

17_FORÊTS

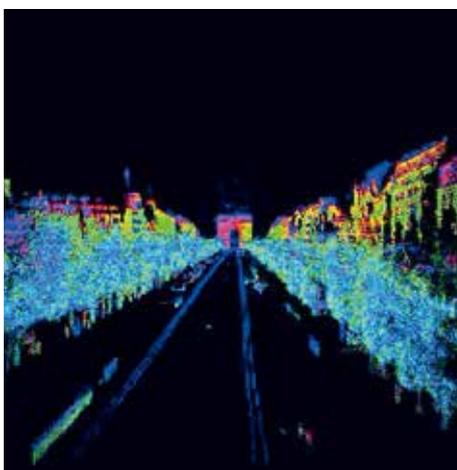
IFN : de l'estimation
d'une ressource, au suivi en continu
des écosystèmes forestiers

27_ÉCLAIRAGE

De la photothèque
à Time Machine

30_PORTRAIT

Jean-Christophe Rufin



80 ans d'innovations





04

04_ L'essentiel

- _ À la recherche de la borne perdue
- _ Aides aux futurs géographes confinés
- _ L'intelligence collective, nouvelle frontière
- _ Les géodatas contre le Covid-19?
- _ Une nouvelle carte pour les transports exceptionnels



08



17

08_ Le dossier

- _ 80 ans pour découvrir la Terre et ses mystères

16_ Décryptage

- _ Comment détermine-t-on un point astronomique?

17_ Forêts

- _ Inventaire forestier national : de l'estimation d'une ressource au suivi en continu des écosystèmes forestiers



22

22_ Outils & Données

- _ Du stéréotopographe à iTowns : voir le monde en trois dimensions

24_ Enseignement & Innovation

- _ Formation : ENSG, passion « géo »

27_ Éclairage

- _ De la photothèque à Time Machine



27

30_ Portrait

- _ Jean-Christophe Rufin

ign
MAGAZINE

Trimestriel de l'Institut national de l'information géographique et forestière - 73, Avenue de Paris, 94160 Saint-Mandé.
Tél. : 01 43 98 80 00. ISSN : 1624-9305 **Directeur de la publication** Sylvain Latarget **Directrice de la rédaction** Dominique Jeandot
Rédacteur en chef Eric Bonneau **Comité de rédaction** F. Cantat, K. Courtès, A. Defossez, F. Fuchs, D. Moisset, M. Morand, D. Pelbarg
Ont participé à la rédaction A. Brillu, L. Champalle, O. Constant, D. Fidel, B. Jaulin, D. Peyronel, G. Tixier. **Illustration** Matthieu Appriou **Conception éditoriale et graphique** Citizen Press **Couverture** IGN, Charline Mola INRA-Silva, Guillaume Le Berre. **Crédits photos** IGN, iStock, Terra
Impression IGN **Dépôt légal** Été 2020

Abonnez-vous gratuitement en contactant notre service client : service.client@ign.fr



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

SUIVEZ-NOUS SUR
LES RÉSEAUX SOCIAUX

f
facebook.com/ignfr/

t
twitter.com/ignfr/

in
linkedin.com/company/ignfrance/

ig
instagram.com/ign_france/



Sylvain Fleury

Chercheur en ergonomie cognitive à l'École nationale supérieure d'arts et métiers,
chef de projet de la chaire Time to Concept

Qu'est-ce qu'une innovation?

Une innovation est, par définition, une réponse nouvelle à un besoin. Avoir des idées, inventer quelque chose de nouveau est une chose, innover en est une autre. Une invention n'est une innovation que si elle « trouve son public ». Une des clés principales de l'innovation est donc l'étude des usages par une approche de conception centrée utilisateur pour favoriser l'adoption des inventions développées.

De nombreuses inventions ne deviennent jamais des innovations, du loufoque agitateur de drapeau aux Google Glasses, si les besoins et la praticité du produit ne sont pas suffisamment ciblés, c'est la disparition. D'autres, souvent parce que le besoin est mieux identifié et parce qu'elles sont plus « utilisables », vont être adoptées par un public et devenir des innovations, comme le four à micro-ondes ou l'appareil photo numérique.

Depuis l'avènement de la psychologie, il y a un peu plus d'un siècle, des courants scientifiques en ergonomie et sciences cognitives ont récemment émergé. Ces équipes de recherches centrées sur les usages des nouvelles technologies sont aujourd'hui capables d'évaluer avec précision les conséquences des différents formats de présentation de l'information sur la charge mentale des utilisateurs.

