ISSN : 1620-4989

Géomatique

Expert

PETITES & GRANDES IDS

OpenGIS.ch, *QGIS* à cœur

Étude d'un passage à faune

150 MPixels dans un avion

N° 125 - Novembre-Décembre 2018 - 14 €

Recevez la e-news de
Géomatique
Expert
La e-news mensuelle de
Géomatique Expert vous
propose les plus récentes
actualités du monde de la
géomatique : éditeurs, logiciels,
manifestations, publications…
L'inscription est gratuite,
sur le site : **www.geomag.fr**
n'hésitez pas !

Image de couverture : © Adobe stock

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

Directrice de la publication :
Anne-Caroline Prévot-Leygonie

Rédaction : Vincent Habchi

PAO et maquette : PAO Corlet

Merci à : *PyParis*, M. Bernasocchi, Business Geographics, J.-Y. Robin, C. Archias, A. Shafran

Ont collaboré à ce numéro :
Ont collaboré à ce numéro : A. Orger, R. Stasse, M.-L. Lamy, V. Baiocchi, J. Sevink, L. Alessandri, W. Van Gorp, M. Van Leusen, F. Giannone

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

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

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

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

PEFC 10-31-1510

IMPRIM'VERT

Géo | Pantagruelique

Qui, en France, ne s'est pas pris un jour à taper joyeusement sur la trop américaine *junk food* et le règne concomitant de la « mal-bouffe » ? Il faut dire que la multiplication des « restaurants » de type *Burger King* ou *Mac Donald's*, pour n'en citer que deux parmi les plus connus, a de quoi inquiéter les défenseurs de la gastronomie hexagonale, mais surtout les médecins. Nul ne conteste que l'abus de hamburgers accompagnés de frites ornées de *ketch-up*, le tout arrosé d'un demi-litre de soda, préférentiellement bien sucré, est à l'origine d'une partie de la pandémie d'obésité qui sévit dans les pays occidentaux. D'après une étude réalisée l'an dernier et relayée par *20 Minutes*, 20 % (en moyenne) des adultes sont atteints d'obésité dans les pays de l'OCDE. Un chiffre global qui masque cependant de fortes disparités : de 3,7 % au Japon, 38 % aux États-Unis. En France, le taux d'obésité est de 15 %, ce qui est plutôt dans le bas du tableau.

For the time being.

Car les projections sont encore plus pessimistes, avec un taux qui pourrait atteindre 50 % aux *US* d'ici 2030 – *astounding!* En France, le chiffre ne dépasserait pas 20 %. Or, l'obésité n'est pas une « maladie de riches » : on ne devient généralement pas obèse en mangeant trop, mais plutôt en « mangeant mal » : trop de graisses, trop de sucres, *too much*… tous ces « trop » dont regorgent les aliments bon marché que l'industrie agroalimentaire déverse par camions entiers dans les supermarchés, et dont les *fast food*, kebabs et autres *greasy spoons* se servent pour confectionner leurs menus*.

Dans ce contexte, c'est avec un brin d'inquiétude que l'on pourrait accueillir l'initiative de Mickaël Journo, un restaurateur breton de Vitré, qui se propose de confectionner un *burger* de… quatre cents kilogrammes, et ainsi battre le précédent *world record*, trois cent cinquante kilogrammes, détenu par un restaurateur de Las Vegas. Imaginez plutôt : quatre steaks de quatre-vingts kilos, environ autant de pain, quarante kilos de cheddar, trente de tomates – plus une compte fabriquée avec cent kilos d'oignons… Voilà une version française qui n'aurait déplu ni à Gargantua, ni à Pantagruel.

Personne de nos jours n'ayant plus l'estomac de ces deux géants, le « mégaburger » sera débité en trois mille parts (donc d'environ cent trente grammes), vendues deux euros l'unité. Que l'on se rassure : non seulement notre Breton garantit la provenance des ingrédients de son *supersized burger* – tout est *made in Brittany* –, mais, en outre, les fonds récoltés iront à une association destinée à financer la recherche contre le lymphome, une forme rare de cancer du sang.

Les gourmands pourront donc à la fois satisfaire *their most basic culinary instincts* et se donner bonne conscience.

Reste que, venant d'un Breton, on aurait aimé que son choix se porte vers un mets plus typique de l'Ouest de la France, par exemple un *kouign aman* d'une demi-tonne ! De quoi en faire saliver plus d'un.

Quoi qu'il en soit, *Season's greetings* de la part de l'équipe de *Géomatique Expert*, et n'oubliez pas de veiller sur votre taux de cholestérol !

Vincent Habchi

* On vient tout de même d'apprendre que *Mac Donald's* a décidé de mettre un frein sur sa consommation de bœuf traité aux antibiotiques… mais pas avant 2020.

Géomatique est indigent et en retard !
Divers incidents bien indépendants de notre volonté nous ont contraints à différer la parution de ce dernier numéro de l'année et à en réduire un peu la pagination. Retour à la normale (espérons-le) pour le n° 126, qui devrait paraître autour de la fin de janvier.
Merci de votre patience et compréhension.

FORUM DE LA TOPOGRAPHIE 2019

L'Association française de topographie (AFT) et
le lycée Henri Loritz, Nancy (Meurthe-et-Moselle)
accueillent

le 15e Forum de la topographie

le jeudi 28 mars 2019 de 9 h 00 à 17 h 30
29 rue des Jardiniers 54000 Nancy
sur le thème

L'immersion numérique en topographie

RÉSERVEZ MAINTENANT VOTRE JOURNÉE EN VOUS INSCRIVANT EN LIGNE PAR INTERNET
https://www.billetweb.fr/forum-aft

1. **Participation au Forum avec repas : 10€** (La participation au forum est gratuite, le coût couvre le repas servi au lycée).
2. **Participation au Forum sans repas : gratuit** (La participation au forum est gratuite et ne comprend pas la restauration).
3. **Exposants, invités et encadrement AFT : gratuit** (Comprend le repas gratuit, veuillez demander le lien confidentiel).

Tous les paiements seront effectués par Internet et carte bancaire.
En vous adressant à forum@aftopo.org ou au secrétariat de l'AFT et en présentant vos prénom, nom, adresse courriel et entreprise vous pourrez obtenir une inscription pour les tarifs 2.- sans repas et 3.- si vous êtes éligibles.

Association française de topographie
73, avenue de Paris - 94165 SAINT-MANDÉ Cedex – Tél. : +33 (0) 1 43 98 84 80
Participants : **forum@aftopo.org** – Exposants : **communication@aftopo.org**

sommaire

n° 125 |
Novembre-Décembre 2018

Actus

- **Moratoire… sur le PCRS, aussi** 4
- **La caméra légère de l'IGN équipera des drones** 4
- **Nouveaux ouvrages aux éditions ISTE** 5
- **L'état de l'art en photographie aérienne** 6
- ***PyParis* : intelligence artificielle et télédétection** 9
- ***GéONG 2018* Le mieux est-il l'ennemi du bien ?** 19
- ***Articque* fête ses trente ans** 27

SIG

- ***OpenGIS.ch* : *QGis* au pays du gruyère** 10
- **Une IDS, oui, mais pour quoi faire ?** 15
- **La signalisation routière intégrée au SIG d'une communauté de communes** 20

Carto

- **Étude d'un passage à faune traversant le canal du Loing** 28
- **Contrôle qualité des cartes de l'*Agro Pontino* avant bonification** 40

Abonnement 47

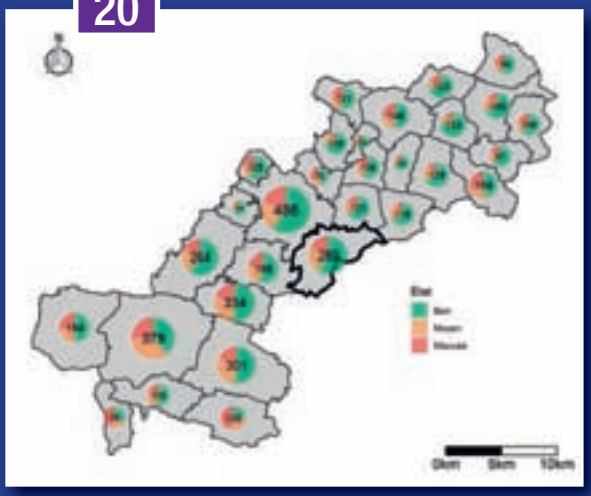
Ce numéro comporte un encart abonnement broché 2 volets non foliotés.

PETITES & GRANDES IDS

15

20

20



Moratoire… sur le PCRS, aussi

Paru au JO de vendredi 30 novembre 2018, l'arrêté du 26 octobre 2018 « porte modification de plusieurs arrêtés relatifs à l'exécution de travaux à proximité des réseaux et approbation d'une version modifiée des prescriptions techniques prévues à l'article R. 554-29 du code de l'environnement ». Ce nouveau texte modifie plusieurs dispositions applicables au PCRS. Les deux principales, notées par le CNIG :

• Le standard PCRS concerne désormais tous les ouvrages, en toutes localisations, avant le 1er janvier 2026. Il n'y a donc plus de distinctions entre « réseau sensible » ou « réseau non sensible », et les échéances sont reportées pour les ouvrages en milieu urbain, sauf dans le cas des réseaux sensibles, pour lequel la date est différée à 2020 (au lieu de 2019). À cette date, les plans des réseaux sensibles enterrés, situés en unités urbaines, fournis par leurs exploitants en réponse aux DT et DICT, devront comporter *a minima* trois points géoréférencés, dans le système national de référence de coordonnées, en classe A. Ce délai va sans doute faire souffler un certain nombre d'agglomérations qui étaient un peu à la traîne. Le PCRS a en effet dû mal à décoller faute de financement (on se rappellera la remarque acerbe de Dominique Caillaud à l'occasion des journées *GéoDataDays* au Havre – à peu près : « inutile de faire une réforme si on ne songe pas à son financement ! ») ;

• Entrée en vigueur prévue à compter du 1er janvier 2020 d'une obligation pour les exploitants de réseaux de mener les opérations de localisation nécessaires dans la zone du projet de travaux pour respecter les critères de précisions requis. Pour cela, ils disposeront d'un délai supplémentaire de deux semaines. À défaut d'avoir établi un plan précis dans les délais, ils devront inviter le maître d'ouvrage des travaux à faire réaliser des investigations complémentaires par un prestataire certifié. Ces investigations réalisées par un tiers seront alors à la charge des exploitants. Mais le responsable de projet se trouvera parfois contraint d'initier des opérations de localisation à sa propre charge. ◻

La caméra légère de l'IGN équipera des drones

Daniel Bursaux, directeur général de l'IGN, et Michaël de Lagarde, président de *Delair*, ont signé un contrat d'industrialisation de la « caméra légère » conçue pour équiper des drones par le laboratoire d'opto-électronique, de métrologie et d'instrumentation (LOEMI).

Delair est spécialisée dans la conception et la commercialisation de solutions drones pour l'industrie, des drones à voilure fixe aux outils logiciels de traitement et d'analyse de données, et services d'accompagnement et de conseil stratégique. La société a été lauréate d'*IGNfab* 2015, dont la thématique portait sur les changements climatiques et la prévention des risques, avec le projet CAMAN dont l'objectif était d'industrialiser la « caméra légère » conçue par l'IGN. Idéale pour équiper des mini-drones, elle combine format compact, légèreté, très haute résolution, stabilité de la géométrie de l'image et faible consommation d'énergie. Avec ce contrat de licence, *Delair* pourra utiliser les brevets et les logiciels de l'IGN pour réaliser et commercialiser une caméra dérivée de la caméra du LOEMI, dès le 1er semestre 2019.

L'intégration d'une telle caméra dans les drones permettra à leurs utilisateurs de réaliser des modèles numériques de terrain ou de surface très précis et des levés topographiques pour différents usages : mines et carrières, pétrole et gaz, gestion de réseaux, agriculture et foresterie, sécurité et défense. ◻

Nouveaux ouvrages aux éditions ISTE

Les éditions ISTE viennent de publier deux nouveaux ouvrages consacrés à la géomatique :

Les villes intelligentes par Jean-Charles Pomerol

« L'intelligence ne vient pas aux villes par le hasard des technologies numériques, mais par la cohérence d'un système de vie. Il y a sûrement plus à s'inspirer de la ville médiévale que des illusions nées du concept de *smart cities*.

En se fondant sur les nouvelles sciences de la ville, cet ouvrage présente la conception et le gouvernement de la ville intelligente, qui se basent sur la capacité des habitants de la cité à gérer les multiples interactions entre les fonctions urbaines, tant physiques qu'humaines. Dès lors, la technologie est un outil au service d'une finalité sociale et non un *deus ex machina* dont les vertus thaumaturges apporteraient l'intelligence à la ville.

Illustré par de nombreux exemples, *Les villes intelligentes* met les plus récentes avancées scientifiques en matière de développement urbain à la portée du plus grand nombre. »

Les villes intelligentes,
216 pages,
parution novembre 2018

Ouvrage papier : 58,00 € (9,90 € en version « e-book »)
ISBN : 9781784055134 (papier)
ISBN : 9781784065133 (e-book)

La région touristique de Jérôme Piriou

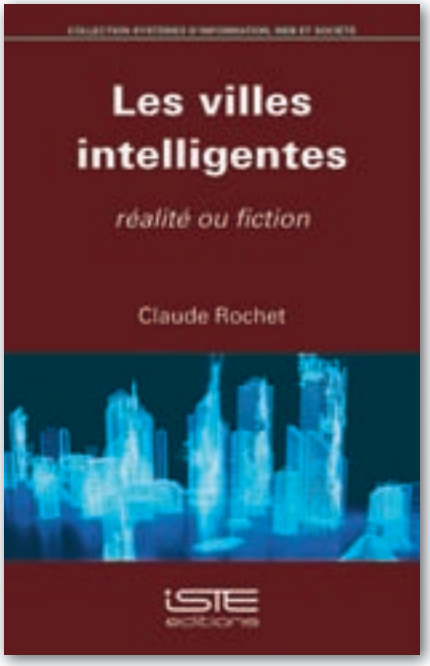
« Alors que la "région" est un des objets d'études scientifiques les plus obscurs et controversés de la géographie, le secteur du tourisme utilise aisément ce terme, à la fois dans la communication des destinations touristiques, mais aussi dans le langage courant pour caractériser des pratiques spatiales dépassant l'échelle du lieu. Cependant, le regroupement géographique de tous lieux, toutes animations, tous équipements ou tous hébergements ne fait pas d'un territoire perçu une région touristique.

Afin de savoir comment la définir, cet ouvrage présente les courants de pensée et les interprétations de la région avancés par les géographes depuis le début du XX^{e} siècle. Il traite des logiques d'acteurs identifiées dans les pratiques d'une destination touristique de dimension régionale et identifie la région comme une co-construction territoriale. Enfin, il analyse des réseaux régionaux multi-niveaux de lieux touristiques bâtis selon des mobilités touristiques.

En présentant plusieurs méthodes de mesure de la région touristique, cet ouvrage contribue à mieux appréhender les pratiques spatiales des touristes et à anticiper les actions des professionnels du tourisme. »

La région touristique,
248 pages,
parution novembre 2018

Ouvrage papier : 52,00 € (9,90 € en version « e-book »)
ISBN : 9781784055271 (papier)
ISBN : 9781784065270 (e-book)

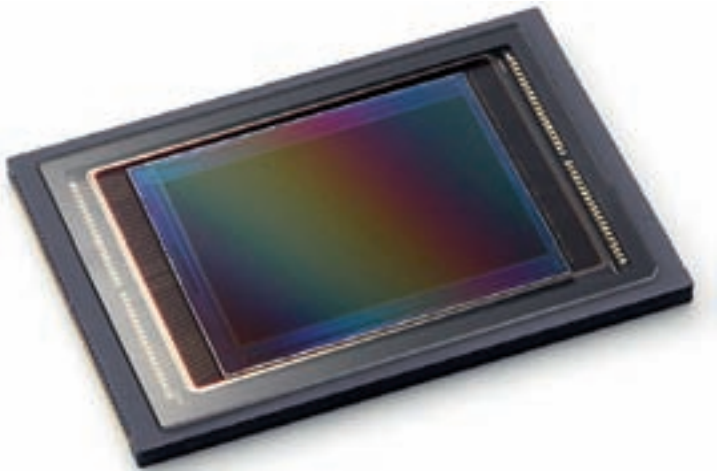


L'état de l'art en photographie aérienne

À l'occasion de la sortie de son nouveau boîtier, Alon Shafran, le directeur R&D de *Phase One*, le fabricant danois d'appareils moyen format pour la photographie aérienne, répond à quelques questions sur l'état de l'art dans ce domaine.

G.E. : Les capteurs de *Phase One* évoluent d'une technologie CCD vers une technologie CMOS. Quelles en sont les raisons ?

A.S. : Nous sommes toujours à la recherche de la technologie qui produit les meilleures images dans le format de capteur que nous utilisons. Jusqu'à début 2010, les CCD étaient en avance sur les CMOS sur plusieurs aspects, principalement la meilleure sensibilité et une dynamique plus importante. Malheureusement, la technologie CCD est assez délicate à maîtriser, ce qui rend les coûts de production élevés et finalement freine l'innovation plutôt que de la stimuler. À l'inverse, la technologie CMOS bénéficie d'investissements des milliers de fois plus élevés, tout simplement parce qu'il s'agit de la technologie utilisée dans la plupart des circuits numériques, comme les microprocesseurs. Le résultat est que les capteurs CMOS ont fini par dépasser, puis rattraper, les capteurs CCD en termes de finesse (taille de pixel), de sensibilité et de niveau de bruit, ce qui en font les candidats idéaux pour équiper les boîtiers moyen format comme les nôtres.



Les senseurs CMOS remplacent progressivement les CCD, plus chers et moins performants.

G.E. : Pensez-vous que la course à la miniaturisation du pixel élémentaire va se poursuivre ?

A.S. : Nous n'avons aucune raison de penser que cette tendance va se réduire ou disparaître. La demande des collectivités locales, ou autres consommateurs de photographies aériennes, est en constante hausse, et cela va de pair avec des exigences toujours plus fortes en termes de détail et de qualité, en général. Les géomaticiens veulent tout simplement « voir davantage ». En plus de cela, un pixel plus fin signifie également moins de temps de vol : à taille de pixel égale, un capteur avec davantage de pixel verra une zone plus large, donc moins de clichés seront nécessaires pour acquérir la même zone, donc une productivité accrue, sachant que, à l'heure actuelle, le prix d'une photographie aérienne reflète surtout le coût de vol de l'avion, car les traitements numériques sont maintenant proposés à un coût dérisoire. Cette remarque vaut également pour d'autres disciplines comme la télédétection, la surveillance et l'inspection.

G.E. : Verra-t-on une évolution du silicium vers d'autres substrats capables de supporter des capteurs élémentaires encore plus performants ?

A.S. : Pour l'instant, le silicium est le substrat idéal pour les capteurs photographiques, et il n'y a pas de raison que cela change dans les prochaines années. Le silicium est particulièrement abondant dans la nature, et les process de purification et de gravure sont bien maîtrisés, ce qui permet de produire des capteurs performants à un coût relativement faible. Bien sûr, il existe des alternatives, comme l'arséniure de gallium : ce dernier présente un certain nombre d'avantages, comme une meilleure mobilité électronique, mais sa production est délicate et son utilisation dans des appareils « civils » est quasiment impossible à envisager. Il faut bien voir que, même si le volume d'appareils photographiques moyen format vendus est relativement modeste, ce marché est commercialement lié à celui des boîtiers grand public, et se range donc dans le domaine du « commercial » plutôt que du « scientifique ». Le développement de nouveaux substrats ne pourra se faire qu'après des années de recherche et de tests, financées par les profits issus des appareils d'aujourd'hui. L'un des avantages d'être parmi les leaders dans le marché de la photographie moyen format est de pouvoir s'adapter aux nouvelles technologies plus vite que nos concurrents éventuels.

G.E. : Commence-t-on à rencontrer des problèmes dans le domaine de l'optique ?

