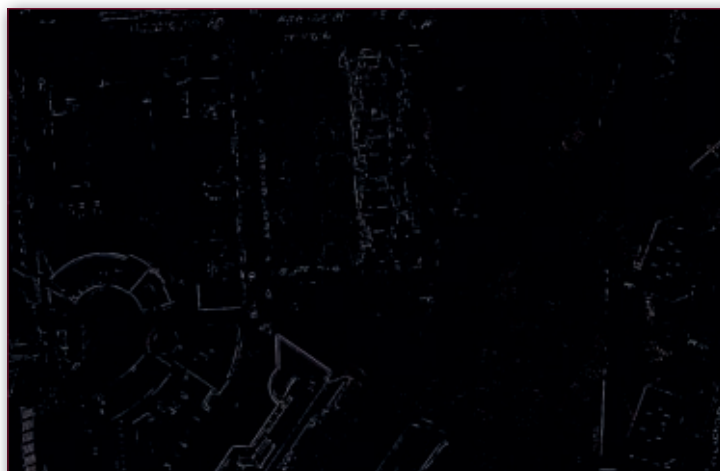
dérivée). Comme on l'a vu, le gradient (dérivée première) entre les pixels d'une image filtrée passe-bas augmente plus vite à l'endroit où se trouve le bord (ce qui correspond à un pic de la dérivée seconde) qu'à n'importe quel autre endroit. Le maximum

de la valeur de la dérivée seconde devrait coïncider avec les transitions de luminosité dans l'image.

Plusieurs filtres sont disponibles pour calculer des approximations de la dérivée seconde dans *RSGISLib*. Le plus simple est



Filtrage gaussien suivi d'une différentiation pour différents paramètres de la gaussienne. L'intensité du filtrage augmente du haut en bas. L'image du haut, trop bruitée, est inexploitable. L'image du bas, trop filtrée, l'est également. Il est difficile de trouver un juste milieu.



Deux applications du filtre de Laplace avec des paramètres différents. Dans le premier cas, la taille est trop faible et les bords sont « mangés ». La deuxième image est meilleure, mais automatiquement plus bruitée.

le filtre de Laplace, qui calcule le laplacien ∇^2 , c'est-à-dire la somme des dérivées secondes en x et en y . Le résultat de ce filtre dépend fortement du paramètre de taille et d'écart-type du filtrage gaussien sous-jacent, mais peut produire de bons résultats.

Une variante du laplacien est proposée sous le nom **Total difference**. Tout d'abord, le filtre calcule pour chaque pixel la somme des valeurs des pixels du voisinage.

Une fois cette étape terminée, il calcule la différence entre deux sommes (totaux) voisines. Le résultat est très similaire au laplacien, mais donne une image plus fine, quoique légèrement plus bruitée.

Deux autres opérateurs de filtrage largement utilisés s'appellent **Pretwitt** et **Sobel**. Tous deux opèrent une approximation de la différence seconde de l'image (sans appliquer de filtre passe-bas). Les écarts entre les

résultats des deux filtres sont minimes, car ils ne diffèrent que par certains coefficients dans les calculs effectués. Les résultats ne ressemblent pas à ceux du laplacien standard : les bordures sont indiquées par des traits simples, là où le laplacien a tendance à créer des traits doubles. On peut considérer que le laplacien « entoure » les zones de couleur homogène avec une bordure, alors que les opérateurs **Pretwitt/Sobel** « indiquent » les transitions.