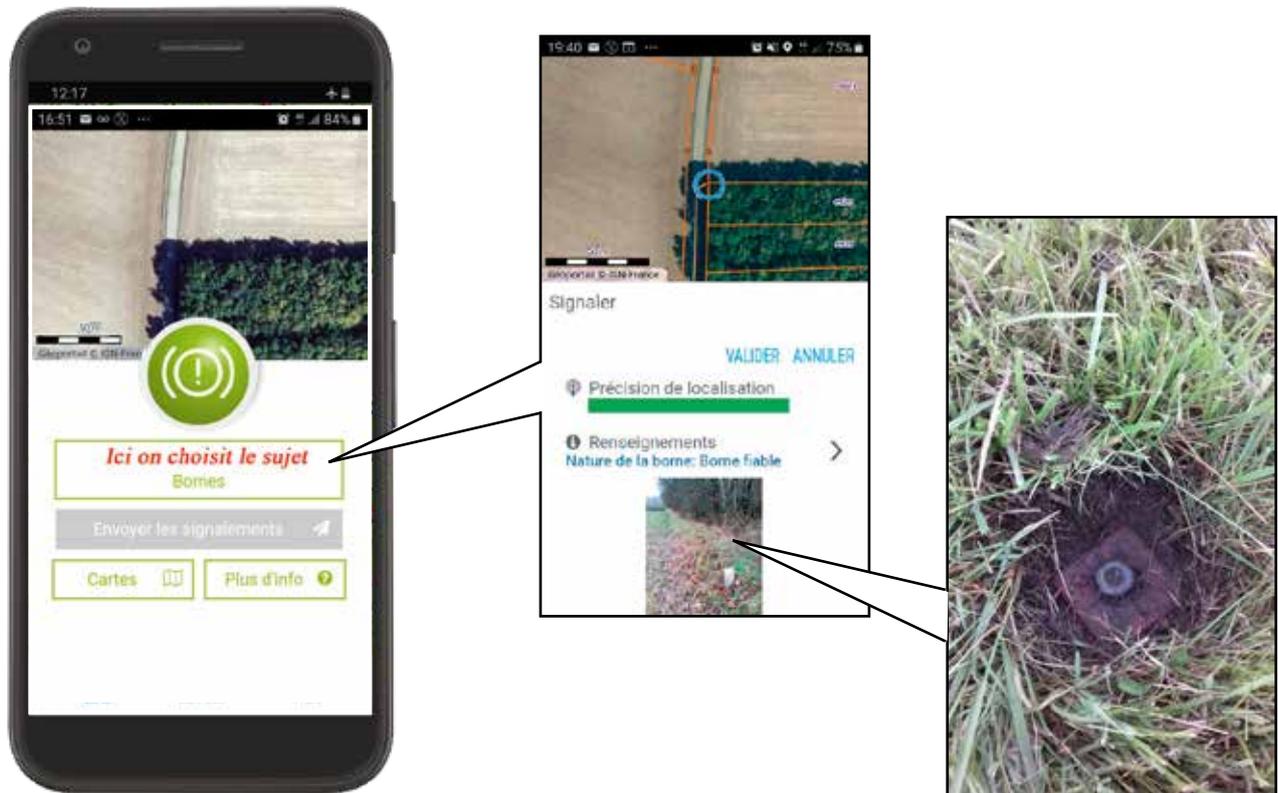
Certaines avancées technologiques sont tellement majeures qu'elles vont avoir un impact transversal, générant des innovations dans de nombreux domaines d'activité différents. Par exemple, le développement de l'informatique a généré des innovations dans la santé, l'éducation, la production industrielle, le divertissement, les médias et bien d'autres secteurs. C'est aussi le cas d'Internet, des drones, des satellites ou encore de l'intelligence artificielle.

« Favoriser
l'adoption des
inventions
développées. »

Les cartes papier, qui sont bien longtemps restées le principal outil pour s'orienter, ont été remplacées par des cartes interactives avec les GPS. Cette innovation, facilitant dans beaucoup de cas la navigation, a quasiment rendu les cartes papier obsolètes comme aides au déplacement, devenant un objet plus événementiel, mémoriel. Les GPS fonctionnant sur un appareil dédié sont eux-mêmes en train de devenir de plus en plus

rare du fait qu'une part grandissante de la population est dotée d'un smartphone avec une application GPS intégrée par défaut. Les usages des cartes évoluent très rapidement. Il serait naïf de croire que le GPS sur smartphone est l'aboutissement de cette évolution. Le développement intensif de la réalité augmentée et les débuts d'annonces concernant de futures lunettes connectées permettent d'imaginer assez facilement quelle sera la révolution suivante dans ce domaine. Finalement, la dernière contrainte avec le smartphone est de devoir faire des allers et retours visuels entre la carte et l'environnement pour se repérer si l'information sonore ne suffit pas. Avec la réalité augmentée, les informations de guidage seront directement incrustées dans l'environnement, évitant ce dernier effort visuel et mental pour la navigation.

Ce numéro d'*IGN Magazine* apporte un éclairage intéressant sur les nombreuses innovations qui ont vu le jour depuis l'origine de l'institut. Toutes ne sont pas directement issues d'une démarche de conception centrée utilisateur, mais toutes répondent à un besoin et ont contribué à leur manière au développement des techniques de mesure, d'acquisition de données, d'analyse ou encore de visualisation. ●



CET ÉTÉ, RANDONNEZ UTILE !

À la recherche de la borne perdue

Inventoriez les bornes de propriété avec votre smartphone pour obtenir ensuite leur position précise. Voilà la mission que vous confie l'IGN jusqu'à l'automne 2020 afin d'améliorer l'exactitude géographique du plan cadastral et le rendre cohérent avec les images aériennes de très grande précision. Les bornes matérialisent la limite de propriété. Ce sont des repères indispensables. Leurs positions constituent des points de calage importants pour améliorer l'exactitude géométrique du plan cadastral. Le dispositif est expérimenté en priorité dans les départements de l'Ain et du Morbihan. Avec l'application collaborative gratuite Aléa¹, randonneurs, agriculteurs, forestiers ou propriétaires terriens peuvent signaler les milliers de bornes repérées, certaines oubliées depuis des années.

Comment les reconnaître ? Souvent sous forme rectangulaire, en pierre, béton, métal ou plastique, les bornes se cachent aux limites des propriétés, aux bords des routes, dans les forêts et les champs. Il suffit de prendre en photo la borne avec l'appli Aléa, de valider, et le signalement est transmis à l'IGN. Ces trois clics sont une aide précieuse. Par la suite, un géomètre pourra relever très précisément la position de la borne, grâce à vous. Cet inventaire sera mis à disposition gratuitement pour tous. Une bonne idée de chasse aux trésors pour les randonnées estivales en famille. ●

1. Disponible sur Google Play et App Store.



Pour en savoir plus
<http://www.ign.fr/institut/actus/ensemble-localisons-bornes-cadastrales>

OUTILS ET JEUX EN LIGNE

Aides aux futurs géographes confinés

Le 17 mars, alors que les écoles ferment leurs portes, l'IGN vient en aide aux élèves confinés, avec un arsenal de cartes, jeux et outils pédagogiques disponibles en ligne pour réviser la géographie à la maison. Une nouvelle rubrique « Ressources pour l'éducation » a vu le jour sur la chaîne Youtube de l'Institut. Elle introduit aux secrets de la géographie : pourquoi la Terre est-elle ronde ? Comment utiliser une boussole en pleine nature ?