A.S. : Il est certain que, plus la taille du pixel se réduit, plus les optiques doivent être « propres ». Si ce n'est pas le cas, les défauts de l'optique masquent l'amélioration de la résolution. Ce n'est toutefois pas un souci : l'optique de précision est devenue courante dans des applications comme la photonique, les lasers, les dispositifs médicaux ou encore les appareils photos sub-microniques, comme ceux qui équipent la plupart des *smartphones*. Cependant, dans la majeure partie des cas, ces lentilles sont minuscules. Le défi qui attend les fabricants d'optique est donc de pouvoir passer à l'échelle, c'est-à-dire pouvoir appliquer les mêmes normes de fabrications à des lentilles bien plus grandes, et ce de manière reproductible. La diminution constante de la taille du pixel ne peut qu'inciter les fabricants d'optique à investir davantage dans des outils de production, et des appareils de mesures, sophistiqués, afin de répondre à la demande sans cesse croissante.

G.E. : Les appareils de photographie aérienne travaillent dans des conditions souvent difficiles. Concevez-vous vos propres solutions mécaniques, comme des baïonnettes, pour assurer que vos appareils résistent du mieux possible à ces contraintes ?

A.S. : Nous sommes un fournisseur de solutions commerciales et industrielles, donc notre objectif n'est pas de développer notre propre gamme de connecteurs ou de baïonnettes, mais au contraire de réutiliser des composants industriels standard, qui ont fait leurs preuves, chaque fois que faire se peut. Cela nous permet de proposer des solutions toutes intégrées composées d'éléments déjà éprouvés, donc dont la qualité et les performances sont bien connues. Si toutefois nous constatons qu'il n'existe pas, pour une fonction particulière, de composants susceptibles de répondre à nos exigences,

Exemple de photo aérienne prise avec un boîtier *Phase One*. Cliché *Phase One*.

alors oui, nos équipes sont à même de développer des « solutions maison ».

G.E. : C'est le cas de vos obturateurs, par exemple ?

A.S. : Effectivement. La synchronisation de plusieurs appareils en photographie aérienne est primordiale, pour éviter les différences de cadrage dues à la vitesse de l'avion. Pour pallier cela, nous avons développé notre propre technologie d'obturateurs RS doublée d'une méthode de synchronisation précise afin de garantir un délai maximal de cinquante microsecondes entre boîtiers chaînés pour une prise de vue au 1:2 500 de seconde.

G.E. : Pour finir, à une époque où les traitements informatisés semblent capables de rattraper n'importe quels défauts dans les images, y a-t-il vraiment un avenir pour les boîtiers de très haute qualité comme les vôtres ?

A.S. : Il faut bien voir que les principales différences entre les boîtiers « métriques » et les boîtiers réflex, professionnels ou grand public, ne tiennent pas qu'à la qualité de l'optique. Premièrement, la taille du capteur des boîtiers moyen format est clairement un avantage en termes de temps de prise de vue. En outre, un boîtier métrique n'a pas, comme un boîtier réflex, à être léger, maniable, capable de supporter plusieurs optiques, etc. Ce que l'on cherche dans un boîtier métrique, c'est la robustesse, la faculté de résister aux vibrations, etc. En outre, les boîtiers réflex disposent d'une multitude de fonctions qui ne sont absolument pas nécessaires quand on réalise de la photographie aérienne : l'autofocus est un exemple parmi les plus évidents, mais on peut y ajouter le viseur ou bien les multiples automatismes programmés. Pour toutes ces raisons, nous pensons qu'il y a encore un marché pérenne pour les boîtiers moyen format métriques. □

La nouvelle caméra 150 Mpixels de *Phase One*

Les caméras iXM-RS de *Phase One* constituent les nouveaux modèles haut de gamme de la marque. Le boîtier *iXM-RS150* offre 150 Mpixels dans un capteur *full frame* « rétroéclairé » – ce terme désignant des capteurs dont l'électronique de collecte se trouve sur la face inférieure, ce qui permet de gagner de la place pour les pixels et donc d'améliorer la sensibilité à surface constante – fabriqué par *Sony*. Suivant les cas, il peut être équipé d'un filtre de Bayer pour réaliser de la prise de vue trichrome (la version de base est panchromatique). La résolution atteint 14 204 × 10 652 pixels avec une fréquence de prise de vue pouvant atteindre 2 hertz. Le deuxième modèle, *iXM-RS100*, propose les mêmes caractéristiques de sensibilité, mais dans une résolution plus modeste de 100 Mpixels.

Pour accompagner ces boîtiers, *Phase One* propose une série d'objectifs à focale fixe allant de 32 à 150 mm fabriqués par Rodenstock et Schneider-Kreuznach. Ces objectifs sont calibrés en usine pour une mise au point à l'infini, et sont équipé d'un obturateur à diaphragme.

Ces boîtiers sont équipés de divers ports haut débit pour rapatrier les images le plus vite possible : USB-C d'une part, et *Ethernet* 10G (avec option cuivre ou fibre) lorsque des câbles de grande longueur sont requis. On trouve également un logement pour une carte mémoire de type XQD, une sortie HDMI 2K, et des interfaces pour drones.

Les spécifications complètes des deux boîtiers sont disponibles ici : https://industrial.phaseone.com/lp/The_New_iXM-RS_150F_Camera.aspx

PyParis : intelligence artificielle et télédétection

La conférence *PyParis 2018* s'est tenue courant novembre dans les locaux de l'EPITA, une école d'ingénieurs parisienne dédiée entièrement au numérique et à la programmation. *PyParis* se veut le rendez-vous national, voire européen, des développeurs écrivant en langage *Python*, un des langages les plus utilisés dans la communauté scientifique en raison, d'une part, de sa grande clarté et simplicité d'apprentissage et, d'autre part, des multiples bibliothèques objet réalisant des calculs souvent complexes qui prendraient un temps prohibitif s'ils étaient écrits en *Python*.

Olivier Courtin présente sa solution de traitement automatique des images aériennes fondée sur le moteur d'intelligence artificielle *PyTorch*.

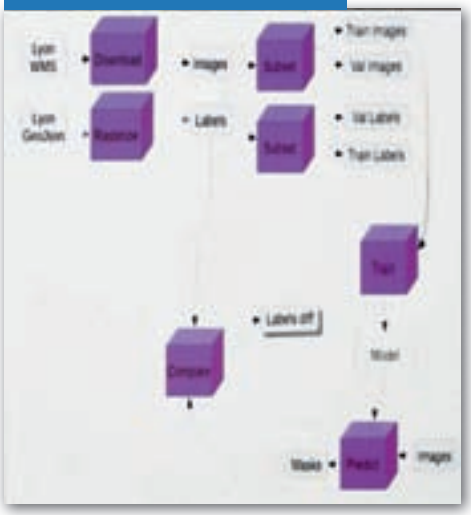
Python s'est également récemment imposé comme *le* language « glue » dans les traitements à base d'intelligence artificielle, de la même façon que *CUDA*, le langage qui permet de réaliser des opérations arithmétiques sur les processeurs graphiques *nVidia*, compose le code de calcul de la plupart des bibliothèques d'IA, telles que *TensorFlow* ou *PyTorch*, pour n'en citer que deux.

Le champ d'application toujours plus vaste des réseaux neuronaux a conduit à l'explosion de l'utilisation de *Python*. Certaines présentations ont ainsi montré des applications parfois étonnantes – comment copier un style de dessin à d'autres dessins, voire à des photographies, une idée qui pourrait être exploitée en cartographie pour réaliser, par exemple, des cartes d'état-major avec des données modernes.

Mais ce n'est pas là la seule utilisation possible de *Python* et de l'intelligence artificielle en géomatique. *Python* s'interface déjà avec de nombreuses bibliothèques, comme *GDAL* ou *PROJ 5*. À l'aide de ces bibliothèques, il est possible d'alimenter des réseaux neuronaux avec des images satellites et de les entraîner pour réaliser le travail d'un photo-interprète, c'est-à-dire réaliser une classification des objets présents sur le cliché. Olivier Courtin, fondateur de *Data Pink*, a ainsi présenté une chaîne de traitement des images satellites basée sur le moteur *PyTorch* qui permet de semi-automatiser des fonctions de type détection de changements. Le moteur est d'abord alimenté avec des images d'apprentissage et une « vérité terrain » correspondant à une couche vectorielle de référence, par exemple la *BD Topo* ou *OSM*. Une fois l'apprentissage terminé, le réseau doit pouvoir ingérer de nouvelles images et produire une cartographie du bâti, qu'il peut comparer avec une version précédente pour détecter des changements.

Nous reviendrons sur la solution *Data Pink* dans un prochain numéro. ◻

Principe du traitement.



OpenGIS.ch : *QGis* au pays du gruyère

Les clichés nous disent que, vue de la France, la Suisse est un petit pays bien paisible dans lequel il ne se passe presque rien. C'est pourtant à l'ombre des montagnes du canton des Grisons qu'est née *OpenGIS.ch*, une PME qui s'est rapidement spécialisée sur *QGis* au point de devenir *la* spécialiste du noyau, cet ensemble de lignes de code qui constitue le cœur du logiciel. Rencontre et discussion avec Marco Bernasocchi, gérant de la société.

Crédit : Image Sentinel 2/Copernicus

G.E. : Comment *OpenGIS.ch* est-elle née ?

M.B. : *OpenGIS.ch* est née en 2011 sous la forme d'une entreprise unipersonnelle (« individuelle » disent les Suisses) dont le nom complet était d'ailleurs *OpenGIS – Marco Bernasocchi*, car la loi suisse exige que l'on appose son nom à la raison sociale. Cette idée de vouloir créer une entreprise m'est venue pendant mes études de géographie. Bien sûr, en 2006, le monde universitaire était dominé par *ESRI* et ses produits *ArcGIS*, et mon université n'était pas différente. Mais, une fois rentré à la maison, il m'était impossible de continuer à travailler sur les données, faute d'avoir de quoi payer une licence. C'est la raison pour laquelle je me suis tourné vers *QGis* qui, à l'époque, était à sa version 0.7 et tournait sur une système d'exploitation libre, *Linux*. J'ai un temps également considéré *uDIG*, un autre logiciel libre, mais j'ai fini par me concentrer sur *QGis* et j'ai bien fait, puisque *uDIG* n'a pas du tout eu le même succès, même si le projet existe encore.

Au cours de mon master en géoinformatique j'ai eu à développer un *plug-in* sur *QGis* pour afficher en 3D des données relatives à la haute montagne, comme la position des glaciers ou du permafrost, ainsi qu'à réaliser des analyses multicritères. On peut dire que c'est à ce moment-là que j'ai vraiment mis le pied à l'étrier. Ensuite, j'ai bénéficié d'une « bourse » *Google Summer of Code* pour porter *QGis* sur la plate-forme *Android,* ce qui n'a pas été facile en raison principalement des dépendances, ces bibliothèques externes comme GDAL sur lesquelles *QGis* s'appuie pour fonctionner.

De fil en aiguille, je me suis donc retrouvé à travailler sur *QGis* et, en même temps, à donner des cours de ski en hiver. Mais finalement, comme les projets sur lesquels je travaillais me demandaient de plus en plus de temps, j'ai fini par abandonner le ski et me consacrer exclusivement à *QGis*.

En 2014, l'université de Zurich m'a invité à parler de l'entrepreneuriat dans l'informatique *Open Source*. C'est là que j'ai rencontré Matthias Kuhn, qui lui aussi avait fondé une entreprise autour du développement de *QGis*. Nous avons discuté, comparé nos clients, puis il est rapidement apparu que, comme nous nous entendions bien, la meilleure idée était de fusionner nos deux sociétés pour en créer une unique. Et c'est ainsi que *OpenGIS* est devenue une entreprise classique, d'abord à deux personnes, puis à cinq depuis 2017. Avec ceci de particulier que nous n'avons pas vraiment de locaux : chacun travaille chez soi, et nous couvrons ainsi aussi bien la Suisse germanophone, que francophone et même italophone, le Tessin.

G.E. : Quel est le rôle d'*OpenGIS.ch* dans la galaxie *QGis* ?

M.B. : *OpenGIS.ch* s'est spécialisée dans le développement du cœur de *QGis*. 95 % de nos travaux concernent cette partie fondamentale du logiciel, et trois des développeurs sont *core committers*, donc accès au code en écriture.

G.E. : Comment se place *OpenGIS.ch* par rapport, disons, à sa consœur suisse *CampToCamp* ?

M.B. : Disons que nous ne sommes pas concurrents, mais plutôt complémentaires. *CampToCamp* est une « grande » société de services, généraliste,

L'équipe d'*OpenGIS.ch* en opération terrain !

Sur les pages *About* de *QGis*, il est très facile de trouver les cinq développeurs suisses d'*OpenGIS.ch* !

apte à travailler sur des projets importants avec des technologies variées. Ils n'ont pas autant de compétences en termes de développement du cœur des logiciels, mais plutôt autour des logiciels qu'ils utilisent. Donc, si vous leur demandez d'ajouter une nouvelle fonctionnalité, ils pourront être amenés à développer un nouveau *plug-in* en *Python*, par exemple.

De notre côté, l'approche est différente : nous ne développons pas de code « périphérique » ; nous intervenons directement dans les lignes de C++ qui composent *QGis* pour y ajouter, par exemple, de nouveaux types d'analyse, de nouvelles symbologies pour les couches vectorielles, le moteur d'affichage du globe, des nouvelles expressions, le *relation manager*, les vérificateurs de géométrie, etc. Nous traitons une bonne partie des demandes de cantons, ou de sociétés, qui désirent financer des développements directement dans le cœur. Cette approche met les nouveautés à disposition des utilisateurs dès qu'elles sont intégrées.

Il arrive d'ailleurs que *CampToCamp* fasse appel à nous pour du support de haut niveau, au cas où ils se heurtent à un bug qui dépasse leurs compétences. Vous voyez donc qu'il s'agit bien de complémentarité.

G.E. : Qui sont vos clients ? Travaillez-vous avec des Français ?

M.B. : Majoritairement, nous travaillons en partenariat avec les cantons suisses, bien entendu. Cela représente déjà un marché important pour une petite PME comme la nôtre. Mais nous avons des contrats avec des sociétés suisses, françaises et même italiennes, en jouant sur le multilinguisme suisse. Le fait que nous soyons une société suisse, donc hors UE, ne pose pas de problèmes tant que l'on se limite au secteur privé. Pour le public, c'est un peu plus délicat. Il nous est arrivé d'intervenir pour des villes ou des régions, mais plus haut, nous ne l'avons pas encore fait. C'est une des raisons pour laquelle les autres sociétés SIG suisses, comme *CampToCamp* ou *ArXit* ont créé des filiales en France… Un autre désavantage tient naturellement au salaire horaire plus élevé en Suisse, qui pèse sur le prix de nos prestations. D'un autre côté, nous pouvons nous targuer de notre expérience et d'avoir dans nos rangs que des développeurs seniors avec six à sept ans d'expérience.

G.E. : La Suisse a donc rejoint la France dans l'engouement pour l'*Open Source* ?

M.B. : Absolument ! De plus en plus de cantons suisses passent à l'*Open Source* et à *QGis*, et ce pour plusieurs raisons. D'abord, la qualité du code est constamment améliorée, à tel point que je n'hésite pas à dire que, sur certaines fonctionnalités, nous sommes en avance sur ESRI. La nouvelle politique de licence d'ESRI a d'ailleurs pas mal joué en notre faveur : l'idée d'une licence par utilisateur, plutôt que par poste, n'a vraiment convaincu personne.

Pour mesurer le succès de *QGis* en Suisse, on dira que onze sur les vingt-six cantons utilisent ce logiciel. D'autres cantons sont en train de migrer, et des projets démarrent constamment. Ce n'est d'ailleurs pas un hasard si nous sommes passés de deux à cinq développeurs à plein temps !

G.E. : En pratique, qui ajoute des fonctionnalités à *QGis* et pourquoi ?

M.B. : *QGis* n'a pas vraiment de conducteur. Son créateur, Gary Sherman (voir *Géomatique Expert* n° 34), occupe un poste de prestige dans le comité de direction, mais n'a pas une position privilégiée. Ce comité décide des grandes actions à mener

dans la structure du code, et des fonctionnalités à ajouter « spontanément » (comme la 3D) en raison de leur généralisation. Mais pour le reste, les ajouts se font un peu à la demande : un « client » a un besoin, il paie un développeur pour écrire le code qui va bien, et ce dernier est intégré au pot commun.

G.E. : Comment cela est-il financé ?

M.B. : Les opérations de *sponsoring* de développement sont supervisées par une association tierce, appelée *QGis.org*, dont je suis le vice-président. Les six personnes du comité de pilotage consacrent une partie de leur temps à chercher des fonds pour organiser des événements ou financer les développeurs.

Une des plus importantes opérations menées en propre concerne précisément la maintenance du code. Au fil du temps, *QGis* est devenu une sorte de « monstre », avec plus d'un million de lignes de code. Ces ajouts se sont faits pour certains cahin-caha, avec des niveaux de documentation hétérogènes. Quand la communauté a décidé de valider le changement de version majeure 2 vers 3, une bonne partie du temps a été consacrée à revoir la base existante et à clarifier l'architecture du logiciel. Ce vaste audit ne pouvait être financé sur de l'argent tiers, car il s'agit d'une évolution à périmètre constant.

Chez *OpenGIS.ch*, nous pratiquons également un autre système de financement, presque « participatif » : nous vendons des contrats de support horaire, par exemple cinquante heures par an. Les sociétés qui n'épuisent pas leur quota ont la possibilité, plutôt que de perdre les heures, de les rediriger vers du développement de nouvelles fonctionnalités ou la correction de bugs.

G.E. : Le basculement vers la version 3 était un gros chantier, non ?

M.B. : C'est le moins que l'on puisse dire ! Passer en revue plus d'un million de lignes de code, on peut appeler ça un travail pharaonique. Les développeurs ont supprimé du code qui n'avait plus de raison d'être, et complètement réécrit certaines parties, comme *QGis Server*, auxquelles personne ne voulait toucher faute de comprendre vraiment ce qu'elles réalisaient.

La réécriture a également été l'occasion d'écrire une série de tests unitaires pour chaque grande partie de *QGis*, ce qui permet maintenant aux développeurs de s'assurer que, lorsqu'ils reversent du code dans la branche principale du logiciel, celui-ci continue à fonctionner – en termes techniques, qu'il n'y a pas de régressions.

G.E. : Est-ce un pas vers une version modulaire de *QGis* ?

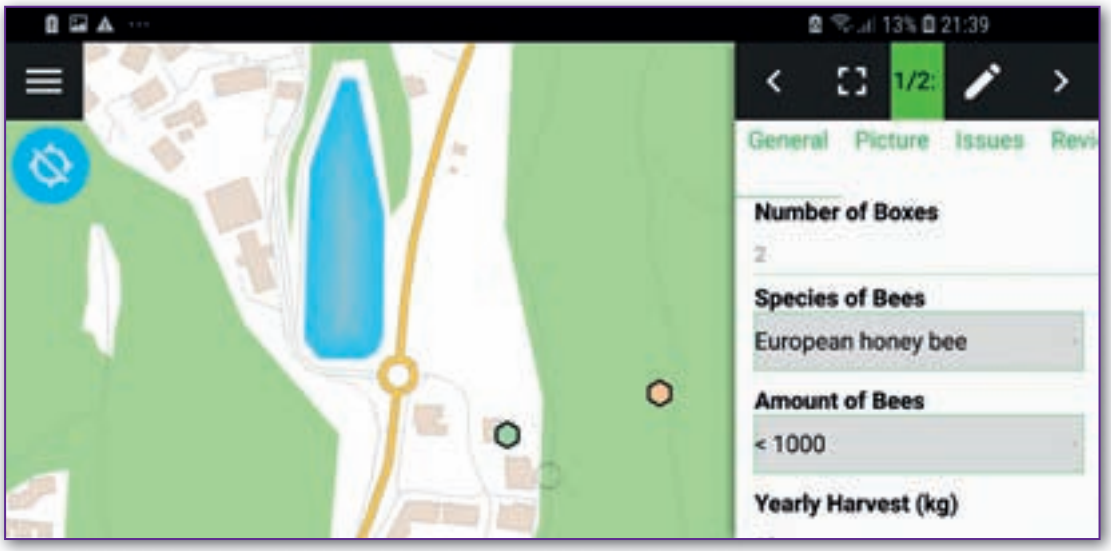
M.B. : Pas exactement. Nous sommes conscients qu'un monolithe de plus d'un million de lignes est difficile à télécharger et à compiler. L'exécutable est formé de plusieurs bibliothèques, par exemple une pour les analyses, une pour les entrées-sorties, etc. mais le code, lui, est écrit d'un bloc. L'autre inconvénient est que les utilisateurs ne peuvent pas bénéficier des améliorations « par anticipation » – si, par exemple, la partie analyse était autonome, elle évoluerait à son propre rythme. À l'heure actuelle, les nouvelles améliorations, même si elles sont ajoutées tout de suite après la sortie d'une version, doivent attendre la version suivante pour être disponibles, du moins pour ceux qui n'utilisent pas le code « HEAD » disponible sur *github*.