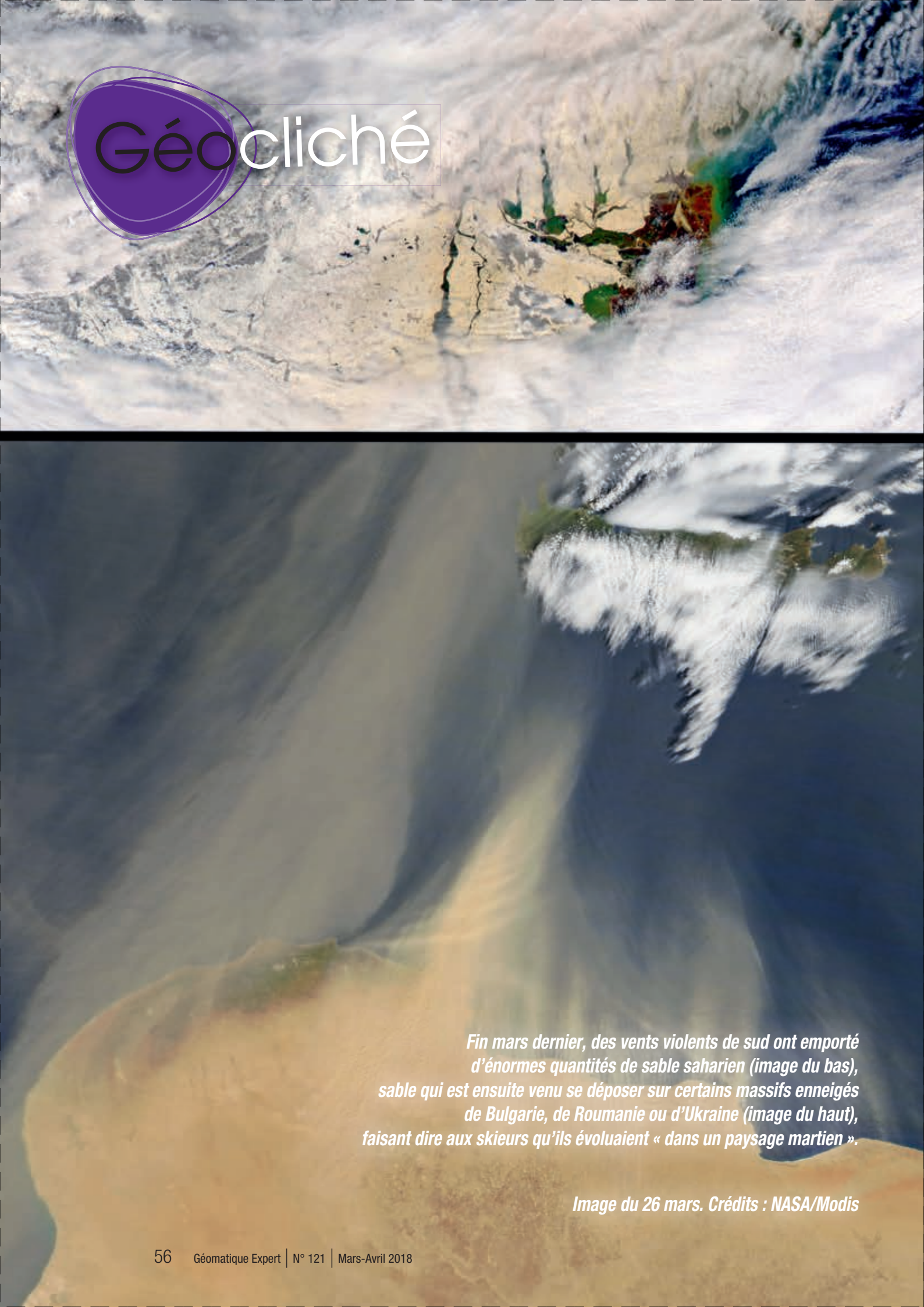


Traitement de l'image par des filtres d'approximation de la dérivée seconde (Pretwitt en haut, Sobel en bas). Comme on peut le voir, le résultat est quasiment le même. Les bords et les toitures sont correctement mis en évidence. Notez que les marquages au sol demeurent inchangés et les séparations entre bâtiments mitoyens ne sont pas dédoublées, contrairement au laplacien.

D'autres filtres sont également disponibles pour des besoins plus spéciaux, la liste est disponible sur le site **Internet** de la bibliothèque.

Maintenant que nous avons vu comment pré-traiter une image, nous verrons dans le prochain numéro comment utiliser les fonctions de segmentation et

de classification pour en extraire des informations « vectorisables » pouvant servir soit à de l'analyse statistique, soit à la constitution d'une base de données. ■



Géocliché

Fin mars dernier, des vents violents de sud ont emporté d'énormes quantités de sable saharien (image du bas), sable qui est ensuite venu se déposer sur certains massifs enneigés de Bulgarie, de Roumanie ou d'Ukraine (image du haut), faisant dire aux skieurs qu'ils évoluaient « dans un paysage martien ».

Image du 26 mars. Crédits : NASA/Modis

DU PAPIER AU NUMÉRIQUE...

ACCÉDEZ À DU CONTENU SUPPLÉMENTAIRE SUR VOTRE SMARTPHONE OU TABLETTE

Votre revue Géomatique Expert propose des publicités à contenu enrichi. Pour y accéder :

- 1 Téléchargez l'App ONprint



- 2 Photographiez la publicité dès que vous voyez cette icône dans votre revue Géomatique Expert.



- 3 Profitez des informations directement sur votre mobile ou votre tablette.





Nouvelle version 16

Obtenez les outils BIM
pour vos projets
d'aujourd'hui et de demain...

GEOMEDIA SAS

Immeuble "La Vigie" - 20, quai Malbert - CS 42 905 29 229 BREST Cedex 2 - France

Tél. 02 98 46 38 39 - Fax 02 98 46 46 64

E-mail : contact@geo-media.com - Site Web : www.geo-media.com

© 1993-2017 GEOMEDIA S.A.S. : COVADIS est une marque déposée de GEOMEDIA S.A.S.
Tous les autres noms de produits cités sont des marques déposées de leurs propriétaires respectifs.



Architecture, Engineering & Construction