La cartographie, comment ça marche ? En parallèle, la cartothèque numérique Édugéo invite à fabriquer des cartes personnalisées et propose une vaste gamme de ressources : fonds de cartes à petite échelle, cartes de tourisme, photographies aériennes... Et pour les urbanistes en herbe, l'IGN a développé Minecraft® à la carte, dérivé du jeu qui a explosé les records avec 180 millions de ventes. Il est possible de télécharger gratuitement une carte 3D de 25 km² autour de chez soi, et maintenant dans le monde, composée des célèbres briques virtuelles. Pendant le week-end de Pâques, un millier de joueurs ont participé à une chasse aux œufs cubiques en ligne. Une façon ludique de se familiariser avec la géographie et de s'éveiller au monde même entre quatre murs. ●

 **Pour en savoir plus**
<http://education.ign.fr/>

LES CHIFFRES



162
agents IGN

environ travaillent à la création et la valorisation des connaissances, des compétences et de l'innovation.



Quelque

40

chercheurs et thésards exercent à l'IGN.



3 unités
de recherche à l'IGN

L'Unité mixte de recherche du Laboratoire en sciences et technologies de l'information géographique (LaSTIG), l'Unité mixte de recherche de l'Institut de physique du globe de Paris (IPGP) et le Laboratoire de l'inventaire forestier (LIF).

La boutique IGNrando **Luberon Mont Ventoux**

Centrée sur un site d'exception, intégré au réseau européen Natura 2000 pour harmoniser protection de la nature, activités humaines et valorisation du patrimoine naturel, cette carte TOP 75 rassemble en un seul produit : une carte générale pour découvrir cette région provençale à l'échelle du 1 : 75 000 et 5 extraits incontournables à l'échelle du 1 : 25 000, pour des randonnées d'exception.

Prix : 9,50€ TTC
Échelle 1 : 75 000 (1 cm = 750 m)

**Appli IGNrando'**

L'application mobile IGNrando', de la préparation au partage d'expériences en passant par le guidage sur le terrain, vous offre les plus belles randonnées à travers toute la France.

Nos abonnements :
IGNrando', 0,00 € / an
Cartes IGN Liberté : 16,99 € / an
Cartes IGN OACI : 19,99 € / an

**Poster plastifié monde politique**

Vous vous retrouvez fort dépourvus lorsque le printemps fut venu et que vous dûtes faire géographie à vos enfants confinés à la maison. Affichez-le sur vos murs maintenant !

Prix : 17,50 € TTC
Dimension en cm : 85,5 x 138



@EDUSCOL_HG
30 mai 2020

🌐 **Compétences cartographiques** et #continuitépédagogique : comment travailler à distance les compétences cartographiques avec #Édugéo d'@IGNFrance via #Éduthèque ?
Des scénarios @AcademieDijon @acnantes et @ac_normandie 
edutheque.fr/actualite/arti...



@FORESTOPIC
16 juin 2020

#Forêt. Recensement participatif des bornes cadastrales lancé par @IGNFrance
forestopic.com/fr/agenda/96-r...
Merci @pascalcharoy pour la photo!



@OUTSIDEFR
28 février 2020

C'est une première et une exclusivité pour Outside : l'IGN annonce la sortie de sa première carte du GR20. L'occasion de nous rendre au siège du temple de la cartographie française. Visite guidée pour tout savoir sur la fabrication des cartes.



ILS L'ONT DIT

Vous nous faites part de vos réflexions et questions sur les réseaux sociaux. Engageons la conversation!



@REVUESET
3 avril 2020

Confinement et aménagement du territoire : @IGNFrance vous propose de revisiter votre territoire dans le temps. Impressionnant et instructif 



EXTRAIT PRESSE
Juin 2020

FILM

Une balade bien corsée... « Les Randonneurs »
Drôle, tendre et toujours juste, la comédie de Philippe Harel, sortie en 1997, est à redécouvrir pour ses comédiens et pour l'île de Beauté. Cinq amis citadins entreprennent une randonnée sur le mythique GR20... et perdent vite le sourire : [...] C'est, un peu, ce qui est arrivé au réalisateur, lorsqu'il s'est rendu sur l'île de Beauté pour y faire des repérages. [...] De retour à Paris, il a remanié le scénario, écrit à partir des cartes topographiques de l'IGN.
Isabelle Magnier, Tél 7 jours, du 6 au 12 juin 2020



EXTRAIT PRESSE
Juin 2020

Le Limousin se fait mitrailler par l'IGN
Photos aériennes
L'Institut géographique national est en ce moment dans le ciel de notre région pour renouveler son fonds d'images aériennes. Des productions que nous sommes habitués à utiliser (et admirer) en quelques clics. Mais dont on ne soupçonne pas le travail qu'elles nécessitent.
Découverte.
Floris Bressy, La Montagne, 1^{er} juin 2020



EXTRAIT PRESSE
Mai 2020

L'histoire d'une photographie unique, la prise de vue aérienne de Bellême par Nadar
Cette photographie aérienne de la ville de Bellême, prise le 2 juillet 1886, se trouve être également le plus ancien document conservé aux archives sécurisées de l'Institut géographique national qui réalise les cartographies, à la photothèque de Saint-Mandé (Val-de-Marne).
Laurent Rebours, L'Orne Hebdo, du 20 au 26 mai 2020