Tout cela pour dire que, à court terme, même si une évolution dans ce sens est loin d'être absurde, rien n'est envisagé.

G.E. : On voit en ce moment quelques projets *Open Source*, comme *Linux* ou *Python*, traverser des zones de turbulences. Est-ce le cas de *QGis* ?

M.B. : Absolument pas ! La communauté *QGis* a toujours été très ouverte, très à l'aise pour discuter des problèmes qui pouvaient éventuellement se poser. De toute manière, notre philosophie est basée sur du pragmatisme, ou sur une sorte de « méritocratie ». Si quelqu'un veut faire entendre sa voix, il faut d'abord qu'il prouve qu'il est tech-

La nouvelle version 3.4 de *QGis* vient à peine de sortir.



QField, une personnalisation de *QGis* pour les tablettes *Android* avec une interface utilisateur adaptée.

niquement solide. « Montre-moi d'abord qui tu es, on discutera ensuite » est un peu le principe phare. Cela permet de s'assurer que les problèmes remontés sont bien réels et non fantasmés.

Au niveau de l'association *QGis.org*, ce sont les dix-neuf *country users' groups* qui interviennent. Chacun d'entre eux dispose d'un vote, ainsi que l'*OSGeo* qui patronne et héberge le projet. Le fonctionnement de *QGis.org* est assez complexe, en raison de sa nature, à savoir une association de droit suisse.

Quant au produit lui-même, sa base d'utilisateurs ne cesse de grandir et les projets qui l'entourent sont de plus en plus nombreux, comme le portage sur différentes plates-formes de type tablettes et autres. C'est le projet *QField*, porter le noyau de *QGis* sur tablette avec une interface utilisateur différente, mieux adaptée aux besoins de l'utilisation terrain. On peut aussi citer le projet *Generator*, qui consisterait à créer une table *PostGreSQL* dans laquelle se trouveraient stockés tous les paramètres de configuration pour un projet *QGis*, ce qui simplifierait le déploiement du logiciel. Comme vous voyez, les idées ne manquent pas ! ◻

Une IDS, oui, mais pour quoi faire ?

La mode est aux IDS, les infrastructures de données géographiques. Que ce soit au niveau régional ou au niveau intercommunal, les initiatives se multiplient pour offrir aux utilisateurs d'information géographique des guichets uniques d'accès. Mais pas que.

Crédit : IGN/Géoportail

Quand on pense IDS, infrastructure de données géographiques, ou *Spatial Data Infrastructure*, en langue de Shakespeare, on pense tout de suite aux plates-formes régionales et particulièrement à la plus ancienne d'entre-elles, le CRIGE PACA. Née à l'époque de la volonté de fédérer les achats de données à l'IGN – données qui n'étaient pas encore gratuites pour les collectivités et services publics – la « centrale d'achat » de la région PACA s'est bien vite transformée en support pour les données endogènes produites par les organisations « adhérentes » du CRIGE, puis en centre pour la promotion de l'utilisation de l'information géographique.

À l'autre extrémité de la chaîne, les IDS peuvent aussi servir les besoins d'une collectivité. C'est par exemple le cas à Toulouse, où l'IDS a été mise en place en 2012. « *Avant cela,* indique Boris Mladenovic, technicien SIG depuis 2004, *la ville de Toulouse travaillait sur des postes MapInfo. Plusieurs types d'outils existaient, suivant l'utilisation, experte ou non, qui était faite du logiciel. À côté de cela, une application web séparée diffusait une quarantaine de cartes sur lesquelles les services techniques pouvaient consulter les données. Au fil du temps, le nombre de postes MapInfo a grossi pour atteindre les quatre cents. L'équipe SIG a donc décidé de se munir d'une plate-forme web pour faciliter l'accès aux informations ainsi que leur remontée, et assurer une gestion cohérente des droits de consultation, en accord avec leurs responsabilités.* » Toulouse a choisi *Aigle*, édité par *Business Geografic*, la société lyonnaise qu'elle connaissait déjà en tant qu'utilisatrice d'une application autonome dédiée à la gestion du patrimoine historique. Depuis 2012, le service SIG a ajouté de nombreuses couches, si bien que maintenant ce sont environ deux mille cinq cents couches qui sont diffusées, allant de la voirie aux bibliothèques en passant par le sport, l'urbanisme, l'assainissement, l'eau, etc.

Mise en relation et financement

Les aspects coordination sont essentiels, quelle que soit la taille de la plate-forme. « *L'une des missions essentielles du CRIGE,* continue Christine Archias, *consiste à regrouper des acteurs dont les gouvernances sont différentes, les moyens différents, le mode de fonctionnement différent également, autour d'un socle commun. Notre rôle est de nouer des synergies avec les acteurs de tous les échelons, depuis les communes jusqu'aux acteurs régionaux, et de faciliter le dialogue avec le niveau national. En quelque sorte, nous servons d'interface d'explication !* »

« *L'IDS a permis d'ouvrir un dialogue entre les différents services et autres partenaires,* explique Jean-Yves Robin, responsable des projets transverses à la Métropole de Toulouse, *et également de démocratiser le SIG auprès des petites communes, ou des services, qui en avaient moins l'usage jusqu'alors. Chacun peut créer sa propre carte, et ensuite libre à lui de décider s'il entend la diffuser ou non. Afin de collecter les données des différents Services métiers, nous avons des*

Le CRIGE organise régulièrement des manifestations et parraine des groupes de travail destinés à favoriser l'usage de l'information géographique en région PACA.

traitements (FME) qui permettent, d'une part, la conversion des fichiers entre les différents formats utilisés et, d'autre part, l'alimentation automatique de la base de données de l'IDS. »

« *Il est indéniable,* reprend Christine Archias, *que la présence du CRIGE a stimulé l'utilisation et la production de données géographiques régionales. D'une part, en évitant que chacun crée sa propre structure, qu'il aurait fallu ensuite intégrer dans le schéma régional. La présence, dès le départ, d'une plate-forme de haut niveau a orienté les initiatives. Maintenant, cela ne va pas sans un certain nombre de contraintes, en termes de gouvernance, d'accès aux données, d'inventaire et surtout, de stockage !* »

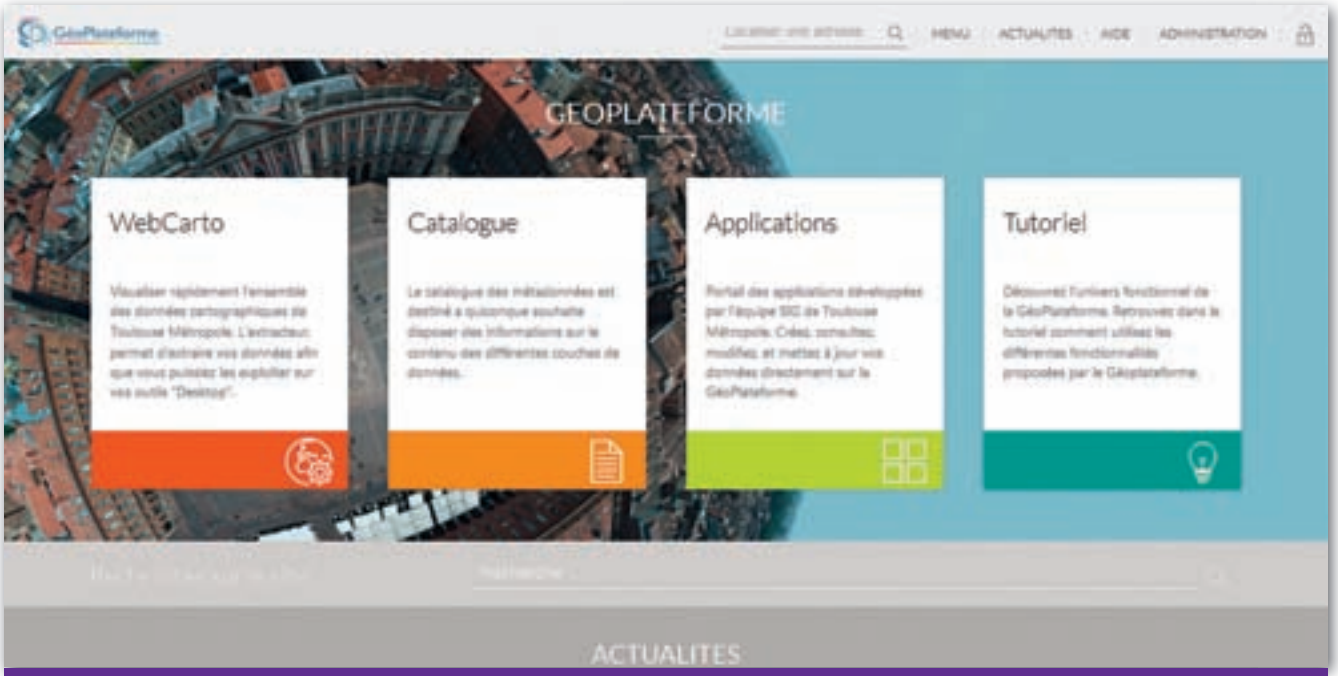
« *Nous espérons également à notre niveau proposer un produit qui convienne à tous,* poursuit Jean-Yves Robin, *et donc éviter le morcellement du SIG que l'on peut connaître ailleurs. Pour cela, nous avons mis en place le "Service Commun SIG" qui permet aux communes qui le souhaitent de bénéficier de l'IDS, des prestations et des ressources de la Direction du Numérique de Toulouse Métropole. L'accès à ces données est soumis à la signature d'une convention et au versement d'une cotisation annuelle par chaque municipalité. Sur les trente-sept communes, quinze ont adhéré au Service Commun SIG. Pour les autres, soit ce sont des collectivités importantes qui possèdent déjà un SIG, et pour lesquelles la plate-forme communautaire est arrivée un peu tard, soit, à l'autre extrémité, ce sont des communes rurales qui ne voient pas encore le besoin d'adhérer, mais qui le feront sur la base de la solution existante en cours d'évolution.* »

« *La relation avec l'IGN est de notre point de vue très importante,* note Christine Archias. *Déjà, on pourrait parler de la loi NOTRE et du rapport sur les données souveraines, qui ont mis en avant le rôle pivot à la fois de l'Institut et des IDS régionales. Mais, plus généralement, nous avons déjà mis en place la plupart des recommandations du document. Il faut donc que nous allions plus loin, par exemple, sous l'angle de la collaboration. L'IGN ne peut plus assumer seul le triple rôle qui était jusqu'alors le sien : collecter les données, les vérifier et les publier. Le relevé va donc de plus en plus être délégué aux collectivités locales. Mais il est hors de question que l'IGN traite avec les trente-six mille communes de France. Les IDS régionales vont donc s'imposer comme le relais idéal, le guichet unique pour la remontée d'information vers les bases de données nationales.* »

« *Au niveau de l'Occitanie, plusieurs offres de portails SIG cohabitent. Le portail OpenIG (Occitanie Pyrénées en Intelligence Géomatique) s'inspire de ce qu'a réalisé l'association SIG-LR en Languedoc-Roussillon pour le décliner sur la nouvelle région. Des rencontres sont organisées afin de fédérer un maximum d'acteurs autour du partage des connaissances, des données et la valorisation du potentiel régional,* constate Jean-Yves Robin. *Il existe également le portail Picto-Occitanie porté par l'État qui met à disposition un grand nombre de jeux de données et un outil d'analyses multi-critères.*

En ce qui concerne notre IDS, nous fournissons également des accès à nos partenaires avec lesquels nous échangeons des données. C'est le cas de TISSEO qui gère les transports en commun au niveau de la

Le *Crige Paca* diffuse une grande quantité de cartes, raster ou vectorielles, certaines en coopération avec le projet *CartoMundi*. Ici, un détail de l'occupation du sol régionale niveau 3.



La page d'accueil de l'IDS toulousaine basée sur le produit GEO.

métropole : il s'agit essentiellement de plans de lignes contre des données topographiques. Nous avons constitué un dictionnaire de métadonnées conforme à la directive Inspire afin que notre portail soit "moissonnable".

En termes de collaboration, certains services métiers ont des contacts avec des organismes d'État déconcentrés, comme la DRIRE ou la DREAL avec lesquels ils échangent au cas par cas. »

« *Le financement de la plate-forme est une question sur laquelle il n'y a pas de réponse définitive,* explique Christine Archias. *La gratuité, qui est de mise maintenant avec les données publiques, n'a pas aidé à résoudre l'équation.*

Exemple de consultation de couches sur la plate-forme de l'agglomération toulousaine.

Stocker des données, animer des groupes, employer des géomaticiens coûtent de l'argent. Essayer de compenser toutes ces dépenses uniquement par une dotation en fonds publics conduit à un certain déséquilibre. Par exemple, les financeurs peuvent se demander quel est le véritable retour sur investissement. En outre, la restriction de la gratuité à la sphère publique a eu tendance à stimuler l'innovation – ce qui est une bonne chose – mais à laisser le secteur privé quelque peu de côté. Il en résulte que ce dernier n'est pas tellement moteur dans le domaine, ce qui est dommage. Il va donc falloir trouver un modèle de financement dans lequel tout le monde puisse participer, et donc rétablir un modèle plus équilibré. »

Quel avenir ?

« *Nous espérons pouvoir convertir d'autres services et communes à l'utilisation de la plate-forme SIG métropolitaine. Nous avons devant nous une étape majeure avec la migration d'Aigle vers GEO. L'idée sous-jacente est de passer d'une logique de référentiel de fichiers à une logique de référentiel de bases de données. Il va falloir accompagner le changement et modifier les habitudes. Pour cela, la plate-forme GEO possède de sérieux atouts qui vont permettre, je l'espère, de faciliter l'adhésion des utilisateurs. Une ergonomie plus conviviale, de nouvelles fonctionnalités de dessin, de filtrage, d'extraction, la technologie HTML5 pour les besoins en mobilité, la fourniture de flux API permettant une interaction plus forte avec le SI de la collectivité et les partenaires, voici quelques-uns des principaux arguments que nous allons mettre en avant pour convaincre. Nous pourrions en profiter pour enrichir la plate-forme avec de nouvelles données, comme la 3D, par exemple, mais cela reste prématuré : d'abord gérer la transition, et nous verrons ensuite selon les besoins* », conclut Jean-Yves Robin.

« *Nous nous occupons de la coordination de plusieurs projets au niveau régional : coordonner le déploiement du PCRS en est un. Le CRIGE couvre une région avec des territoires très contrastés : les grandes agglomérations, Marseille, Nice, Toulon, sont en avance ; le reste du territoire ne se développe pas au même rythme. Pour l'instant, nous nous contentons d'un rôle d'animation, voire de fourniture de données (orthophotographies) ou de méthodes pour faciliter la production. A minima, nous souhaiterions former un groupe de travail, mais pas avant 2019 au plus tôt. Nos autres axes prioritaires concernent la mise en valeur de la donnée, et les relations que nous pouvons avoir avec le mouvement Open Data, lequel pourrait récupérer un certain nombre de nos missions, utiliser notre expertise technique pour essayer de favoriser au maximum la réutilisation de la donnée, par exemple les images satellites. Avec les nouveaux capteurs et Copernicus, nous disposons maintenant d'un flot de données qui peuvent potentiellement intéresser aussi bien les grandes que les petites communes. Mais ces dernières n'ont ni les moyens, ni le temps d'en profiter. Il nous revient peut-être de les appuyer ?* » conclut Christine Archias. ◘

GéONG 2018 – Le mieux est-il l'ennemi du bien ?

La conférence *GéONG 2018* s'est tenue début octobre à Chambéry, sous l'égide de l'association *Cart'ONG*. Rappelons que cette conférence est dédiée, entre autres, à l'application de la cartographie dans le domaine humanitaire. Le thème retenu cette année était : « Le mieux est-il, en cartographie humanitaire, l'ennemi du bien ? » Bien sûr, on y a parlé urgences, catastrophes et réfugiés. Mais il a été également question de problématiques plus abstraites, comme l'application des réseaux neuronaux à la télédétection, afin de réaliser de la cartographie d'urgence dans des délais réduits.

Pour ceux qui n'ont pas pu assister aux conférences, l'équipe de *Cart'ONG* a publié l'intégralité des vidéos des séances plénières, des tables rondes et des « présentations flash ». Ces vidéos sont disponibles en naviguant à partir de la page de base http://cartong.org/geong/2018 dans le programme de la conférence.

La prochaine édition de *GéONG* aura lieu dans deux ans, à l'automne 2020, sans doute dans les mêmes locaux savoyards. ◘

La signalisation routière intégrée au SIG d'une communauté de communes

Axel ORGER, axel.orger@ensg.eu
Romain STASSE, r.stasse@valleesduhautanjou.fr

La Communauté de communes des Vallées du Haut-Anjou (CCVHA), située dans le Maine-et-Loire (49), regroupe trente-six mille habitants pour un territoire de 658 km². Elle dispose depuis peu d'un Système d'Information Géographique (SIG) pour ses dix-sept communes adhérentes (sur trente communes historiques). Le déploiement au 24 juillet 2018 du SIG accessible depuis le *web* par les élus et agents de l'ensemble de la communauté de communes comporte déjà une centaine d'utilisateurs quotidiens.

Photo : Axel ORGER

Le SIG au service des collectivités

Depuis le regroupement des intercommunalités en 2017 (Ouest-Anjou, Région du Lion d'Angers et Haut-Anjou), trois systèmes SIG préexistaient. Après une mise en concurrence des éditeurs historiques, les élus ont fait le choix d'étendre une unique solution *web*, ergonomique, simple d'utilisation et qui répond aux besoins des agents.

Aujourd'hui, le SIG permet de visualiser et d'interroger les données géolocalisées de la collectivité : Plan Cadastral Informatisé (PCI), Plan Local d'Urbanisme (PLU), Plan de Prévention des Risques (PPR), Périmètres de protection (PP), Plan des réseaux, de la voirie (VRD), etc. Actuellement, la collectivité gère un patrimoine de données géolocalisées de plus de mille cinq cents couches. Et le volume de données produites (et partagées par d'autres instances) est en pleine explosion !

Les élus et agents utilisent ces données pour les aider dans leur métier. L'utilisation du SIG va de la création de carte pour les projets d'aménagement du territoire aux renseignements des usagers sur les possibilités d'urbanisme, jusqu'à des analyses complexes qui aident les élus à prendre des décisions dans la mise en œuvre des politiques publiques.

Carte administrative de la Communauté de communes des Vallées du Haut-Anjou.

Des données sur la signalisation routière intégrées au SIG

Dans le cadre d'un stage de six mois au sein de la direction Environnement nous avons relevé, caractérisé et cartographié l'ensemble des équipements de voirie présents sur les routes intercommunales hors bourg. Ce stage était encadré par le responsable Environnement / SIG et par le responsable des services techniques de la CCVHA. Les équipements de voirie regroupent les panneaux, les balises, les glissières et les marquages au sol, qui sont tous gérés par la communauté de communes. Ce projet est la suite logique d'un précédent stage réalisé en 2016 qui consistait à répertorier les sept cents kilomètres de voies intégrées hors bourg du territoire. L'ajout des données de signalisation permet d'avoir une vision de l'ensemble du patrimoine dont la compétence voirie implique la maintenance.

Ces données sur la signalisation routière permettent aux élus et agents d'accéder à un inventaire constamment mis à jour du patrimoine des équipements de voirie, de les gérer efficacement par des phases de remplacement ciblées (plans de gestion) et d'avoir une analyse pertinente sur la quantité et l'état de la signalisation.

Le SIG, et c'est l'un de ses autres grands atouts, permet aux agents des services techniques de consulter et modifier facilement les données. Ces derniers pourront emmener une tablette sur le terrain pour repérer certains panneaux et mettre à jour la base de données lors d'ajout, de remplacement ou de suppression d'équipements de signalisation.

Les différentes missions du projet

Le projet a pour but de fournir des outils informatiques pour référencer, caractériser, cartographier et analyser les équipements de voirie sur l'ensemble du territoire de la CCVHA. Ce référencement implique la conception d'un modèle de données (quels attributs doivent être renseignés), la programmation d'un outil simple d'acquisition sur le terrain à partir d'une tablette tactile, mais aussi d'un outil permettant la mise à jour de la base de données lors de l'ajout, du remplacement ou de la suppression d'un équipement.