© IGN

LAB IGN

L'intelligence collective, nouvelle frontière

La transformation de l'IGN franchit une nouvelle étape avec la création d'un laboratoire d'intelligence collective, le Lab IGN. Approuvé le 8 janvier, cet espace est désormais opérationnel pour une phase expérimentale de 12 mois. Le laboratoire vient compléter l'écosystème d'innovation de l'IGN. Tous les agents de l'institut peuvent y prendre part et contribuer grâce à une boîte à idées numérique. Les sujets abordés varient de la complémentarité des images satellitaires et aériennes au rôle de l'institut dans la lutte contre la perte de la biodiversité. Frédéric Cantat, initiateur du projet avec Raphaële Héno, explique : « *Le Lab IGN représente une nouvelle façon de collaborer, orientée vers l'échange, la créativité et le partage. L'objectif n'est pas de livrer des outils techniques, mais de favoriser les synergies internes à l'institut.* » Avec la participation d'une trentaine d'agents, le Lab est bien accueilli. Le confinement n'a pas arrêté les rencontres, les dernières ayant eu lieu à distance. Une solution qui sera maintenue jusqu'en septembre. L'intelligence collective est mise en culture. ●



HACKATHON

Les géodatas contre le Covid-19?

« Proposer des solutions et des outils contre la pandémie » était l'objectif du hackathon Hackcovid-19 organisé par Futurs Publics, le portail de la transformation de l'action publique entre le 10 et le 12 avril. Les équipes devaient proposer de nouvelles solutions pour combattre la pandémie et atténuer ses effets sur la société. L'équipe IGN, composée de 4 hackers et mentors, a mis à disposition des données, des géoservices, des outils collaboratifs de l'institut. Un important dispositif de relais sur les réseaux sociaux de l'IGN a été déployé. Les modalités de collaboration – à distance – n'ayant pas favorisé les habituels regroupements entre sujets voisins, près de 140 projets ont été menés en parallèle, allant de la gestion de ressources médicales aux aspects sociaux du confinement, de la détection de symptômes aux plateformes de solidarité entre commerçants. Le retour d'expérience sur les sujets traités et les données utilisées seront utiles lors d'une prochaine crise. ●

 Pour en savoir plus

<https://www.modernisation.gouv.fr/mots-cle/futurs-publics>

GÉOPORTAIL

Une nouvelle carte pour les transports exceptionnels

Prochainement, une nouvelle carte pour les convois exceptionnels sera en ligne sur le Géoportail. Ces transporteurs qui déplacent les pales des éoliennes, les pièces d'avion ou encore les tunneliers doivent demander une autorisation de circulation avant d'emprunter les routes. Aujourd'hui, cinq réseaux de transports exceptionnels existent. Ils sont classés en fonction du tonnage et gérés par plusieurs organismes publics : départements,

gestionnaires des réseaux ou encore le Cerema. Marie-Cécile Bosert, cheffe de projet maîtrise d'ouvrage à l'IGN, résume le rôle de l'IGN en trois points : la collecte des données pour constituer une base de données nationale unifiée des cinq réseaux de transports exceptionnels, la validation de ces données et la mise à jour du système. Cette carte est le résultat d'une convention signée en août dernier entre l'IGN et la Délégation à la sécurité routière (DSR). ●



© AdobeStock



« INNOVER POUR RÉUSSIR
L'IMPOSSIBLE »

Sylvain Latarget

Directeur général par intérim de l'IGN

L'IGN fête ses quatre-vingts ans. Un anniversaire qui s'inscrit dans quatre siècles de la riche histoire des ingénieurs géographes. Cet institut est l'héritier civil du Service géographique de l'armée (SGA), né en 1940, dans l'agonie de la III^e République, du coup d'audace du visionnaire général Hurault qui commandait le SGA. Visionnaires, les 15 directeurs généraux qui se sont succédé l'ont été, apportant chacun leurs idées d'innovation. Innover pour faire ce qui jusqu'alors avait été considéré comme impossible, par exemple cartographier le Sahara ou restituer les grottes de Lascaux sans y planter le moindre repère. Innover pour simplifier, réduire les délais de production, limiter les travaux de terrain en s'appuyant sur la photographie aérienne ou l'imagerie spatiale et intégrer les bénéfices des progrès en matière de positionnement par satellite, souvent complété par des centrales inertielles pour

la trajectographie. Innover parfois de façon imprévue, lorsque d'une union improbable en 2012 avec l'institut chargé de l'inventaire forestier national émergent des combinaisons innovantes donnant tout son sens à ce rapprochement. L'innovation de rupture par l'IGN avec l'aérotriangulation ou le développement des premières caméras numériques, qui accompagnent l'accélération fulgurante de l'informatique et du numérique depuis les années 1980. Le Géoportail inauguré en 2006 a mis la donnée géographique à portée de tous, précédant ainsi l'avènement de l'opendata. Cela n'est pas près de s'arrêter. Les défis des prochaines années ont déjà des noms : intelligence artificielle, lidar haute densité, 3D vraie, info-géo en temps réel, Géoplateforme, et un petit peu plus loin big data, réalité augmentée, 4D immersive, numérique frugal... Des défis qu'avec l'aide des enseignements et de la recherche de l'École nationale des sciences géographiques nous allons nous efforcer de relever en continuant d'innover. Nous pourrions compter aussi sur les utilisateurs de nos données et services qui, en gagnant en compétences sur nos métiers, deviennent des partenaires contributeurs. Il s'agit là d'une autre histoire, elle reste à écrire. En attendant, je vous invite à revisiter les quatre-vingts dernières années à travers quelques innovations choisies. ●



80 ans

pour découvrir
la Terre et
ses mystères

Cela fait quatre-vingts ans que les ingénieurs, topographes, géographes de l'IGN cherchent à comprendre les mystères de notre planète; la voir, la décrire, la représenter, la mesurer... Huit décennies au cours desquelles les innovations ont révolutionné leurs métiers et contribué à améliorer notre connaissance du monde. Retour, en images, sur quelques innovations qui ont marqué l'histoire de l'institut.