Une fois l'acquisition faite, des analyses spatiales et statistiques pourront être menées afin de produire un atlas cartographique des différents équipements de voirie présents sur le territoire.

Construction du modèle de données

Avant de référencer les équipements de voirie sur le terrain, il a d'abord fallu réfléchir au modèle de données afin de relever des attributs pertinents, comme le type de panneau (« stop » ou « limitation de vitesse », par exemple) ou son état (bon, moyen, mauvais). L'ensemble de ces attributs permettra de définir clairement chaque panneau, balise et ligne au sol.

La première réflexion dans la construction du modèle de données a consisté à établir une distinction entre les différents types d'équipements de voirie à relever : les panneaux, les balises et les lignes au sol. S'ajoutent à ces trois types les équipements manquants qui doivent être également renseignés, ainsi que les supports (ou mâts) sur lesquels sont fixés les panneaux. À chaque signalisation rencontrée, une ligne sera créée pour le mât, et une par panneau fixé sur ce mât. Cela permet d'identifier et séparer chaque élément d'un panneau dont l'état peut être différent des autres.

L'ensemble de ces enregistrements, avec leurs attributs respectifs, est regroupé dans une unique table en tant qu'entités ponctuelles. Le type de chaque panneau est déterminé selon un ensemble de codes uniformisés à l'échelle nationale et mis à jour chaque année. Le modèle de données permet de s'adapter aux cas spéciaux remarqués lors des phases de repérage, comme la présence de panneaux différemment orientés sur un même support, ce qui implique le renseignement de l'orientation, ou bien l'absence de mât pour les panneaux fixés à un mur ou une clôture.

Un contact avec les autres établissements publics territoriaux du département a été établi afin de faire un tour d'horizon des méthodes et outils utilisés pour le référencement et la représentation des données de voirie. Ces témoignages ont éclairé le choix ou le rejet de certains attributs, comme l'intégration d'une photo de chaque panneau dans la base de données, qui a été jugée superflue. Elle ne produirait en effet qu'un « catalogue » d'images qui serait rarement utilisé par les élus et agents techniques si les autres attributs sont correctement renseignés.

La saisie de l'état d'un équipement de voirie doit alors être claire et cohérente, ce qui implique qu'il suive un arbre de décision qui masque les différences d'appréciation selon l'opérateur sur le terrain. Cet arbre répartit l'état d'un panneau (bon, moyen, mauvais) selon les types de dégradation possibles comme le verdissement ou la décoloration.

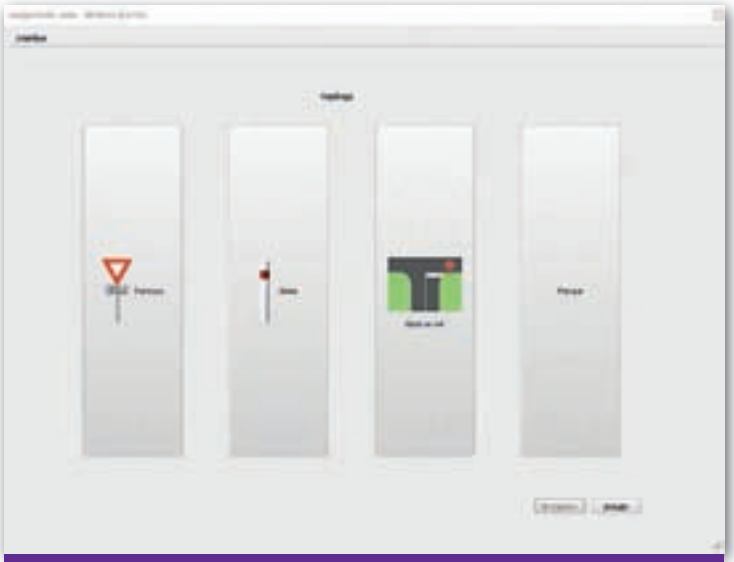
Développement de l'interface d'acquisition

Il est également nécessaire de trouver une méthode pour référencer le plus rapidement possible tous ces équipements de voirie sur le terrain. Pour cela, une interface graphique permettant de capter la position GPS de la tablette et de remplir la base de données à chaque enregistrement a été développée.

Une tablette tactile durcie sous système d'exploitation *Windows* a été acquise en avril 2018 pour les travaux de terrain et de SIG de la communauté de communes. Grâce au logiciel libre *QGis* téléchargeable sur la tablette, il est possible de créer une interface d'édition qui renseigne chaque attribut de la table en fonction des informations données par l'utilisateur. Cette interface, créée avec le logiciel *Qt Designer*, se présente sous la forme de plusieurs pages avec des boutons et des zones de texte. Le défilement des pages et la connexion des boutons à leur action respective sont gérés par un code informatique écrit en langage *Python*.

L'interface et le *script Python* sont liés grâce à la librairie *PyQt,* et sont ensuite renseignés en tant qu'outils d'édition dans la couche *QGis* correspondant aux équipements de voirie. Cette combinaison offre énormément de possibilités dans le rendu graphique de l'interface d'édition et dans son interactivité : les boutons peuvent être associés à des images de panneaux, et certains d'entre eux peuvent être rendus invisibles ou grisés, selon les choix de l'utilisateur. L'intégration en base de données est également simplifiée, avec l'ajout automatique dans la table de tous les panneaux à la même position que le support sur lequel ils se trouvent. L'interface peut ainsi se lancer depuis *QGis*, grâce au panneau « *Informations GPS* » qui permet d'associer la géométrie de l'entité en cours d'ajout aux coordonnées actuelles captées par le GPS de la tablette.

En outre, la couche des équipements de voirie créée dans *QGis* a vocation à être intégrée à la base de données *PostGIS* regroupant l'ensemble des données SIG de la CCVHA. Le lien entre



Exemple d'interface d'acquisition.

Renseignement des attributs d'un panneau « Cédez-le-passage ».

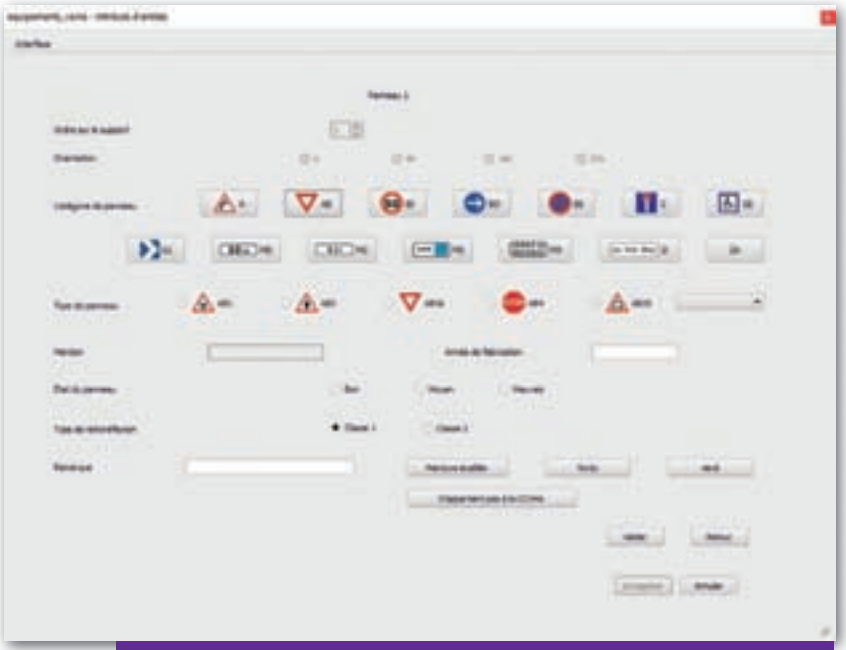
les couches *QGis* et les tables *PostGIS* (import et export) se fait très facilement, mais la manipulation sur le terrain implique d'avoir une couche hors connexion car la tablette ne sera pas connectée au serveur hébergeant la base de données. L'extension « *Édition hors connexion* » de *QGis* permet de convertir la couche en projet hors connexion (format *.sqlite*) afin de pouvoir l'utiliser et l'éditer sans être connecté au serveur. Au retour au bureau, le bouton « *Synchroniser* » permet d'enregistrer les changements dans la base de données *PostGIS* une fois la tablette connectée au réseau VPN.

Acquisition et traitements

Une fois l'interface fonctionnelle, l'acquisition des équipements de voirie peut débuter. Elle doit suivre certaines règles, afin de limiter les erreurs de saisie, notamment sur l'appartenance ou non d'un panneau à la CCVHA. L'ensemble des règles et méthodes à adopter sur le terrain a été soigneusement établi, pour s'assurer d'un référencement fiable et complet, pendant les phases de tests de l'interface, en même temps que la validation de son ergonomie.

Quelques semaines sur le terrain ont permis de référencer et de caractériser tous les panneaux de signalisation et marquages au sol du territoire intercommunal. Après trente-cinq journées d'acquisition sur le terrain, soit environ une journée par commune historique, l'ensemble du territoire de la CCVHA a été parcouru pour un total de huit mille sept cents entités dans la base de données, dont quatre mille huit cent cinquante panneaux répartis sur trois mille trois cent trente supports, soixante-dix balises et glissières, deux cent quarante lignes au sol et deux cents équipements manquants. La phase de relevé a permis de former un agent technique à l'utilisation de la tablette et de l'interface, et de lui céder la saisie pendant une semaine complète. Cette formation est essentielle dans la continuité du projet, car elle assure que l'outil sera utilisé convenablement par la suite.

Conjointement à l'acquisition, plusieurs autres fonctionnalités ont été codées sous la forme de *scripts* ou de *plug-ins* pour le renseignement d'informations supplémentaires et le post-traitement des données. Cela concerne en particulier le renseignement de la route à laquelle appartient chaque équipement. Basé sur l'analyse spatiale (proximité avec la couche des routes intégrées), ce traitement peut être effectué séparément au bureau afin de ne pas ralentir



Interface dans le cadre de panneaux multiples sur un même support.

le lancement de l'interface sur le terrain.

Dans le cas d'équipements situés à une intersection de routes, l'analyse spatiale ne permet pas de déterminer la route d'appartenance, en raison des règles complexes qui régissent la voie d'affectation (route prioritaire pour la signalisation, et route comportant le lieu-dit pour les panneaux de lieu-dit). Un *plug-in QGis* a donc été développé pour renseigner au cas par cas la route d'appartenance. Il affiche les informations essentielles du panneau et permet la visualisation de l'entité sur la carte avec les routes environnantes, rendant l'affectation facile.

Enfin, la base de données créée et remplie sera amenée à évoluer dans le temps en raison des dégradations, remplacements et ajouts éventuels. La mise à jour de la base doit donc être prévue et simplifiée au même titre que l'acquisition. L'interface a été adaptée pour permettre la consultation, la modification et la suppression des entités. Les services techniques pourront l'utiliser pour mettre à jour la base de données.

Tout en conservant les fonctionnalités d'acquisition, d'autres fonctionnalités sont ajoutées, comme la modification de certaines caractéristiques de l'entité (état, mention, remarque par exemple), la suppression de l'entité et l'ajout d'un (ou plusieurs) panneau(x) ou d'un manque sur un support identifié. Les sessions de mise à jour se feront toujours sous *QGis*, en visualisant les équipements de voirie sur la carte. La visualisation est simplifiée par une symbologie adaptée, dépendante du type et de l'état des équipements. Le formulaire d'édition peut également être appelé depuis l'identification des éléments, pour permettre leur mise à jour. Les fonctionnalités demandées par le panneau d'informations GPS et l'identification des éléments étant différentes, l'interface doit s'adapter selon les cas.

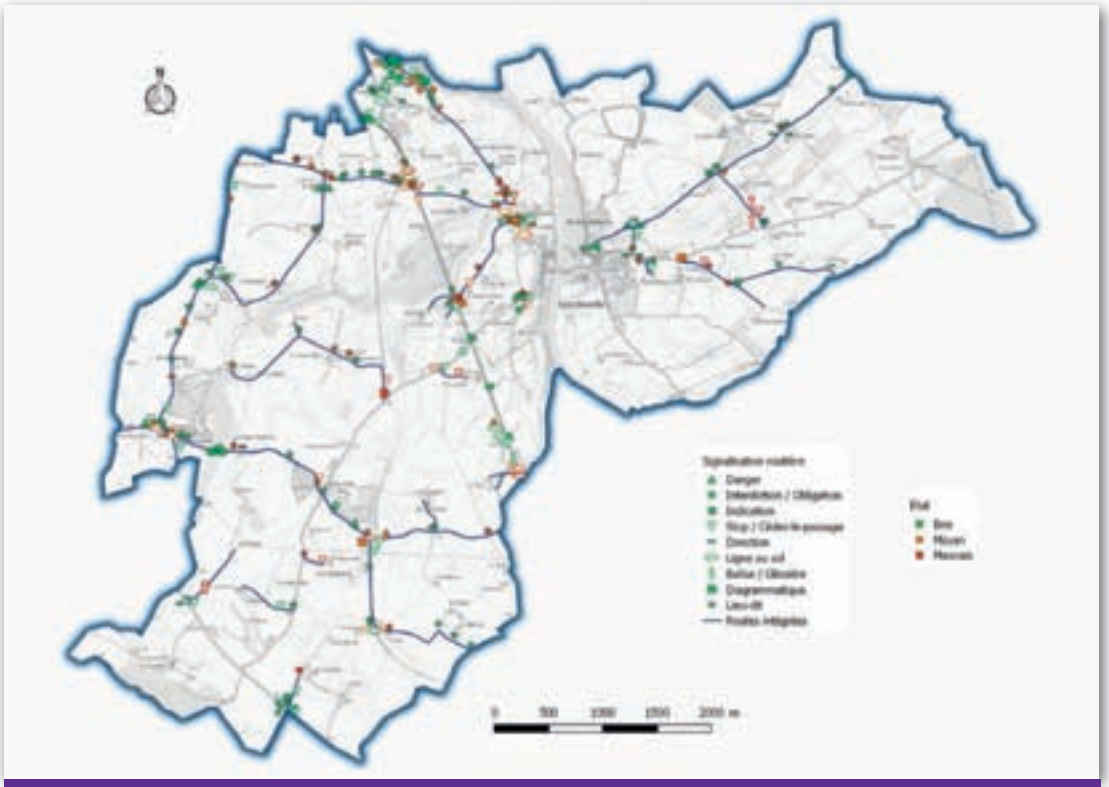
Analyses

Une fois tous les équipements de voirie relevés sur le territoire, il est essentiel de fournir une analyse statistique et cartographique complète servant de rendu détaillé à destination des élus et agents communaux en commission, mais aussi des services techniques qui organisent la gestion des équipements et lanceront prochainement un marché de fournitures.

L'analyse cartographique commence par une représentation claire des équipements de voirie sur le territoire. Une symbologie catégorisée selon le type d'équipement paraît la plus appropriée. Cependant, le grand nombre de types de panneaux différents (un peu moins de cent types recensés) impose de les regrouper par catégorie, afin d'améliorer la lisibilité. Par exemple, les supports et les panonceaux ne sont pas représentés, car ils sont associés à un ou plusieurs panneaux à la même position.

Une analyse statistique de la récurrence des types de panneaux et de leur état doit également être menée pour fournir des chiffres à l'appui des cartographies. Le langage de programmation *R* semble le plus adapté pour produire des statistiques sur des bases de données et possède de puissants outils graphiques pour les représenter. De plus, *R* est interopérable avec les bases de données *PostGIS* et avec le logiciel *QGis*, qui peut accueillir des scripts écrits en langage *R* pour les traitements.

La finalité de ces analyses est de produire des atlas cartographiques communaux des équipements de voirie, avec une

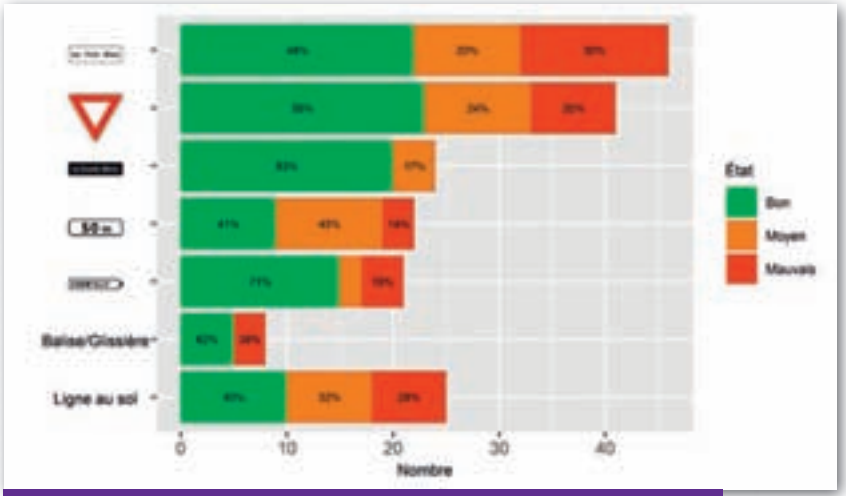


Carte de la répartition des équipements de signalisation sur la commune de Grez-Neuville.

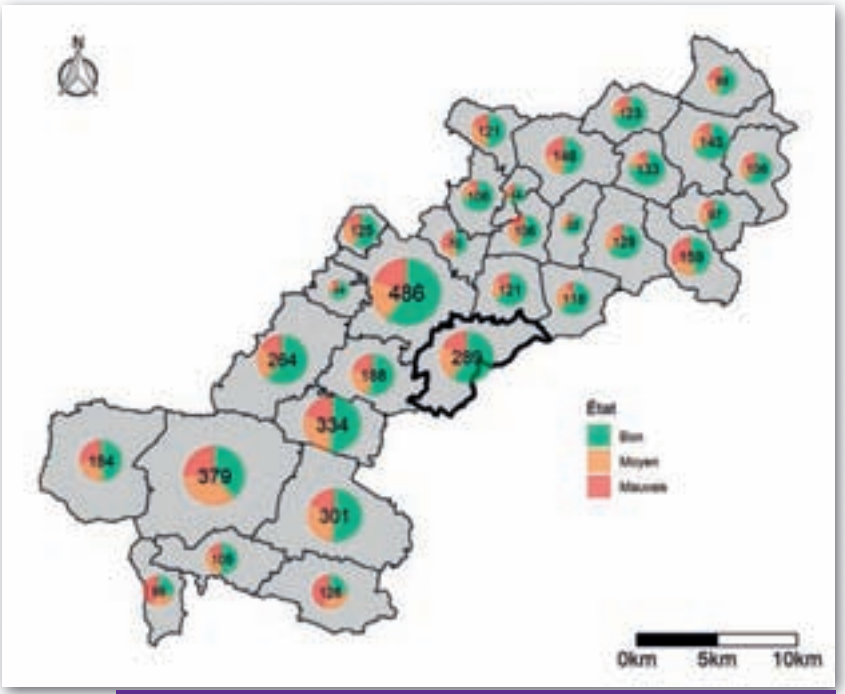
carte, différents graphiques et un texte explicatif. La création de ces trente atlas (un par commune historique) implique d'automatiser leur rédaction à l'aide d'un outil de *reporting*, ou d'un ordonnanceur d'impression, qui crée le squelette de l'atlas, et y ajoute cartes, graphiques et éléments de texte propres à chaque commune. L'automatisation signifie qu'à chaque mise à jour de la base de données les atlas pourront être réédités facilement (voir exemple d'atlas pour la commune de Bécon-les-Granits en fin d'article).

Grâce à la combinaison du composeur d'impression de *QGis* et de scripts *R* pour la réalisation de graphiques, la création des atlas se fait automatiquement. Ils comportent chacun la carte des équipements de voirie centrée sur la commune, un graphique en barre représentant les cinq panneaux les plus récurrents sur le territoire de la commune et leur état respectif, une carte à l'échelle de la communauté de communes du nombre d'équipements de voirie par commune avec la répartition de leur état, et un court texte d'analyse.

De la même manière, un atlas à l'échelle intercommunale a été édité, avec le même type de graphique en barre représentant les dix types de panneaux les plus récurrents et la carte de la CCVHA avec les cercles proportionnels



Exemple de graphique pour la commune de Grez-Neuville.



Carte à l'échelle de la CCVA du nombre d'équipements de voirie par commune, avec la répartition de leur état.

par commune. S'y ajoutera une carte de densité (ou carte de chaleur), afin de repérer les zones de forte densité d'implantation de panneaux, correspondant souvent aux lieux touristiques ou aux échangeurs avec la voie rapide reliant Angers à Rennes. Enfin, une carte de la répartition des équipements manquants sur le territoire intercommunal permettra de repérer les communes à équiper en priorité.

Sans grande surprise, les types de panneaux les plus représentés indiquent le nom d'un lieu-dit : on en dénombre mille sept cents, soit un tiers de la quantité totale de panneaux. Sur les routes intercommunales, la diversité des panneaux de signalisation routière n'est pas très importante : on y trouve majoritairement des annonces de carrefour avec une départementale (cédez-le-passage à 150 m par exemple). De même, les lignes au sol les plus courantes sont des cédez-le-passage. Presque aucune route intercommunale ne comporte de ligne axiale ou de ligne de rive de chaussée. Sur la totalité des panneaux environ neuf cents sont en mauvais état, soit un sur cinq.

La comparaison des atlas communaux met en évidence des disparités d'état et d'implantation de panneaux selon les communes. L'héritage de la compétence voirie, auparavant apanage communal, est donc bien visible. Les différences d'état sont particulièrement remarquables pour les panneaux de lieu-dit, qui ont été pour la plupart installés en même temps sur l'ensemble de la commune. Quant à la densité de panneaux, les atlas mettent en évidence que certaines communes ont eu des politiques d'implantation différentes : choix de l'installation d'une signalisation à chaque carrefour contre simples priorités à droite (absence de signalisation) pour la plupart des autres communes.

Transmission des données et des outils

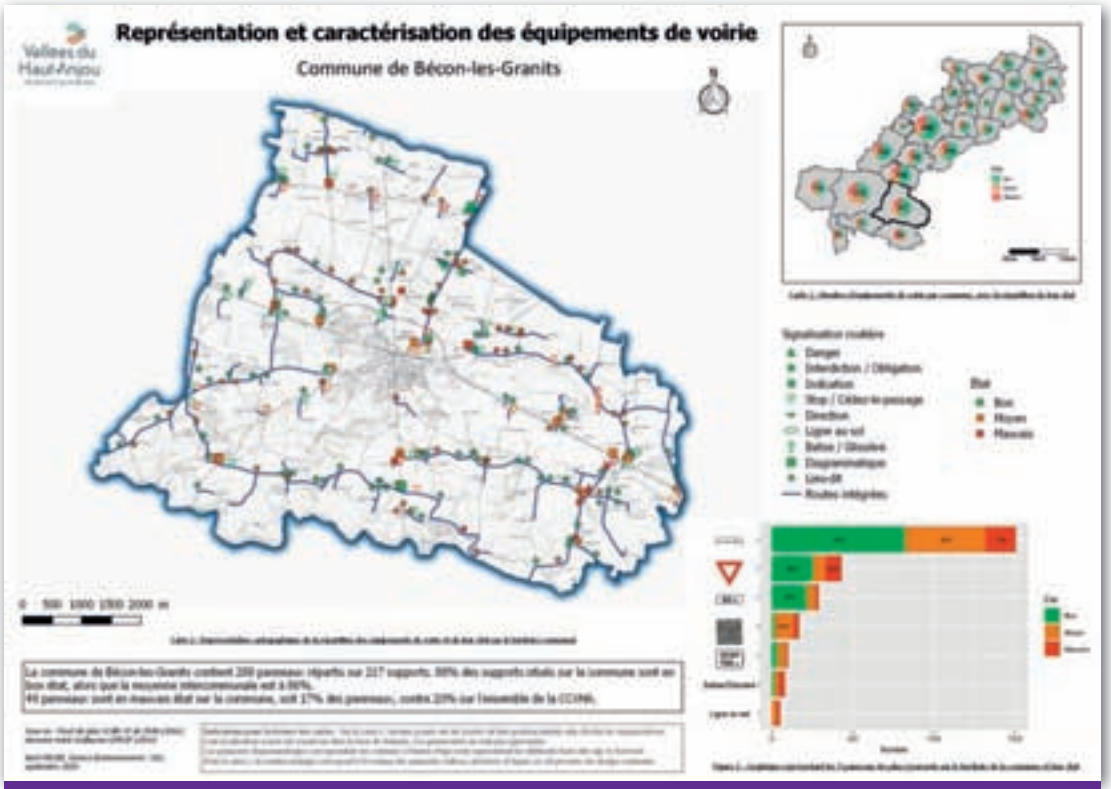
L'ensemble des outils créés pendant le stage a été transmis au responsable des services techniques et au responsable Environnement / SIG. Ils s'accompagnent d'une formation sur l'utilisation des outils de traitement et de mise à jour pour faire vivre la base de données et l'adapter aux évolutions techniques.

Les données sur les équipements de voirie sont hébergées sur le SGBD-S de la communauté de communes, donc tout agent technique peut y avoir accès à condition de disposer du lien vers le réseau VPN. Les planches d'atlas sont également envoyées aux communes. Enfin, depuis le dix septembre, la couche des équipements de voirie avec la symbologie associée est intégrée au SIG afin que les élus et agents communaux aient également accès à ces données.

L'ensemble des outils et méthodes d'acquisition, de mise à jour et d'analyse des données de voirie forme un projet innovant qui pourra être partagé aux autres EPCI voisins qui disposent de la compétence voirie.

Les perspectives pour le SIG

Le domaine de l'information géographique est en plein boom ! Et les évolutions technologiques sont rapides. La Communauté de communes des Vallées du Haut-Anjou vient de s'engager dans un projet innovant pour la réalisation d'un plan très précis de ses rues, dit Plan de Corps de Rue Simplifié (PCRS). Ce



Exemple d'atlas sur la commune de Bécon-les-Granits.

plan permettra d'améliorer la localisation des réseaux et d'éviter les situations de risque dans le cadre de travaux à proximité. Le projet est porté à l'échelle départementale par le Syndicat Intercommunal d'Énergie du Maine-et-Loire (SIEML). La livraison du plan va s'échelonner dans le temps et sera finalisée en 2026. La première livraison concerne les communes du Lion d'Angers et de Châteauneuf-sur-Sarthe, pour le second semestre 2019.

À terme, le SIG pourrait être ouvert au public (selon certaines restrictions de consultation) pour partager la connaissance géographique du territoire, et faciliter l'instruction de dossiers administratifs en mairie. ◻

Articque fête ses trente ans

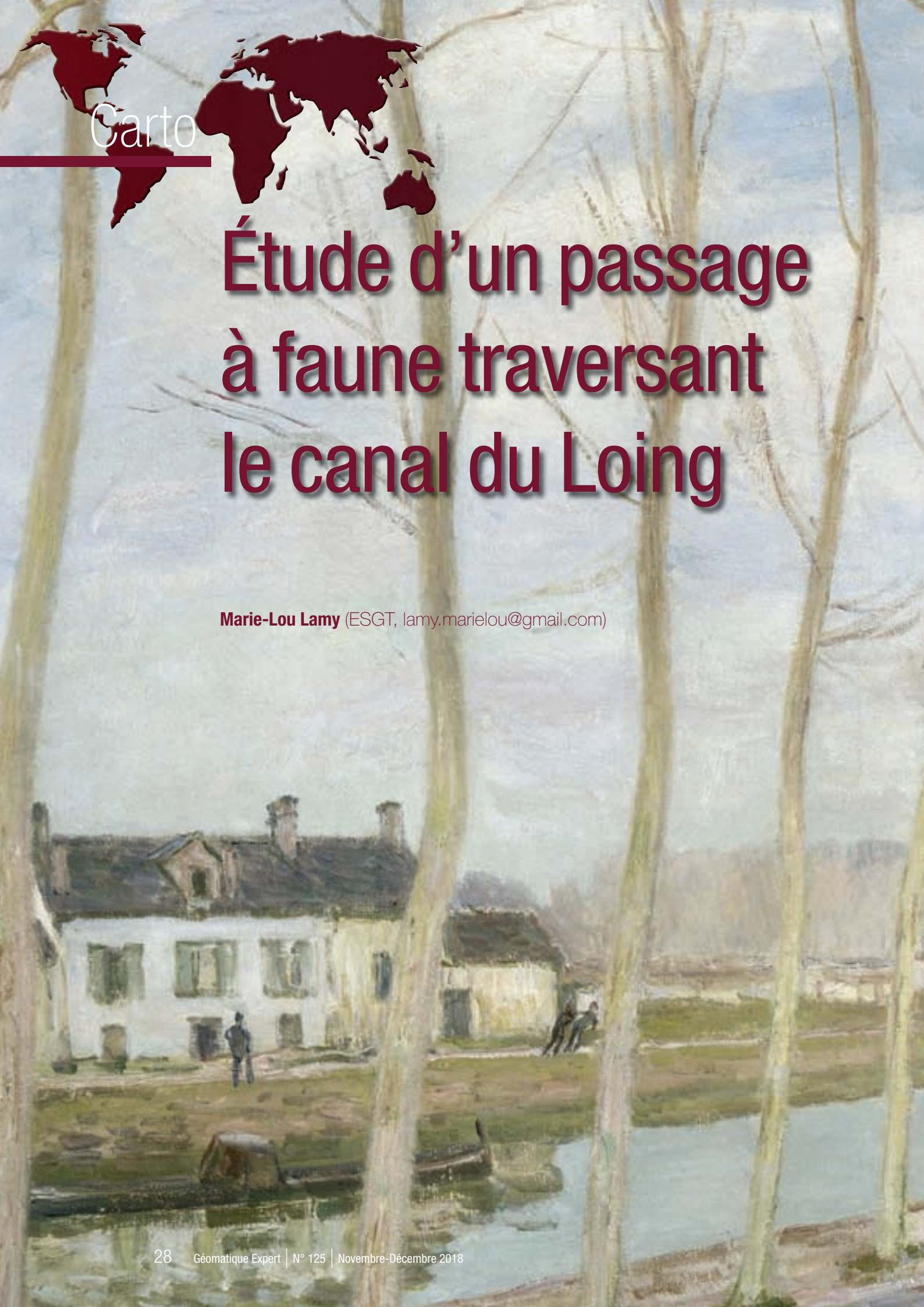
La société tourangelle spécialisée en géo-décisionnel *Articque* fête ses trente ans d'existence le 31 janvier prochain dans ses locaux de Fondettes. À cette occasion, dix clients de différents secteurs et de divers métiers viendront témoigner des bénéfices qu'ils ont retirés de l'utilisation du logiciel phare de la société, *Cartes & Données*.

Par ailleurs, des ateliers thématiques (découverte de *Cartes & Données*, notions de base en cartographie statistique, créer sa carte interactive, concevoir une application cartographique, utiliser des tableaux de bord géographiques…), compléteront cette journée dédiée au géo-décisionnel.

Pour en savoir plus, une page web dédiée à l'événement est accessible à cette adresse : https://www.articque.com/journee-geo-decisionnel-2019. ◻

Étude d'un passage à faune traversant le canal du Loing

Marie-Lou Lamy (ESGT, lamy.marielou@gmail.com)



La préservation des « corridors écologiques » est une problématique importante de la protection de la faune et de la flore. Au fur et à mesure que les aménagements humains se multiplient, constituant autant d'obstacles au déplacement des animaux, il est indispensable de créer des « passages » qui permettent à ces derniers de contourner ces obstacles pour accéder à leurs zones de chasse, par exemple. Exemple de l'étude préliminaire et de la mesure de l'efficacité d'un passage à faune aménagé en travers du canal du Loing, au Sud de la forêt de Fontainebleau.

Le canal du Loing par Sisley. Tableau exposé au Musée d'Orsay.

En 2010, l'espace des grandes aires urbaines représente près de 21 % du territoire français, soit une croissance de 19 % en l'espace d'une décennie. L'accroissement de l'artificialisation des zones naturelles, par la création d'infrastructures et l'agrandissement des zones agricoles, fragmente le territoire et mène à un isolement des zones naturelles. Les écosystèmes sont donc fragilisés : moins de nourriture par zone, pour certaines espèces, et plus de difficultés à trouver des pairs pour se reproduire.

Le pourcentage de sol artificialisé (9,3 % de la surface du territoire en 2015) a augmenté de 1,3 % par an à partir de 1992, un taux qui a ralenti à 0,8 % par an depuis 2010, se calant sur la hausse de la population urbaine, qui est passée de 74 % en 2012 à 80 % en 2017. Une baisse a donc été observée à partir de 2010 ; les zones les plus affectées sont les parcelles agricoles. Étonnamment, le pourcentage des zones forestières, humides ou naturelles reste stable sur tout le territoire français.

Le déplacement des espèces naturelles est perturbé par ce phénomène. Or, les animaux doivent pouvoir circuler le plus facilement possible entre plusieurs zones naturelles, car les migrations sont indispensables à l'équilibre et la stabilité des populations, notamment pour préserver le brassage génétique, et ce à des échelles spatiales variées. Chez de nombreuses espèces, les zones d'hivernage, de reproduction et d'alimentation ne sont pas les mêmes ; le cloisonnement des populations a donc un impact négatif pour leur survie [P. D. Taylor, L. Fahrig, K. Henein et G. Merriam, 1993]. Les obstacles sont « des ruptures qui nuisent à l'intégrité des continuités écologiques » (SRCE, chapitre 2, page 47).

Les grands mammifères ont besoin d'espaces couvrant plusieurs dizaines de kilomètres carrés, comme les cerfs qui, en période de reproduction, se regroupent en hardes et, le reste de l'année, parcourent des territoires beaucoup plus vastes que les biches [V. Vignon et M. Suez, 2016]. Les amphibiens, eux, se reproduisent dans les mares, mais passent le reste de la saison dans des prairies ou des boisements situés à quelques centaines de mètres. Quoi qu'il en soit, les impacts de la fragmentation due aux infrastructures de transport ou autres formes d'artificialisation sont équivalentes pour les uns et les autres.

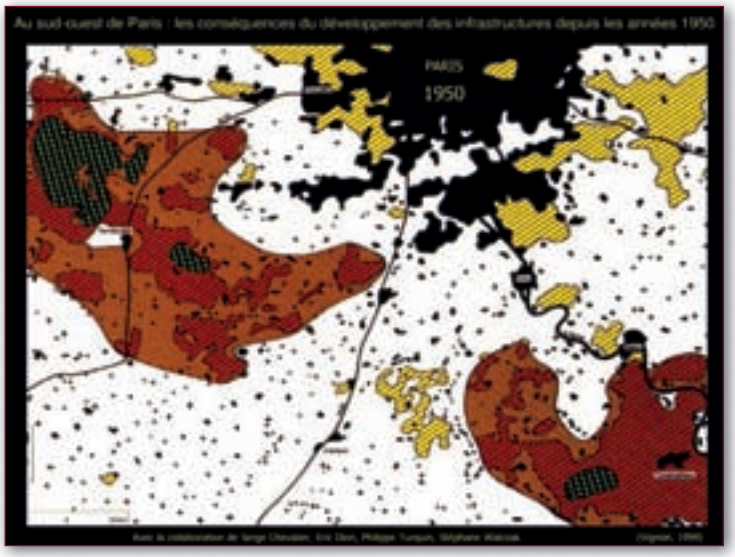
Un arsenal législatif a été mis en place pour lutter contre cette fragmentation : la loi relative à la protection de la nature (1976), la loi sur la protection et la mise en valeur des paysages (1993), la loi Grenelle 2 luttant contre l'étalement urbain tout en favorisant la mise en œuvre et la sauvegarde des Trames Vertes et Bleues et, enfin, en 2016, la loi sur la Biodiversité.

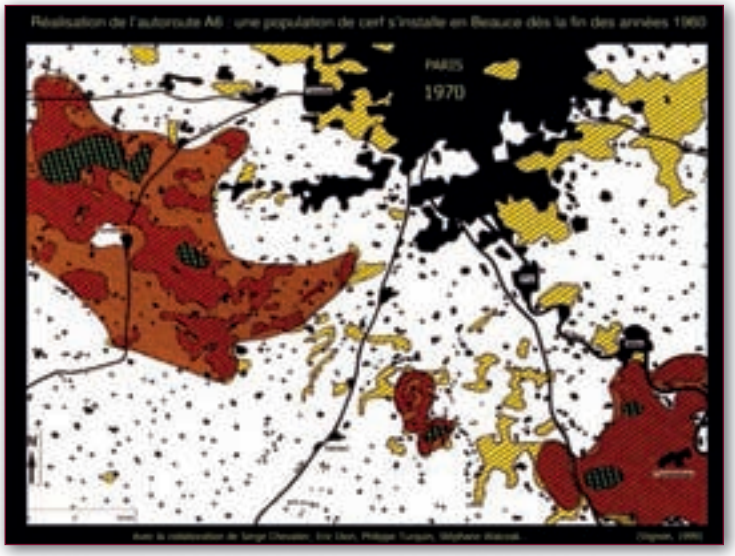
La Seine-et-Marne a connu, entre 2010 et 2015, la deuxième plus forte hausse de population en Île-de-France, mais abrite encore 59 % des surfaces agricoles d'Île-de-France en 2012. Un quart de la surface du département de la Seine-et-Marne est recouvert de forêts, dont celle de Fontainebleau. Un tiers seulement de ces forêts sont publiques (source : http://seine-et-marne.fr).

À une soixantaine de kilomètres seulement au sud de Paris, la forêt de Fontainebleau, ancien domaine de chasse des rois de France, mérite bien son titre de « forêt d'exception ». Elle représente une très grande réserve de biodiversité. Cependant, elle se trouve de plus en plus fragmentée par les infrastructures humaines (Autoroutes A 6 et A 10, nationales 6 et 7 ainsi que les lignes ferroviaires dont le TGV Paris-Lyon). Nous pouvons le voir très clairement sur les cartes réalisées par Vincent Vignon en 1999. Ces cartes (figure 1) représentent l'organisation spatiale des populations de cerfs des forêts de Rambouillet à Fontainebleau. Les infrastructures et la fréquentation du public dans les forêts ont entraîné une multiplication des noyaux de population et leur déplacement vers les forêts privées. Le cerf est un indicateur idéal pour voir l'impact qu'ont les infrastructures humaines sur ces populations d'animaux, car c'est l'espèce qui est « particulièrement exposée à ces bouleversements » [V. Vignon et M. Suez, 2016].

Pour remédier à cela, plusieurs passages à faune différents ont été construits : des passages supérieurs (par exemple, au-dessus des autoroutes) – il existe environ 1 500 passages à faune répartis sur les 11 882 kilomètres du réseau autoroutier ; des passages inférieurs (par exemple, des « crapauducs », pour permettre aux crapauds, quand ils migrent, de traverser les routes) mais aussi des passages dans les voies d'eau (par exemple, des passes à poisson).

Le canal du Loing, situé au sud de la forêt de Fontainebleau, débute à Chalette et se termine à Saint-Mammès. Il est long de 49,5 km et compte dix-neuf écluses. Il suit le Loing et emprunte à huit reprises le lit habituel de celui-ci. Ce canal représente un obstacle





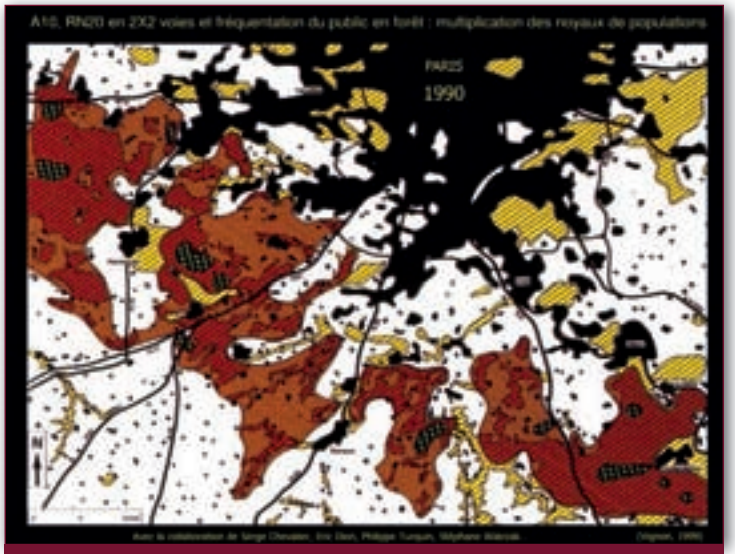


Figure 1a/b/c : Évolution de la population des cervidés dans le Sud et l'Ouest parisien.

majeur pour les déplacements de la faune. Les berges sont verticales et bétonnées, ce qui empêche les ongulés, tombés à l'eau, de remonter à la surface. Le risque de mortalité par noyade est alors élevé. Des dispositifs de sortie de l'eau ont été réalisés, il y a une trentaine d'années, mais ces équipements ont vieilli. Ils sont hétérogènes et plutôt dimensionnés pour les chevreuils que pour les cerfs. En outre, leur nombre limité le long du canal restreint leur efficacité.