À la pointe de la photographie aérienne

Des caméras à tambours embarquées sur d'anciens bombardiers aux mini-appareils numériques pour drones, l'IGN a toujours été un pionnier de la photographie aérienne.



1. Le photographe entre les deux magasins qui abritent des plaques photographiques. Ces magasins pesaient une cinquantaine de kilos et le photographe les manipulait avec un treuil.

A

bord d'un B17, un photographe de l'IGN, avec un masque à oxygène, déclenche deux caméras à tambours dont les lourds magasins sont chargés de plaques de verre de 18x18 cm (photo 1). Il est en liaison radio avec le navigateur qui se trouve dans la cabine de pilotage. « C'étaient des temps héroïques ! » s'exclame Bernard Bèzes, ancien directeur adjoint de la communication de l'IGN, en évoquant les 14 bombardiers B17 acquis par l'IGN



2. Première CAM-V1 développée par les chercheurs de l'IGN.



3. Cette caméra pour drone est pourvue d'un capteur CMOS 20 mégapixels. Elle intègre un obturateur électronique global, un module GPS et une carte mémoire.

au sortir de la Seconde Guerre mondiale. Les B17 avaient la capacité d'embarquer un équipage complet, composé d'un pilote, d'un copilote, d'un navigateur, d'un radio et d'un mécano, en sus du photographe et, bien sûr, des magasins. « *Le photographe déclenchait deux caméras côte à côte pour obtenir une image stéréoscopique* », évoque Bernard Bèzes. Si les Beechcraft ont remplacé les bombardiers, les caméras argentiques ont cédé leur place aux appareils numériques. « *Le premier prototype de caméra numérique aéroportée a survolé Amiens en 1996, l'année où j'ai rejoint le Laboratoire d'opto-électronique et de métrologie et d'instrumentation (Loemi) de l'IGN* », se souvient Jean-Philippe Souchon, toujours ingénieur au Loemi.

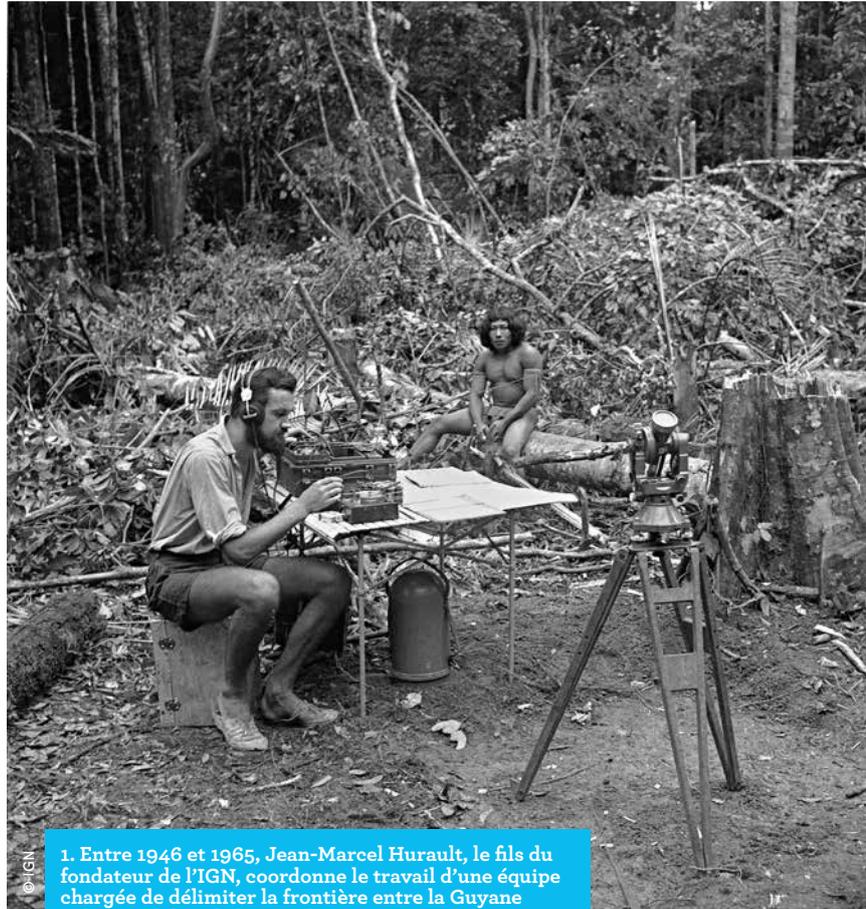
Quelques années plus tard, l'IGN invente la photo numérique couleur : « *Nous utilisons trois caméras noir et blanc dotées chacune d'un filtre rouge, vert ou bleu. Une synthèse de ces images nous offrait une vue en couleurs. Puis nous avons ajouté une caméra pour aller vers le proche infrarouge* », raconte Jean-Philippe Souchon. Baptisé CAM-V1 ce dispositif a été mis en œuvre dès 2001. Depuis dix ans, les avions de l'IGN utilisent la version 2 qui compte huit caméras numériques, quatre noir et blanc et quatre couleurs. « *Nous venons d'acquérir une caméra Vexcel qui produit des images de 5 cm de résolution prises à 1500 m d'altitude.* » Le Loemi a continué d'innover en développant une caméra de 160 grammes pour les drones, aujourd'hui industrialisée par la société toulousaine Delair (photo 3). Et demain ? « *Il nous arrive de rêver, autour de la machine à café, à une caméra volante qui s'affranchirait des drones...* » admet l'ingénieur. ●

De l'astronomie à la géodésie

Depuis l'Antiquité, pour s'orienter sur terre ou en mer, on lève les yeux vers les étoiles. Aujourd'hui, des rayons laser visent les satellites...

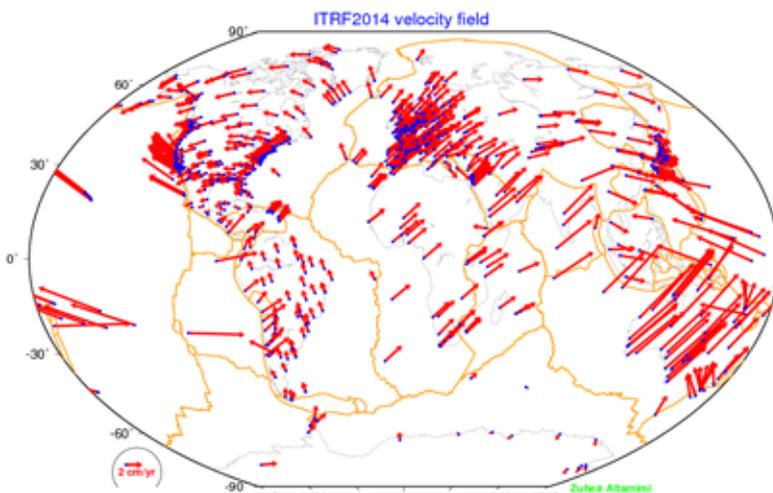
Au cœur de la forêt amazonienne, sous le regard songeur d'un indien Wayana, un topographe de l'IGN communique à la radio avec le reste de son équipe chargée de déterminer la frontière (photo 1). « Pour se repérer dans la forêt tropicale, le géographe doit commencer par abattre des arbres », raconte Bruno Garayt, chef adjoint du service de géodésie et de métrologie de l'IGN. Les étoiles lui donnent des coordonnées de référence, puis il procède par triangulation avec le théodolite qu'on distingue sur son trépied pour placer des repères. « Ce système de triangulation a été déployé jusqu'au début des années 1990, où les données issues des satellites se sont progressivement imposées, pour constituer le réseau géodésique français. »

« En 1988, l'IGN se voit confier par l'International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) la réalisation du système international de référence terrestre : l'ITRF (International Terrestrial Reference Frame, image 2). Ce dernier combine les mesures de différentes techniques telles que l'interférométrie à très longue ligne de base, l'effet Doppler, la télémétrie laser sur satellite, ou encore les signaux émis par les satellites de navigation, tels que le GPS ou Galileo, pour une précision millimétrique. Il est désormais utilisé par tous les pays pour le calcul de leurs repères nationaux », précise Zuheir Altamimi, président de l'Association internationale de géodésie, chargé de ce référentiel pour l'IGN. Avec les



1. Entre 1946 et 1965, Jean-Marcel Hurault, le fils du fondateur de l'IGN, coordonne le travail d'une équipe chargée de délimiter la frontière entre la Guyane et le Brésil dans le bassin du Maroni.

informations venues de l'espace, la géodésie a élargi son champ : elle ne se contente plus de la mesure et de la représentation de la surface de notre planète. Elle en connaît et en suit désormais précisément la forme, l'orientation et le champ de gravité. Outre la géolocalisation, l'ITRF a de nombreuses applications : le calcul des orbites des satellites, la mesure des mouvements des plaques tectoniques, l'élévation du niveau des mers... ●



2. Cette carte représente le champ de vitesses des sites ITRF. En examinant le mouvement de près de 500 stations de mesures, l'ITRF 2014 donne à voir le mouvement des plaques tectoniques. L'ITRF dispose d'une série de mesures qui s'étend sur quarante ans pour les plus anciennes. La comparaison des mesures accumulées sur plusieurs années offre une précision millimétrique, avec une incertitude inférieure à 1 mm/an. L'ITRF 2020, qui sortira en 2021, sera le plus précis à ce jour.

Des machines et des hommes

Du dessin à la base de données, de la planchette au lidar, de la bicyclette au véhicule à capteurs, les outils du topographe ont révolutionné son métier.

« **L**a technologie ne peut pas tout : la vérité du terrain demeure », relève Bernard Bèzes, ancien directeur adjoint de la communication de l'IGN. Sur leurs vélos, puis dans leurs 2CV et leurs 4L, les topographes de l'IGN allaient recueillir les données qui échappaient aux avions. « *La lenteur du vélo procurait l'immersion avec le terrain et l'information grandeur nature, slogan de l'IGN.* »

Aujourd'hui, la planchette a laissé place au tachéomètre, les données numériques sont converties en orthophotographies dès l'atterrissage des avions, les réseaux satellitaires remplacent les points géodésiques physiques, les bases de données informatiques nourrissent le géographe.

Celui-ci quitte encore son bureau pour mesurer le monde, mais il est désormais bardé de capteurs. Au volant d'un véhicule Stéréopolis, il sillonne les rues en les modélisant en 3D au lidar, capturant tous les détails grâce à des caméras stéréoscopiques à l'avant et une caméra 360° sur un bras articulé. Des odomètres comptent les tours des roues et une centrale inertielle mesure les mouvements du véhicule pour déterminer l'orientation des images. « *La technologie ne fait*

pas disparaître le géomètre, souligne Julien L'Haridon, ingénieur analyste de l'IGN. *Pour piloter un véhicule Stéréopolis, il faut avoir en tête ce qu'on souhaite obtenir, vérifier qu'on a bien un point connu comme repère, être capable de voir si les mesures et les calculs sont valables.* » Ces véhicules ont récemment servi à représenter le réseau autoroutier francilien pour alimenter les algorithmes des constructeurs de véhicules autonomes.

La miniaturisation aidant, le laboratoire de l'IGN a développé un sac à dos pour la modélisation 3D. Totalement modulable, il va là où les véhicules ne vont pas. Sur cette image (photo 2), le topographe l'utilise pour modéliser les laboratoires de l'Andra, à Bure, à 500 mètres sous la terre... ●



© IGN

1. 1948 : après-guerre, l'essence est encore rationnée. Les topographes de l'IGN adoptent le vélo-planchette. Sur la planchette, qui sert à la triangulation, est fixée l'ébauche de la carte à compléter, un trépied est fixé au cadre et tous les instruments de mesure tiennent dans les sacoches.