Suite à un inventaire des taux de mortalité des animaux retrouvés dans les canaux du Loiret, entre Néronville et Moret-sur-Loing, durant l'année 2015 et début 2016, des travaux ont été réalisés autour du canal du Loing fin 2016 [C. Gorlin, Novembre 2016]. Un nouveau dispositif a été élaboré et construit entre l'écluse d'Écuelles et d'Épisy.

Le nouveau passage à faune du canal du Loing est-il efficace et fonctionnel pour participer à la restauration des continuités écologiques ? Une partie de la prairie de Najou, située à la partie sud de ce passage, peut-elle être acquise en vue de sa restauration en « Réserve de Vie Sauvage » et ainsi jouer un rôle essentiel dans les continuités écologiques ? Pour répondre à ces problématiques, des pièges photographiques ont été utilisés ainsi que divers logiciels.

Contexte de l'étude

Le secteur d'étude se trouve au sud de la forêt de Fontainebleau, plus précisément dans la nouvelle commune de Moret-Loing-et-Orvanne. Cette commune regroupe, depuis 2016, cinq anciennes communes : Moret-sur-Loing, Écuelles, Épisy, Montarlot et Veneux-les-Sablons.

Le passage à faune étudié, représenté par le cercle orange sur la figure 2, se trouve sur le canal du Loing à l'est de la Plaine de Sorques, le long du chemin de halage qui relie Épisy à Écuelles.

Dans cette zone, il existe déjà trois différents types de passages à faune visibles sur le canal du Loing (figure 3), qui ont été construits il y a plus de trente ans :

- Des plans béton inclinés (qui sont fissurés et décollés du bord du canal) ;
- Des grilles de remontée (qui sont instables et rouillées) ;
- Des échancrures.

Figure 2 : Situation de la zone d'étude.

Figure 3 : Situation des passages déjà existants.

Un compte rendu réalisé par VNF a été réalisé en novembre 2016 sur les travaux du canal du Loing. Il comprend une analyse des passages à faunes actuels, du taux de mortalité mais aussi de la construction du nouveau dispositif sur le canal du Loing. D'après ces tableaux, en mars, avril et mai 2015, deux blaireaux, un renard et une martre ont été retrouvés morts noyés dans le canal du Loing et dans les mêmes conditions un sanglier a été retrouvé au mois de janvier 2016.

Suite à ce constat, un nouveau dispositif a été mis en place entre les écluses d'Écuelles et Épisy. Très étudié et élaboré par différentes personnes (vétérinaires, par exemple, pour la taille des stries dans le béton), il a été construit sur la rive gauche et la rive droite du canal du Loing au niveau de la prairie de Najou (figures 4a et 4b). Il est constitué d'une barrière en bois pour rendre le passage visible pour d'éventuels fauchages, de deux plans inclinés se rejoignant sous l'eau et de stries pour éviter que les animaux ne glissent en montant ou descendant le long du passage.

Un comptage des animaux est réalisé chaque année par l'ONF dans le massif de Fontainebleau. En mars 2018, entre 650 et 750 cerfs et biches, environ 400 chevreuils et entre 800 et 900 sangliers (un chiffre qui peut atteindre jusqu'à 1 500 individus en septembre) ont été recensés. Autour de la zone d'étude, on trouve une population de cerf qui, d'après Vincent Vignon, pourrait occasionnellement traverser le canal du Loing et le Loing. La prairie de Najou se trouve donc dans l'axe du corridor de ce déplacement. Elle est donc importante à préserver et à restaurer, un argument phare

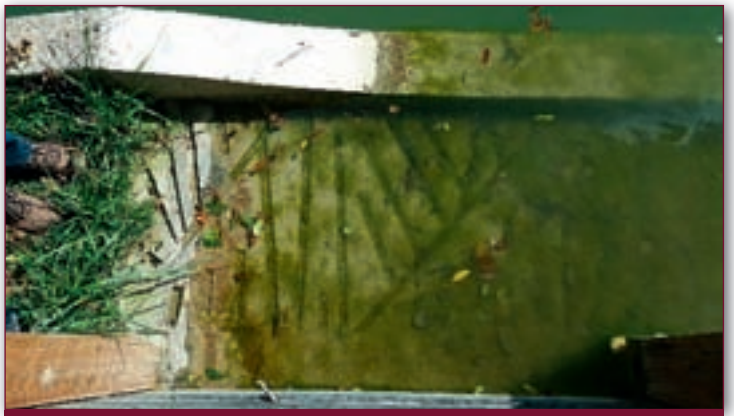


Figure 4a/b : Le nouveau passage à faune.

pour la faire classer en Réserve de Vie Sauvage®.

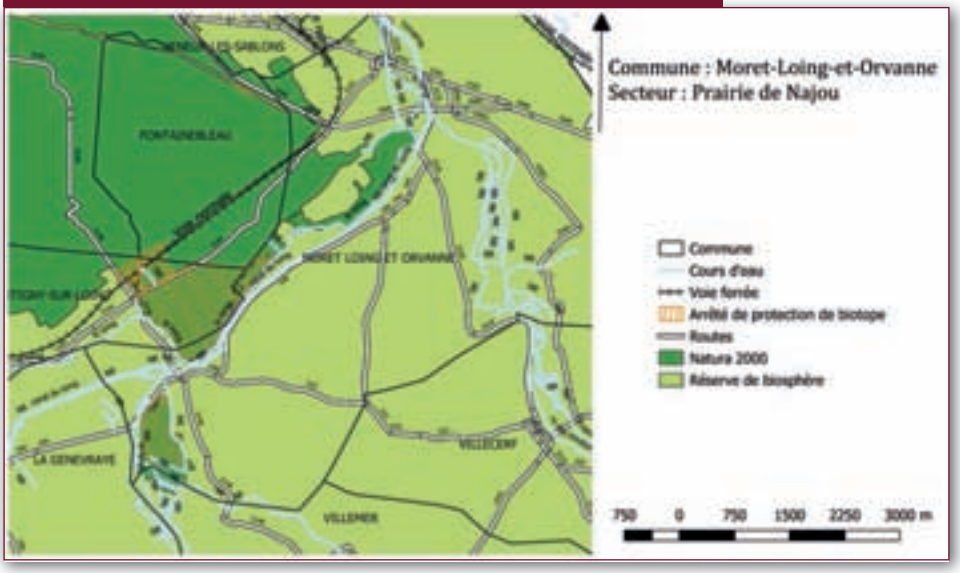
Sur les cartes réalisées sous *QGis* nous pouvons voir plusieurs zones de protection autour du passage à faune et de la prairie de Najou (figure 5). La prairie est jointe à une zone *Natura 2000* et à un arrêté de protection de biotope. Toute la zone d'étude se trouve en réserve de biosphère, mais aussi dans le réservoir de biodiversité (deux espaces différents). La zone couverte est effectivement agricole et jouxte un corridor arboré qui traverse le Loing puis le canal du Loing. On remarque deux autres corridors arborés et herbacés, l'un qui longe le Loing vers la zone de biotope et l'autre qui longe tout le Sud du canal du Loing.

Après une étude plus approfondie du SRCE de l'Île-de-France, nous avons pu observer (malgré la petite échelle de ce référentiel) que :

• Le corridor herbacé situé le long du canal est caractérisé comme « fonctionnel des prairies, friches et dépendances vertes » (trait vert clair) et ne possède pas d'obstacle sur cette portion ;

• Le corridor arboré est caractérisé, d'une part, par « fonctionnel diffus au sein du réservoir de biodiversité » (partie du Sud de la forêt de Fontainebleau jusqu'au canal, trait rose clair) et, d'autre part, de « fonctionnel entre les réservoirs de biodiversité » (partie au sud du canal jusqu'aux parcelles agricoles qui se trouvent de l'autre côté de la départementale, trait rouge). Il possède à la jonction entre ces deux parties « un ou plusieurs obstacles et un ou plusieurs points de fragilité ». Cet obstacle est représenté par la lettre I dans un petit triangle noir (figure 10, SRCE chapitre 2, page 30). Les autres obstacles correspondent aux autres triangles et ronds noirs. L'obstacle et le point de fragilité qui a été répertorié et inscrit sur la carte n'est pas explicité, mais il semble que ce soit le canal lui-même. Un obstacle est « un fort effet de coupure » et un point de fragilité réduit « l'étendue des fonctionna-

Figure 5 : Zones de protection dans le périmètre de l'étude.



lités de la continuité » mais reste cependant fonctionnel. Ici, un effet d'interruption « limite, voire bloque, le déplacement des espèces » (SRCE chapitre 2, page 47) ;

• Le corridor bleu, correspondant au canal, possède des obstacles à l'écoulement (les écluses). Il est caractérisé par « un cours d'eau permanent et des canaux au sein de corridors alluviaux fonctionnels » (trait bleu foncé) et il fait partie du « continuum de la sous-trame bleue » (trait bleu clair) (figure 11, SRCE chapitre 2, page 34).

Méthode

Pour observer les animaux, des caméras de marque *Browning trail cameras*, modèle BTC-8FHP-PX ont été utilisées. Plusieurs modes sont disponibles : *Trail Cam* pour prendre des photos, *Video* pour réaliser des vidéos et *Timelapse Plus* qui permet des prises de vue automatisées séquentielles.

Les clichés ont une taille de huit mégapixels et l'appareil se déclenche toutes les cinq secondes dès qu'une variation thermique est détectée. L'appareil calcule en continu la température ambiante et la compare avec toutes les températures de surface des objets de la scène. Si, par exemple, un animal à sang chaud, dont la température dépasse de deux à trois degrés la température ambiante, passe dans le champ, l'appareil déclenche une photo ou une vidéo. Les vidéos s'arrêtent de manière automatique au bout de dix secondes. Si l'animal demeure au même endroit, une vidéo se relance automatiquement après la précédente.

Les caméras ont un champ de vue de 55° horizontalement et peuvent détecter des différences de température à une distance de 25 mètres (environ). Les photos et vidéos ont une barre d'information qui comporte la pression barométrique, la température, la phase de la lune, la date, l'heure et le nom de la caméra. Le regroupement de l'ensemble de ces informations va permettre la construction d'une base de données.

Caméras

Après avoir obtenu l'autorisation de VNF, deux appareils photos ont pu être installés, de chaque de côté du canal, au niveau du nouveau dispositif. Ils ont été positionnés sur des arbres à une hauteur d'environ deux à trois mètres et équipés d'une coque anti-vol (Figure 7) car ils se trouvent à des endroits très fréquentés. Une des caméras a été placée le long du chemin de halage (caméra rive gauche) et pointe vers le passage à faune. Après les premières observations, l'appareil n'était pas assez reculé, ni les deux entrées/sorties du passage, ni le chemin de halage n'étaient assez visibles. La caméra a donc été déplacée sur un arbre plus éloigné. Le passage peut désormais être observé en entier.

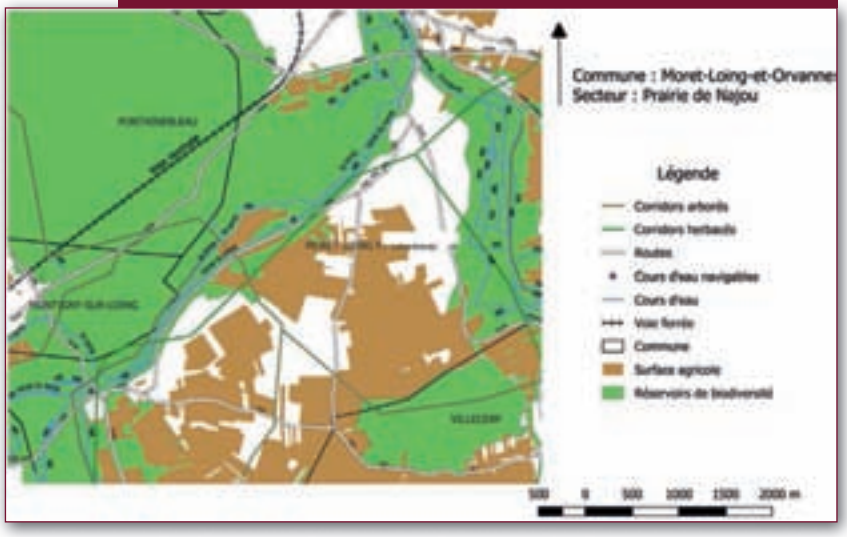
Le relevé des cartes SD se faisait deux à trois fois par semaine au début, afin de pouvoir régler correctement les caméras, plutôt en milieu de journée pour éviter de perturber d'éventuels animaux voulant traverser le canal tôt le matin ou dans la soirée, mais également pour éviter de changer les cartes SD pendant les périodes d'affluence de circulation à pied de personnes, afin que les caméras ne soient pas repérées et fassent l'objet de dégradations volontaires. En juin, une fois les réglages effectués, les déplacements se sont réduits à une fois par semaine pour limiter au maximum les frais de transport.

Après avoir réglé correctement les paramètres des caméras, les cartes SD pouvaient stocker jusqu'à neuf mille photos ou quatre mille vidéos.

Inventaire forestier

Avec l'aide de bénévoles de l'ANVL, spécialisés en botanique, un inventaire de la zone d'étude a pu être réalisé, comprenant la prairie de Najou mais

Figure 6 : Carte des corridors et des réservoirs de biodiversité.



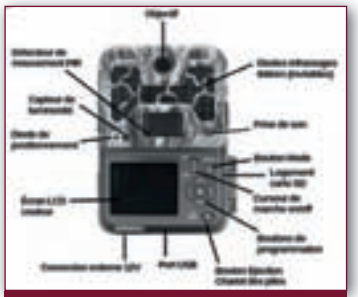


Figure 7 : Les caméras utilisées.

Ces données ont été rentrées sur *Cettia* pour obtenir une base de données complète et une carte a été réalisée pour présenter ces différentes plantes existantes autour de cette prairie. En parallèle, la mairie d'Écuelles a été contactée pour obtenir les noms des différents propriétaires des parcelles de la prairie de Najou en vue de négocier leur acquisition.

Figure 8 : Position des deux caméras utilisées pour surveiller le passage. L'une d'entre elles sera réutilisée par la suite pour observer un ancien passage voisin.

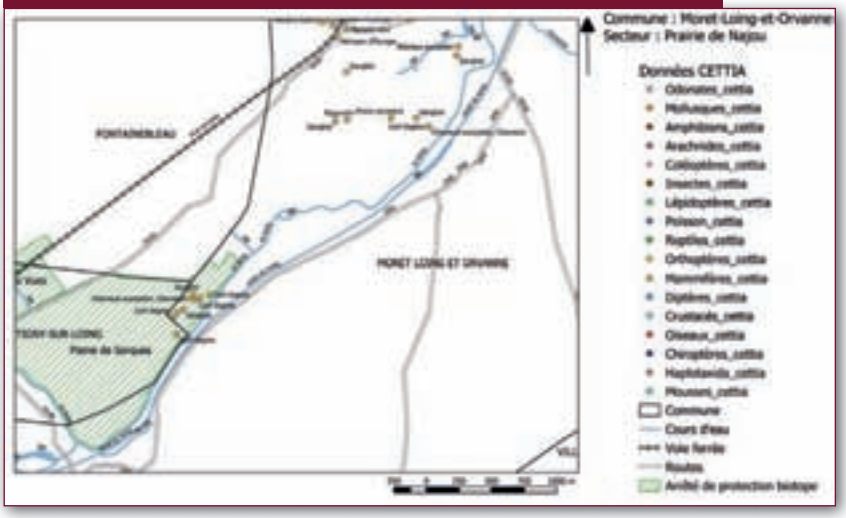
aussi les abords du Loing et du Canal du Loing. La méthode est très simple : la zone a été parcourue en globalité et les plantes principalement présentes ont été identifiées et inscrites sur papier. La zone a été parcourue deux fois à des périodes différentes, l'une en mai l'autre en juillet. Ceci a permis d'identifier plus facilement certaines espèces de plantes dont la floraison était plus tardive. Pour la prairie de Najou, une parcelle de 1 m² a été définie pour chaque partie non cultivée. Chaque parcelle de 1 m² est censée être représentative de l'ensemble de la surface qui est jugée homogène dans sa composition floristique. Cela a permis de ne parcourir qu'une partie de la prairie.

Présentation de la Base de Données *Cettia*

Cettia (http://cettia-idf.fr/bdd) est une base collaborative où tous les observateurs peuvent s'inscrire et déclarer une espèce, un nombre et le lieu précis en pointant sur une carte. Toutes les observations concernant les animaux, mais aussi les différentes plantes autour du canal du Loing, ont donc été saisies sur *Cettia*.

La commune doit être entrée en premier pour centrer la carte, puis la date. En deuxième étape, il faut cliquer sur la carte à l'endroit exact où l'espèce a été observée, rentrer les champs concernant l'espèce, la quantité, l'heure d'observation, un éventuel comportement (floraison, végétatif, en nidification, territoire de chasse…) et un commentaire si nécessaire. *Cettia* construit ensuite une entrée complète avec le nom commun, le nom scientifique, la classe, l'ordre, la famille de l'espèce observée, l'indice de rareté, le statut de protection en France ou en Europe, le nom de l'observateur et la posi-

Figure 9 : Extrait de la base de données *Cettia* sur la zone d'étude.



tion en coordonnées nationales *Lambert 93* ainsi qu'en WGS 84.

Dans le fichier *Excel* d'exportation des données, l'indice de rareté se trouve sous forme de lettre : CC et CCC pour les espèces très communes, AC pour les espèces assez communes, AR les espèces assez rares, R les espèces rares et enfin RR pour les espèces très rares.

Résultats

D'après la base de données *Cettia*, il n'y a pas eu d'observations autour du passage à faune, par manque d'observateurs à cet endroit. Dans la carte représentant les espèces de mammifères présentes autour du canal du Loing, nous notons la présence de grands et petits mammifères à Moret-sur-Loing et dans la plaine de Sorques, non loin du passage à faune. Ce sont donc des animaux susceptibles de passer le canal du Loing et d'emprunter le passage.

Résultat des caméras

Le système a fonctionné à partir du mois de juin, puisqu'il a fallu à peu près un mois pour régler correctement les appareils, trouver la meilleure position possible et les meilleurs paramètres pour limiter les trajets à une fois seulement par semaine. En moyenne, un appareil a pris entre sept et neuf cents clichés par semaine.

Les vidéos sont plus efficaces que les photos, qui souffrent d'un délai de déclenchement plus grand que les vidéos. On peut, en outre, observer plus facilement le comportement des animaux par vidéo. Cependant, la prise de vidéos consomme beaucoup de piles, qu'il fallait changer à peu près toutes les deux à trois semaines. Il a donc été décidé, pour la fin du processus, de ne laisser qu'un seul appareil en mode vidéo.

Quelques animaux ont pu être observés sur une période de quatre à cinq mois, mais ils ne traversaient pas le canal. Le passage à faune reste très fonctionnel pour les bernaches, en particulier les petits qui ne volent pas. Ils se servent des plans inclinés en béton pour s'extraire de l'eau. On a pu également observer des cygnes et un cormoran chassant dans le canal. Un héron a été vu régulièrement au bord du canal. Cette espèce est protégée en France mais reste une espèce commune.

Un chevreuil a pu être aussi observé, côté rive droite, après fauchage. Ce chevreuil était à la recherche de nourriture et venait probablement des bois privés qui se trouvent de l'autre côté de la départementale 40. Il a été observé en pleine journée vers 14 h. L'été ayant été très chaud, beaucoup de chiens ont utilisé le passage à faune pour se rafraîchir et jouer dans le canal. Les maîtres profitaient de la barrière pour observer leurs animaux.

Tout ceci prouve l'existence d'une présence animale sur le canal, mais les grands mammifères, comme les chevreuils, n'utilisent pas le passage à faune.

Analyse des résultats

Les indices

N'ayant pas observé beaucoup d'animaux, des indices sur le terrain ont été recherchés (poils, empreintes, coulées…). Avec des bénévoles de l'ANVL, le Sud de la forêt de Fontainebleau a été parcouru jusqu'au bord du canal et de la plaine de Sorques. Nous nous sommes ainsi assurés de la présence de sangliers, principalement, mais aussi de chevreuils. Les empreintes de sanglier sont visibles jusqu'au bord du Loing. Des traces de sabots ont été repérées sur une plage qui borde le Loing, mais pas de l'autre côté de la rive. Des excréments de renard ainsi qu'une empreinte de sanglier sur le chemin traversant la prairie de Najou du Nord au Sud ont été aussi trouvés.