© Céline Reghini

2. Ce sac à dos est équipé de caméras stéréoscopiques, d'un lidar et d'une centrale inertielle de 50 grammes, il pèse près de 25 kilos.

LEXIQUE

Tachéomètre

Le tachéomètre est un théodolite, aujourd'hui électronique, qui calcule les distances en plus des mesures d'angles horizontaux et verticaux.

Lidar

Technique de mesure de distance fondée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière renvoyé vers son émetteur.

Des bornes en granit au Géocube

Pour trianguler la France, il a fallu 210 000 points de repère matérialisés. Mais les technologies ont changé et des récepteurs ont remplacé les repères passifs.



1. Provenant des carrières granitiques des Vosges ou de l'Ariège, les bornes géodésiques qui matérialisaient les points de référence des réseaux triangulés variaient en poids selon leur importance.

En plaine, le géodésien érige des signaux, des structures de métal visibles de loin, pour effectuer ses relevés. Ici (photo 1), sous le signal, à l'aide d'un palan, quatre ouvriers manœuvrent une borne en granit pour la placer à l'aplomb du signal et matérialiser durablement ce point de référence. Les bornes pouvaient peser jusqu'à 300 kilos. Ce n'est vraisemblablement pas le cas de celle-ci, qui nécessite tout de même de recourir à un treuil et une chèvre de levage. « Aujourd'hui, des stations GNSS constituées de petites antennes plates de 30 cm de diamètre se sont substituées aux bornes de granit et aux signaux de métal », décrit Thierry Person, chef du service de géodésie et de métrologie. Le système de référence national fondé sur la triangulation (NTF) a cédé la place au RGF93, basé sur les informations géodésiques issues des satellites. Les coordonnées de chaque point figurent dans des bases de données et une fiche descriptive des dizaines de milliers de bornes est consultable en ligne¹. « Il reste important d'avoir une matérialisation sur terre qui fasse le lien avec les informations venues de l'espace. Ne serait-ce que pour mesurer ce sol qui bouge », souligne Thierry Person.

2. Le premier Géocube ressemblait à un cube surmonté d'un petit dôme. Sa deuxième version tenait plus de la box Internet. Le GéocubX, ci-dessus, évoque davantage un totem.



Pour mesurer de petits mouvements, une nouvelle génération de « bornes » a vu le jour au Laboratoire d'opto-électronique et de métrologie et d'instrumentation (Loemi) de l'IGN : le Géocube (photo 2). « Il s'agit d'un outil de suivi de position grâce à un module GPS. En disposant plusieurs Géocubes sur un site de quelques kilomètres carrés ou le long d'un ouvrage d'art, et en comparant leurs informations, nous obtenons une mesure avec une précision de 5 mm en planimétrie et de 1 cm en altimétrie », détaille Olivier Martin. Autonomes, dotés d'une carte radio et d'une carte mémoire, les Géocubes peuvent prendre une mesure toutes les secondes et embarquer différents capteurs. La toute dernière génération, baptisée GéocubX et connectée en 4G, va être déployée dans des écoles d'Île-de-France dans le cadre d'une expérience pédagogique pour initier les élèves à la mesure de la température, de la qualité de l'air ou de la pression atmosphérique. ●

1. <https://geodesie.ign.fr>

L'invention du relief

Les randonneurs connaissent bien les cartes de l'IGN et leurs courbes du niveau. Mais connaissent-ils l'histoire de la représentation cartographique du relief ?



2. Carte de l'état-major de 1866 de la même zone au 1 : 80 000. L'orientation et le degré des pentes sont matérialisés sous forme de hachures et les altitudes des sommets sont précisées.



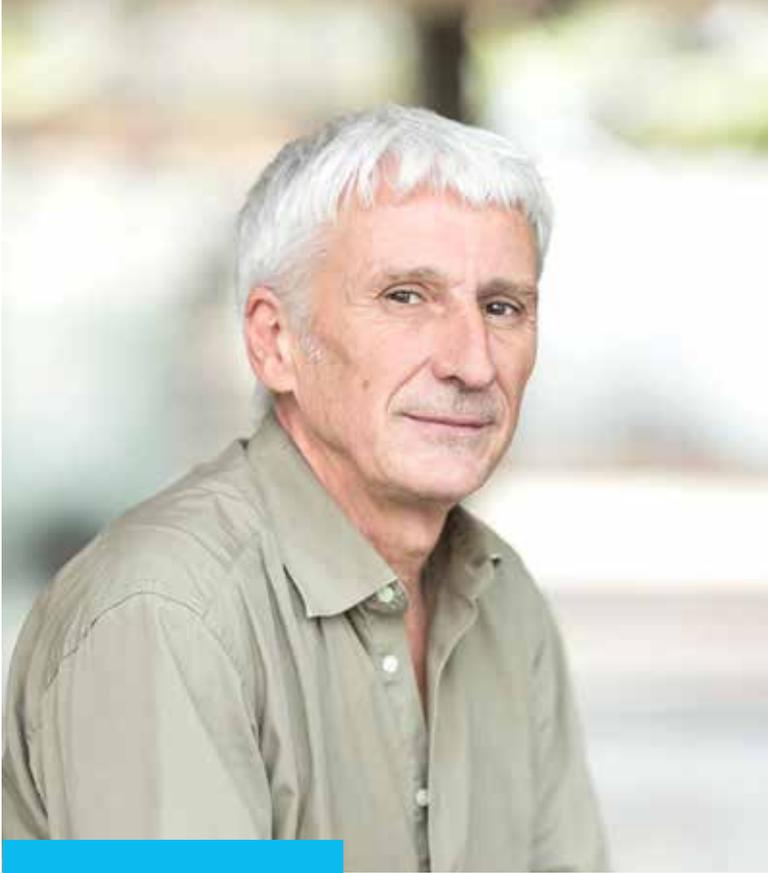
1. Carte de Cassini au 1 : 86 400 de 1772, les reliefs du mont Pelvoux et du massif des Écrins sont figurés de manière très approximative, avec une approche plus artistique que technique, qui n'informe ni sur les pentes ni sur les hauteurs.