Les raisons

N'ayant réussi à observer aucun animal traversant le canal pour prouver l'efficacité du passage à faune, plusieurs questions se sont posées : pour quelle raison ils ne passent pas le canal ?

Figure 10 : Un sanglier sur le chemin de halage en pleine journée.

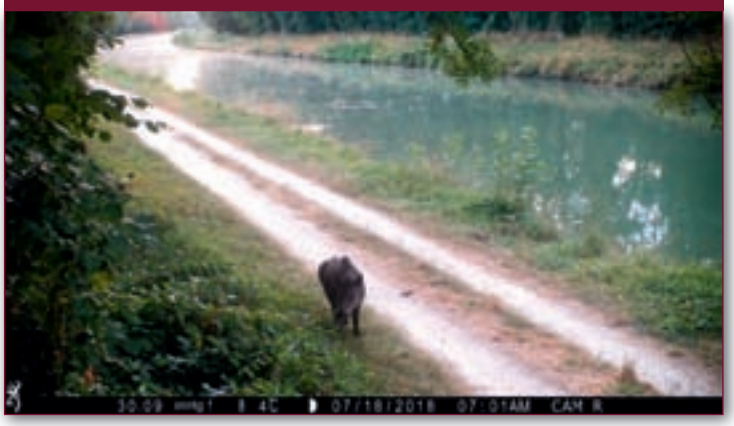


Figure 11 : Indice de présence animale sur le site.

Est-ce qu'il y a un autre endroit où ils pourraient passer ? À quel moment de l'année seraient-ils plus susceptibles de passer ?

Une étude a donc été menée pour savoir où les animaux pouvaient traverser le canal en déplaçant une caméra. Par manque de moyens, une des caméras déjà positionnée a dû être réutilisée. La caméra située auparavant sur la rive droite a été montée rive gauche à la hauteur d'un ancien passage. Des coulées assez fréquentées qui peuvent provenir aussi bien d'animaux que d'humains ont été repérées auprès de cet ancien passage. Étant donné que la terre était très sèche, aucun indice n'a pu être observé autour de ce passage.

Cet endroit n'a pas de barrière, les humains y laissent moins d'odeur. Cet ancien passage est aussi situé entre la prairie cultivée et un petit espace boisé où les animaux peuvent facilement se cacher.

La caméra a été positionnée de sorte à voir la sortie des coulées et de l'ancien plan incliné béton accolé au bord du canal. Un sanglier a pu être observé, dix jours après la pose de la caméra. Mais celui-ci était à la recherche de nourriture, il ne voulait aucunement traverser le canal. Deux autres sangliers ont été vus depuis la même caméra. Aucun autre animal n'a traversé ou ne s'est aventuré près du canal.

La saison de l'été est-elle moins propice aux éventuels passages d'animaux, en raison de la fréquentation accrue d'hommes et de chiens ? Pour essayer de répondre à cette question, le nombre de personnes passant devant le nouveau dispositif a donc été comptabilisé manuellement, avec l'aide de la caméra située rive gauche. Environ cent trente personnes par jour ont été dénombrées, un chiffre qui augmente, voire double les samedis et dimanches. Les pics observés correspondent aux week-ends, sauf en août où l'on constate une fréquentation en pic même les jours de la semaine. Beaucoup de personnes prennent leurs vacances en août ce qui explique la fréquentation en semaine du canal. Ce chemin est emprunté par beaucoup d'habitués venant régulièrement se promener en vélo, à pied ou pratiquer un sport.

Beaucoup de personnes se servent de la barrière pour s'étirer, poser leur vélo ou se reposer quelques instants en observant leurs chiens dans l'eau. En outre, vingt-quatre motocross ont été vus roulant sur le chemin de halage le 29 mai, en dépit de l'interdiction des véhicules à moteur.

Les débroussaillages le long du chemin de halage ont permis de constater que le passage à faune rive gauche est très bien entretenu. Cependant, le passage situé rive droite est envahi par de grandes bardanes. Après avoir procédé à un fauchage à la main au niveau de ce passage, une demande a été envoyée à VNF pour faucher un chemin tout au long du canal. Ce chemin permettra à la faune de longer le canal et non la route pour aller vers les bois privés.

Plusieurs obstacles pourraient empêcher les animaux d'atteindre le canal et de le traverser. Tout d'abord, de nombreuses clôtures barbelées ont été repérées rive gauche du Loing, comme vu précédemment, puis le Loing en lui-même à cause de son fort courant. Après ces obstacles, ils sont confrontés à un chemin de halage très fréquenté par les humains. Il faut donc une raison précise pour que les animaux traversent le canal comme, par exemple, la chasse, le brame, la recherche de territoire ou même la recherche de nourriture.

En ce qui concerne la rive droite du canal, on y trouve une départementale visible empruntée régulièrement par les automobilistes, puis, juste derrière, des habitations qui sont visibles du côté d'Écuelles, ainsi que des clôtures barbelées. Les animaux sont contraints soit de passer les clôtures soit de longer la route sur plusieurs mètres en direction

Figure 12 : Obstacles potentiels au déplacement des animaux.

d'Épisy pour accéder au seul endroit sans clôtures qui mène à des bois privés et des cultures.

La carte représentant les différents modes de déplacements de la ville, jointe au PLU (Annexe 15, page 32), montre l'actuel chemin de halage le long du canal du Loing, qui sera amélioré, avant qu'un second chemin ne soit créé parallèlement à celui existant de l'autre côté de la rivière.

Une affiche pédagogique a été fixée sur le passage à faune, car beaucoup de personnes ont demandé à quoi pouvaient servir ces passages. Avec l'aide d'une graphiste présente à l'ASPAS, nous avons réalisé cette affiche au format A3 (Annexe 14). Cela va permettre de sensibiliser les gens passant sur le chemin de halage à la faune et à l'importance de construire ces dispositifs. Elle indique ce qu'est un passage à faune, l'intérêt de ceux-ci, des chiffres clés et une petite description du canal du Loing avec les passages déjà présents depuis trente ans.

La prairie de Najou

La prairie de Najou se divise en cinq zones : trois grandes zones cultivées en blé et deux autres laissées en friche, comme le montre l'image satellite (Figure 40). Au fil des mois, l'évolution de ces parcelles a pu être observée, un

Figure 13 : Affiche apposée sur le passage à faune.

seul agriculteur s'occupant des parcelles cultivées en blé.

Le PLU de la commune de Moret-Loing-et-Orvanne indique qu'une partie de la prairie de Najou se trouve en zone humide, mais aussi que la totalité de la prairie est en zone inconstructible d'après le Plan de Prévention des Risques naturels d'Inondation (PPRI). On y constate aussi qu'une zone *Natura 2000* joint la prairie de Najou et que les continuités écologiques à préserver sont plus précisément situées au niveau de la Plaine de Sorques. La prairie de Najou a été notifiée comme une parcelle agricole à préserver.

Le cadastre montre que la prairie est divisée en de nombreuses parcelles, ce qui complique beaucoup l'achat d'un terrain. En effet, il faudrait contacter tous les propriétaires et négocier avec chacun d'eux, mais si un, ou plusieurs, propriétaire(s) ne souhaite(nt) pas vendre, cela créera des parcelles fermées et enclavées. Il faut aussi tenir compte de la préemption possible de la Société d'Aménagement Foncier et d'Établissement Rural (SAFER).

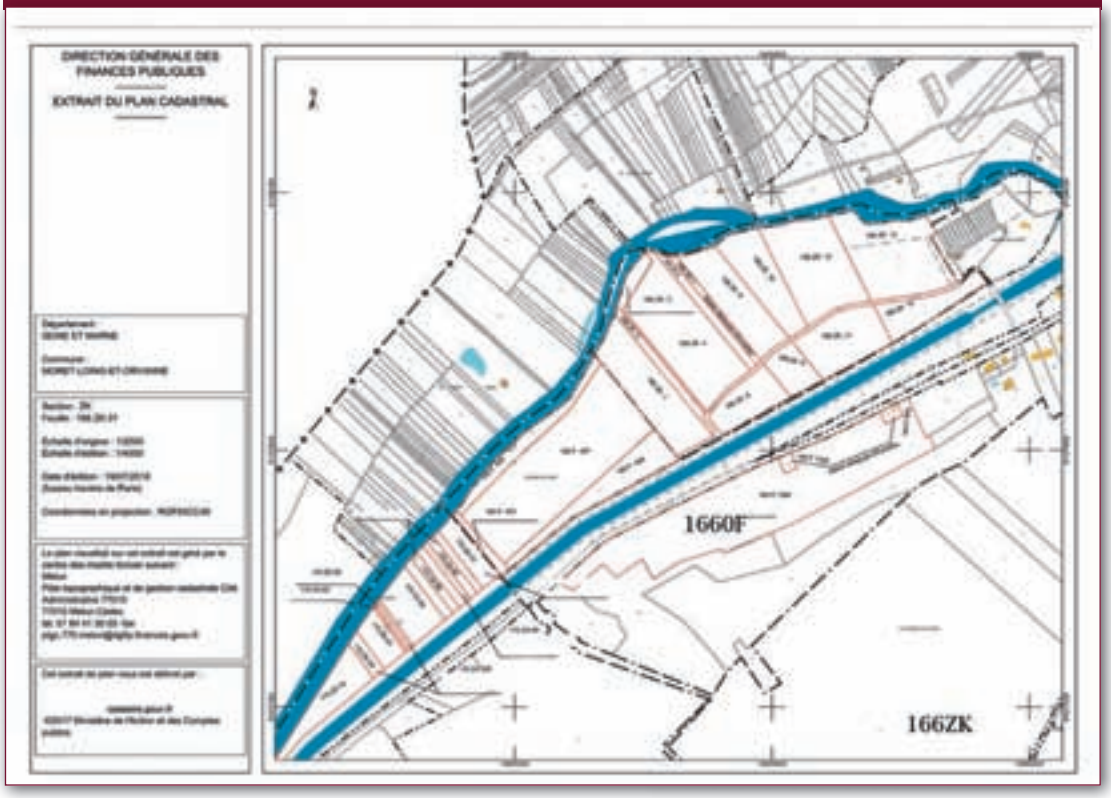
Conclusion

Ce passage a été construit à cet endroit suite au rapport de Vincent Vignon, qui montre le déplacement des cerfs dans le massif de Fontainebleau, mais aussi à l'évaluation du taux de mortalité sur tous les canaux du Loiret. Il n'y a pas eu d'études ciblées sur le canal du Loing.

Une étude préalable aurait permis de savoir où et quand les animaux passent sur le canal du Loing de manière plus précise, et de construire le passage à un endroit plus fréquenté que le lieu actuel. N'ayant pas pu observer de passages d'animaux, en particulier de mammifères, traversant le nouveau dispositif, la fonctionnalité du passage reste hypothétique. La période d'observation n'a peut-être pas été la meilleure pour évaluer celle-ci.

Il faudrait poursuivre l'étude en hiver, où la chasse bat son plein. Pendant cette période, il y a probablement plus de chances de voir des animaux traverser car le chemin de halage sera moins fréquenté par les passants. Avril-mai est une autre période potentiellement intéressante, car elle correspond à une période où les cerfs recherchent de la nourriture et pour les chevreuils, un territoire. □

Figure 14 : Cadastre de la prairie de Najou. Les noms des propriétaires privés ont été biffés.



Contrôle qualité des cartes de l'*Agro Pontino* avant bonification

La morphologie de l'*Agro Pontino* (zone palustre au sud de Rome) a très largement changé durant la période fasciste, où l'État a procédé à la bonification des tourbières, à des curages et des remblaiements. La reconstitution des paysages anciens est donc très difficile. Cependant, les cartes de 1930 dressées par l'IGM rendent compte de l'état des lieux primitif, à ceci près que leur système de projection est inconnu. Cet article explique la procédure utilisée pour géoréférencer ces documents cruciaux, grâce au levé de points immédiatement identifiables sur les cartes et sur le terrain.

Valerio Baiocchi (DICEA, Université La Sapienza, Rome. valerio.baiocchi@uniroma1.it)
Jan Sevink (Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics, Université d'Amsterdam. j.sevink@uva.nl)
Luca Alessandri, Wouter van Gorp, Martijn van Leusen (Groningen Institute of Archaeology, Université de Groningen. l.alessandri@gmail.com, wouter.vangorp@gmail.com, p.m.van.leusen@rug.nl)
Francesca Giannone (Faculté d'ingénierie, Université Cusano, Rome. francesca.giannone@unicusano.it)

Le lac de Fogliano. Crédits : Wikipedia/A. Antonietti.

La bonification par le régime fasciste de l'*Agro Pontino* [1-3], une zone côtière marécageuse d'environ sept cent cinquante kilomètres carrés, autrefois peuplée de moustiques porteurs du paludisme, située à environ cinquante kilomètres au sud de Rome (figure 1), peut être considérée comme la plus importante de tous les aménagements hydrauliques jamais conduits en Italie.

Les bouleversements consécutifs à cette opération sont considérables : changement dans les sols, construction de villes nouvelles (Latina), de routes, plantation d'arbres… L'archéologie en souffre profondément, puisque toute interprétation du paysage doit impérativement tenir compte de la morphologie primitive, mais celle-ci est peu, voire pas connue. Des centaines de milliers de mètres cubes de terre ont été excavés, remblayés, ce qui rend les fouilles aléatoires.

L'un des changements les plus notables de la zone est la subsidence marquée (parfois plusieurs mètres) des tourbières, qui faisaient partie d'un complexe lacs-marais apparu pendant l'Holocène, sous l'effet de l'oxydation de la tourbe, de la maturation du sol et de la dépose des sédiments flottants due au drainage [4, 6]. Sur les plages, plus anciennes et plus stables, cette subsidence ne se manifeste presque pas, comme l'indique l'étude préliminaire de Van Gorp et Sevink [4]. S'y ajoutent les travaux gigantesques nécessités par la construction des villes, ainsi que l'érosion fluviale naturelle, contrebalancée par le dépôt de sédiments lors des crues.

La reconstitution d'une carte du paysage avant les opérations de bonification constituerait une première étape sur laquelle appuyer une étude morphologique diachronique commençant à la fin de l'Âge du Bronze.

Intérêt des cartes pré-bonification

La bonification entreprise par le régime fasciste dans la première moitié du XX^{e} siècle a nécessité la mise à disposition d'une cartographie détaillée de la zone afin de planifier correctement les opérations de drainage et de modification des lieux. L'*Istituto Geographico Militare* (IGM) a donc produit dans les années 1930 des cartes aux 1::5 000 extrêmement précises et détaillées, pour le compte du *Consorzio della Bonifica di Piscinara* et du *Consorzio della Bonificazione Pontina* (figure 1). Ces cartes sont stockées aux archives provinciales de la ville de Latina, ainsi qu'aux sièges des deux consortiums.

La zone près de Mesa donne un bon exemple de la façon dont les changements paysagers peuvent s'étudier grâce à l'utilisation conjointe des cartes anciennes et d'un relevé LiDAR récent. Au Nord de la ville, des dépôts appartenant à la formation Borgo-Ermada, datés du Pléistocène et non susceptibles de subsidence, se trouvent à faible profondeur, excepté pour une dépression orientée plus ou moins Nord-Sud, qui se voit particulièrement bien dans les levés LiDAR. Cette dépression est remplie par des argiles peu matures de l'Holocène et, dans une moindre mesure, par des tourbières installées au-dessus de ces argiles. Comme le montrent les systèmes de drainage et les ruines romaines (voire antérieures), durant l'Antiquité cette zone était essentiellement plate avec une très légère pente au Nord vers lequel les canaux de l'époque se dirigeaient. La forte dépression actuelle n'est presque pas visible sur les cartes du début

Figure 1 : Situation de la zone d'étude et emprise des différentes planches de l'atlas réalisé en 1930 par l'IGM. Crédits cartographiques : Google, Data SIO, NOAA, US Navy, NGA, GEBCO.

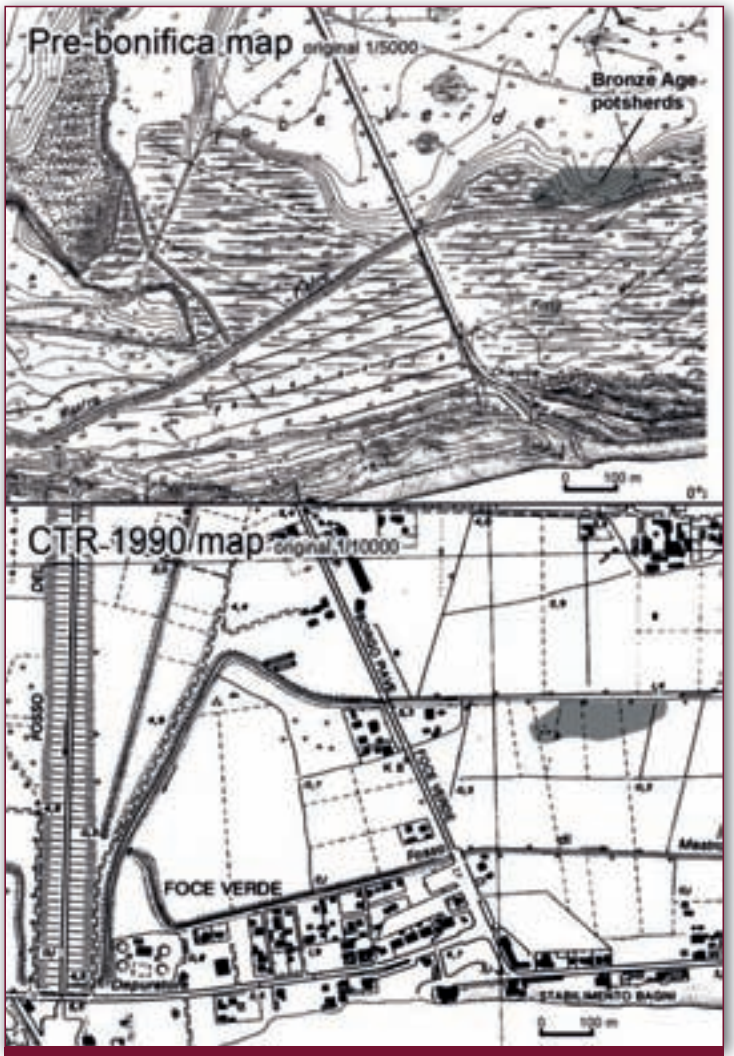


Figure 2 : Comparaison entre la carte d'époque (en haut) et la carte actuelle (en bas). La zone grisée correspond à un campement datant de l'Âge du Bronze. La carte actuelle ne permet pas d'expliquer l'emplacement de ce campement, alors que la carte de 1930 montre qu'il est en fait situé au bord d'un ancien lagon.

du XX^{e} siècle, alors qu'elle saute aux yeux à l'examen des nuages de points LiDAR. Ceci est clairement lié à une subsidence liée aux travaux de bonification sur des argiles holocènes peu matures, qui a totalement modifié la topographie de la zone.

Les campements de l'Âge du Bronze retrouvés le long de la rive courant de *Torre Astura* à *Monte Circeo* sont également intéressants [5]. Dans cette zone, à peu près tous les marais-lagons ont été asséchés et ont donc disparu des cartes. Seules les cartes anciennes nous montrent que les bords de ces anciens plans d'eau étaient densément peuplés (figure 2).

Matériel et méthode

De manière générale, le recours à la géomatique permet de réaliser une approche multi-échelle, partant de considérations régionales jusqu'au niveau le plus local [7-10]. Plus spécifiquement, la reconstitution des morphologies disparues peut s'appuyer sur les clichés aériens anciens pourvu que :

- Les photographies aériennes aient été prises à une échelle correcte. Il faut considérer qu'au minimum les cartes doivent être dressées à une échelle triple de celles des photographies ;

- Il faut avoir accès aux négatifs ou plaques originales pour respecter la précision optique des appareils utilisés ;

- Compenser les déformations requiert l'accès aux documents des certification des optiques de l'époque ;

- Des points d'amer doivent être facilement identifiables sur les photographies pour permettre un étalonnage photogrammétrique, qui permet de mitiger l'effet des points ci-dessus dans le cas où l'accès aux documents est impossible.

Une reconstitution rigoureuse nécessite que tous les points ci-dessus soient satisfaits. C'est la raison pour laquelle la plupart des travaux se basent sur de la cartographie historique et non de la photographie aérienne [11, 12]. Malheureusement, dans le cas présent, le système géodésique utilisé par l'IGM pour la rédaction des cartes n'a pas été enregistré.

Des études préliminaires [13] ont montré que le système de nivellement utilisé à l'époque diffère de celui utilisé actuellement parfois de plusieurs dizaines de centimètres. Ces estimations dérivent de la comparaison des quelques points cotés facilement reconnaissables n'ayant pas subi de modification durant les travaux de bonification. Sur ces cartes, seul le méridien origine est tracé (figure 4). Habituellement, les cartes dressées par l'IGM avant 1940 adoptent pour origine différentes orientation de l'ellip-

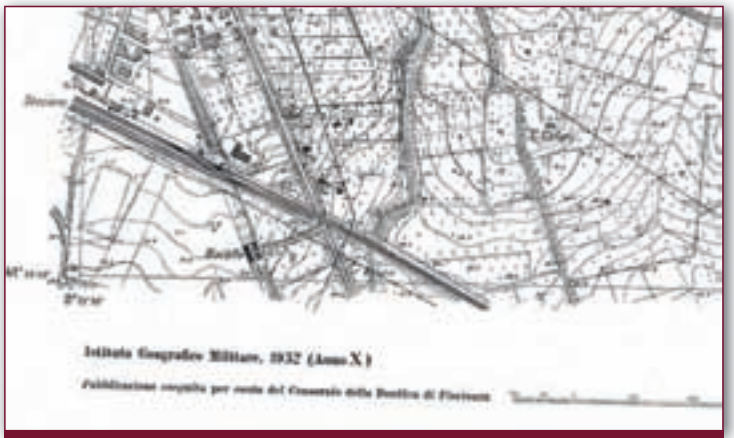


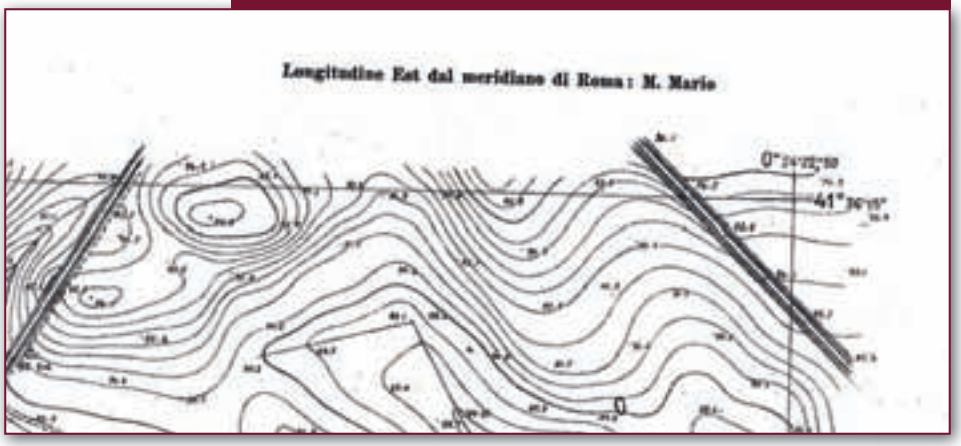
Figure 3 : Exemple de cartographie IGM 1930 au 1::5 000.

soïde de Bessel [14-17]. Une étude de cartes au 1::5 000 de Rome, similaires à celles-ci, a montré qu'elles étaient dressées sur l'ellipsoïde de Bessel avec une orientation locale relative au *Monte Mario* [18].

Les modifications extensives subies par la zone, doublée du manque de structures artificielles pré-existantes rendent l'estimation des paramètres de la projection très difficile à deviner. La procédure habituelle de géoréférencement, qui nécessite l'identification simultanée de points de contrôle sur le terrain présent et sur les documents anciens, s'est révélée hautement délicate. Pour cette raison, nous avons décidé d'estimer les paramètres de transformation en utilisant les quelques planches qui représentent des éléments aisément reconnaissables, puis de propager les paramètres en utilisant les croix de la grille communes à plusieurs cartes.

La précision des points de contrôle utilisés dans le calcul de la transformation doit être significativement meilleure que la précision de la carte qui, si l'on se base sur les standards italiens actuels, est à peu près métrique pour une échelle du 1::5 000. Les levés doivent donc être au moins décimétriques, ce qui implique l'utilisation d'une technique de type DGPS.

Figure 4 : Méridien origine sur une des planches de l'atlas.



Par hasard, cependant, lors de l'inspection des cartes en vue de recenser ces points de contrôle, nous avons identifié des repères géodésiques (triangles), dont nous avons pu retrouver les coordonnées en se référant aux documents d'époque édités par l'IGM [21]. Les autres points de contrôle ont été sélectionnés à partir d'orthophotographies aériennes ou satellite, et de la cartographie technique régionale (CTR) vecteur au 1::5 000. La précision métrique ne permet l'utilisation de ces points que pour le géoréférencement, mais ils peuvent servir pour une vérification *a posteriori*.

Deux jeux de points ont été choisis : les premiers, reconnaissables sur le terrain, et donc mesurables par stationnement, ont servi à la détermination des paramètres de la transformation Molodensky abrégée [23, 24] par ajustement aux moindres carrés.

$$\delta\phi = \frac{1}{\rho}\left[-\delta X \sin\phi\cos\lambda - \delta Y \sin\phi\sin\lambda + \delta Z\cos\phi + \left(f\,\delta a + a\,\delta f\right)\sin 2\phi\right]$$

$$\delta\lambda = \frac{1}{\nu\cos\phi}\left(-\delta X\sin\lambda + \delta Y\cos\lambda\right)$$

$$\delta h = \delta X\cos\phi\cos\lambda + \delta Y\cos\phi\sin\lambda + \delta Z\sin\phi - \delta a + \left(f\,\delta a + a\,\delta f\right)\sin^2\phi$$

La recherche de points sur les cartes papier qu'ils soient à la fois faciles à identifier, stables dans le temps et mesurables avec un équipement GNSS est complexe en raison de leur petit nombre et des changements intervenus dans les constructions tout au long des quatre-vingts dernières années (figure 6).

Le deuxième jeu de points servira au contrôle *a posteriori* de l'exactitude de paramètres tirés du premier jeu.

Actuellement, sur la base des quelques points effectivement

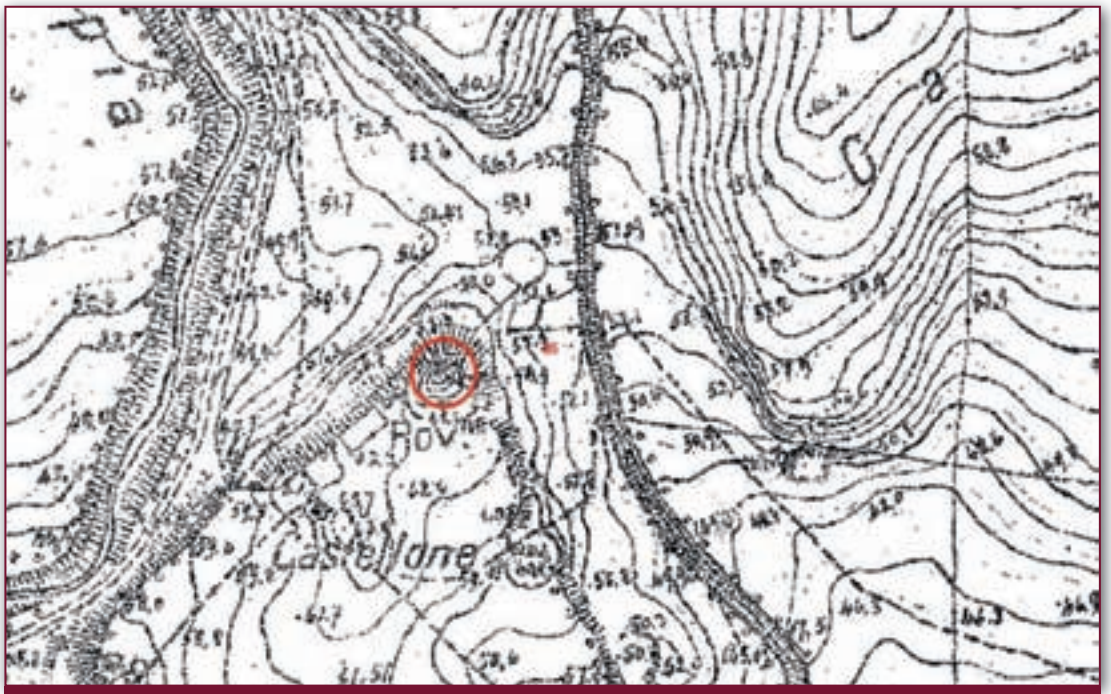


Figure 5 : Mise en évidence sur une carte d'époque d'un point de triangulation du réseau géodésique de l'IGM.

Figure 6 : Stationnement GNSS d'un point stable dans la ville de Sezze.

mesurés et de la cartographie vectorielle régionale, une estimation des paramètres de la transformation de Molodensky a été effectuée puis transformée en descripteur de type PROJ avant d'être intégrée comme système de projection dans *QGis* :

+proj=latlong
+ellps=Bessel2
+towgs84=+673.76, +150.76, +534.88, +4.049, -1.374, -3.164, -25.29

Les premiers résultats sont encourageants, mais la précision reste insuffisante, avec des déviations constatées avoisinant les sept mètres à certains endroits.

Difficile de dire si cette imprécision est due à des erreurs dans la cartographie de l'époque (un phénomène déjà constaté par ailleurs [17]) ou bien à un nombre de points de géoréférencement insuffisant. Des campagnes de mesure sont actuellement en cours pour améliorer les résultats, et tenter de comprendre l'origine des erreurs. Ces levés GNSS sont effectués avec du matériel bi-bande (L1, L2) différentiel *Topcon Legacy/E*. Les mesures sont rapportées au réseau RTK du Latium, incorporé dans le Réseau Dynamique National (RDN 2008), matérialisation de l'ETRF 2000 pour 2008, lui-même réalisation du réseau européen ETRS 89 [25]. La projection cartographique associée est l'UTM 33 fuseau nord, ce qui donne un code EPSG égal à 6708 [26]. □

Erreur	Est [m]	Nord [m]
σ	2 977	2 592
max	5 740	520
min	- 4 947	- 7 570

Bibliographie

[1] M. Martone : *The territorial transformations of the Pontine area in the 20th century. The historical recognition of places in iconography between the nineteenth and twentieth centuries: some examples (Le trasformazioni territoriali dell'area pontina nel XX secolo. La riconoscibilità storica dei luoghi nella iconografia tra Ottocento e Novecento: alcuni esempi). Eikonocity* 1, 133-145, 2016. https://doi.org/10.6092/2499-1422/3751D.

[2] V. Barsanti : *Reclamations in Central Italy in the Modern and Contemporary Ages: Historical Profile and Research Perspectives (Le bonifiche nell'Italia Centrale in età moderna e contemporanea: profilo storico e prospettive di ricerca). Rivista di Storia dell'Agricoltura*, Vol. 2, 67-104, 1987.

[3] L. Ebanista : *Agro Pontino, storia di un territorio.* Società romana di storia patria, Rome. 2016.

[4] W. van Gorp, J. Sevink : *Distal deposits of the Avellino eruption as a marker for the detailed reconstruction of the Early Bronze Age depositional environment in the Agro Pontino and Fondi Basin (Lazio, Italy). Quat. Int.*, 2018. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.03.017.

[5] L. Alessandri : *Latium Vetus in the Bronze Age and Early Iron Age / Il Latium Vetus Nell'età Del Bronzo e Nella Prima Età Del Ferro. British Archaeological Reports* 2565, Oxford, 2013.

[6] L. Serva, F. Brunamonte : *Subsidence in the Pontina Plain, Italy. Bull. Eng. Geol. Env.* 66, 125-134, 2007.

[7] D. Costantino, M. G. Angelini, G. Caprino : *Laser scanner survey of an archaeological site – Scala di furno (Lecce, Italy). International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* – ISPRS Archives 38 (part 5), pp. 178-183, 2010.

[8] G. Bitelli, C. Balletti, R. Brumana, L. Barazzetti, M. G. D'urso, F. Rinaudo, G. Tucci : *Metric documentation of cultural heritage: Research directions from the Italian gamher project. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives* 42 (2W5), pp. 83-90, 2017. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-83-2017F.

[9] Settembrini, M. G. Angelini, D. Costantino : *Virtual museum, the exploration of cultural heritage with virtual reality techniques. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 10851 LNCS, pp. 392-400, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-95282-6_29.

[10] F. Radicioni, P. Matracchi, R. Brigante, A. Stoppini, G. Tosi : *The tempo della consolazione in Todi: integrated geomatic techniques for a monument description including structural damage evolution in time. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* – ISPRS Archives 42 (5W1), pp. 433-440, 2017. DOI: 10.5194/isprs-Archives-XLII-5-W1-433-2017.

[11] V. Baiocchi, K. Lelo : *Assessing the accuracy of historical maps of cities: Methods and problems. Città e Storia* 9 (1), pp. 61-89, 2014.

[12] A. Zlinszky, G. Timár : *Historic maps as a data source for socio-hydrology: a case study of the Lake Balaton wetland system. Hungary Hydrology and Earth System Sciences* 17 (11), pp. 4589-4606, 2013.

[13] C. Alimonti, V. Baiocchi, G. Bonanotte, G. Molnar : *Measuring and leveling roman aqueducts to estimate their flows. 2018 IEEE International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage*, Cassino University Campus, Italy, 2018.

[14] M. Barbarella : *Digital technology and geodetic infrastructures in Italian cartography. Citta e Storia* 9 (1), pp. 91-110, 2014.

[15] L. Surace : *La georeferenziazione delle informazioni territoriali. Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, vol. LVII, no. 2, pp. 181-234, 1998.

[16] A. Mori : *La Cartografia Ufficiale in Italia e l'Istituto Geografico Militare – Nel Cinquantenario dell'Istituto Geografico Militare (1872-1922). Istituto Geografico Militare,* p. 425, *Stabilimento Poligrafico per l'Amministrazione della Guerra*. Rome, 1922.

[17] A. Loperfido : *Survey for the Topographical Plan of Rome*. Alfani e Venturi, Florence, 1908.

[18] V. Baiocchi, K. Lelo : *Accuracy of 1908 high to medium scale cartography of Rome and its surroundings and related georeferencing problems. Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica* 45 (1), pp. 97-104, 2010. DOI: 10.1556/AGeod.45.2010.1.14.

[19] R. Baglioni, V. Baiocchi, D. Dominici, M. V. Milone, M. Mormile : *Historic cartography of L'Aquila city as a support to the study of earthquake damaged buildings. Geographia Technica* (1), pp. 1-9, 2013.

[20] G. Pulighe, V. Baiocchi, F. Lupia : *Horizontal accuracy assessment of very high resolution Google Earth images in the city of Rome, Italy. International Journal of Digital Earth,* Volume 9, Issue 4, 2 avril 2016, pp. 342-362. DOI: 10.1080/17538947.2015.1031716.

[21] IGM : *Geodetic Elements of the Known Points of Sheets 158, 159, 170 (Latina, Frosinone, Terracina) of the Map of Italy* (in Italian). Alfani e Venturi, Florence.

[22] Regione Lazio : http://dati.lazio.it/catalog/dataset/carta-tecnica-regionale-2002-2003-5k-latina, 2018.

[23] R. E. Deakin : *The standard and abridged Molodensky coordinate transformation formulae*. http://www.mygeodesy.id.au/documents/Molodensky%20V2.pdf, 2004.

[24] M. Hooijberg : *Practical Geodesy Using Computers*. Elsevier, première édition 1997. DOI:10.1007/978-3-642-60584-0.

[25] Regione Lazio : http://62.149.194.137/SpiderWeb/frmIndex.aspx, 2018.

[26] EPSG : https://epsg.io/6708, 2018.

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

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

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

Mon abonnement comprend : 6 numéros + 10 eNewletters

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

Prénom ..... Nom ..... Fonction .....

Société .....

N° TVA intracommunautaire .....

Adresse .....

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

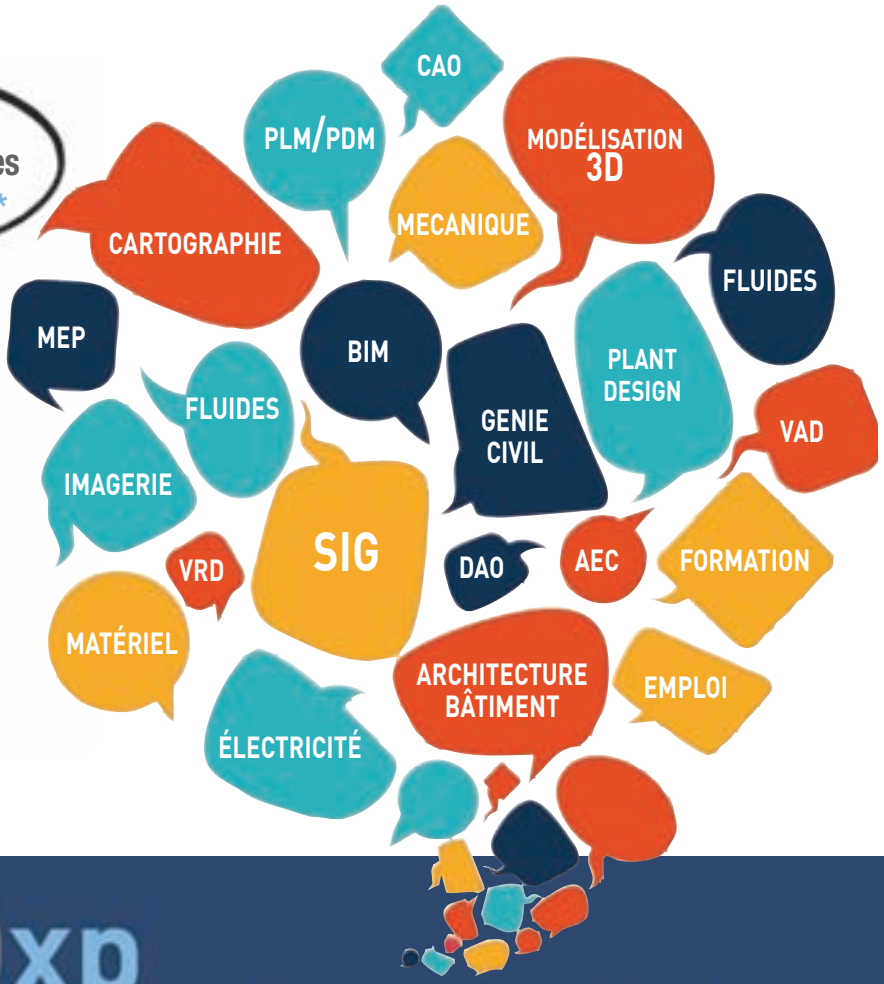
Tél. ..... eMail (pour recevoir les newsletter) .....

L'abonnement ne sera pris en compte qu'accompagné de son règlement. ☐ Je souhaite recevoir une facture acquittée.
À renvoyer sous enveloppe affranchie au tarif en vigueur à : **Géomatique Expert** Service Abonnements
12, place G. Pompidou • 93167 Noisy-le-Grand cedex • Tél. : 01 45 92 98 98 - Fax : 01 49 32 10 74

Géocliché

Le critère Hiawatha, dans le Nord-Ouest du Groenland, est l'un des plus larges cratères d'impact connus (profond de 300 m, plus de 30 km de diamètre). Il a été identifié l'an dernier grâce à une batterie d'instruments et d'algorithmes capables de reconstituer le MNT sub-glaciaire.

Images NASA.



CADxp
CAO et nouvelles technologies

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

www.CADxp.com

Vendredi 8 Février 2019
Palais des congrès d'Issy les Moulineaux

GÉOMÈTRES-EXPERTS : CULTIVONS NOTRE EXPERTISE

Les Rencontres Nationales de l'unge
8 février 2019 - ISSY-LES-MOULINEAUX

- design - djéko -

Inscriptions ouvertes

Géomètres-Experts, nous vous attendons nombreux !

unge Union Nationale des Géomètres-Experts

Retrouvez-nous aussi sur unge.net

ENGAGEMENT DE SERVICE QUALI'OP REF. 166 AFNOR CERTIFICATION www.afnor.org