3. Sur cette carte topographique de 1978 au 1 : 25 000, courbes de niveaux, couleurs, dessins et ombrages informent avec précision sur les reliefs. Jusqu'aux années 1990, ces cartes sont dessinées à la main. Les courbes sont réalisées à partir des levés stéréographiques terrestres, complétés par des levés aériens effectués en 1967.

« **A** ux XVIII^e et XIX^e siècles, les reliefs étaient représentés par des hachures (image 1 et 2), mais ces informations prenaient beaucoup de place. La courbe de niveau apparaît au XX^e siècle (image 3), elle est plus légère et renseigne davantage, restituant les accidents de terrain, c'est une représentation plus fine, dans tous les sens du terme », indique Didier Blaquièrre, chef adjoint du service de la valorisation des référentiels et du patrimoine. À l'origine, ces courbes sont levées point par point sur le terrain, un travail laborieux, complété par les premières photographies stéréoscopiques terrestres, notamment dans les zones de haute montagne. La photographie aérienne naît entre les deux guerres et est adoptée par l'IGN. « On va partout sans aller sur place : on gagne en facilité, en rapidité mais aussi en précision », souligne Didier Blaquièrre.

Toutes les cartes, avec leurs courbes de niveau, sont dès lors issues de stéréographies aériennes. En 1980, la carte au 1 : 25 000 (image 3) couvre enfin, après plus de quarante années d'efforts, la totalité du territoire métropolitain. Et l'informatique apparaît. « Une des premières bases de données de l'IGN a été constituée par la numérisation des courbes de niveau. Nous disposons ainsi d'un modèle numérique de terrain, avec un pas de 10 mètres. » Avec ces modèles numériques, l'estompage jusqu'alors réservé aux zones de montagne est systématisé puisque les ombrages des terrains sont calculés par les ordinateurs. Enfin, l'apparition du lidar renforce encore la précision de la description du terrain. « Le lidar mesure 2 points par mètre carré mais pourrait aller jusqu'à 10, ce qui nous offre une précision de l'ordre du centimètre », s'enthousiasme l'expert, qui se réjouit de l'acquisition par l'IGN d'un lidar haute définition. Les levés altimétriques lidar nourrissent une nouvelle base de données, dans la perspective d'une couverture totale du territoire par cette technologie. ●



© Thomas LANG

Frontières, entre histoire et avenir

Pierre Vergez, expert des frontières à l'IGN et chargé de mission au Conseil national de l'information géographique (Cnig).

Comment êtes-vous devenu spécialiste des frontières à l'IGN ?

Pierre Vergez : Au premier abord, par le hasard des postes et des missions, mais c'est un hasard influencé par mon enfance au Pays basque, où j'ai souvent parcouru avec mon grand-père cette limite invisible d'un ailleurs, fascinant. Pas étonnant que, devenu grand, je n'ai eu de cesse de la franchir pour découvrir de nouveaux pays. Je suis d'ailleurs entré à l'IGN un peu pour ça.

Depuis sa création, l'IGN a participé à de nombreuses campagnes de démarcation, dans le monde entier : laquelle vous semble particulièrement frappante ?

P. V. : Une campagne à laquelle je n'ai pas participé, car je venais d'intégrer le service de la géodésie... C'est, en 1989, la matérialisation des frontières sur le lac Tchad entre les quatre pays riverains. D'un côté, il y avait de nouveaux moyens de géolocalisation - images Spot,

photos aériennes, GPS... - et en face, les forces de la nature. La saison des pluies a battu tous les records et le lac, largement asséché lors des repérages, a atteint un niveau inégalé depuis vingt ans. Il a fallu poser en pirogue une partie des 70 bornes de béton, dont certaines faisaient 3 mètres cubes. La mission s'est étirée sur 14 mois, au lieu des 4 prévus...

Ce type d'aventure n'est-il pas d'un autre temps ?

P. V. : Le temps des bornes physiques est effectivement révolu - elles coûtent cher à entretenir et leur intérêt va bientôt relever du patrimoine culturel - mais pas celui des frontières. Impulsé par la directive européenne Inspire, un vaste chantier de tracé numérique est en cours. Nous en profitons pour lever les doutes. En Guyane, le partage avec le Suriname du millier d'îles du fleuve Maroni est en cours. Celui de l'Andorre, avec l'Espagne, vient d'être résolu. Sur les frontières belges et allemandes, il reste quelques incohérences

à régler avec les cadastres voisins. Deux noyaux durs résistent : le mont Blanc avec l'Italie, et l'embouchure de la Bidassoa au Pays basque, où passaient les contrebandiers de Pierre Loti... L'objectif est d'atteindre une précision maximale, puisque partagée entre voisins.

Quel est l'intérêt d'une telle précision ?

P. V. : C'est d'abord une demande de Bruxelles, pour rendre les systèmes d'information géographiques européens interopérables. S'y ajoute la question de la légalité, parallèle aux traités. Quand des drones et des robots automatisés ausculteront nos territoires pour mettre en œuvre ou évaluer nos politiques publiques, mieux vaudra qu'ils ne s'égarer pas chez le voisin... ●

D A T E S C L É S

1979

Entrée à l'IGN, formation de géomètre à l'École nationale des sciences géographiques.

1982

Topographe sur le terrain pour le service des grandes échelles (cartes au 1/25 000°)

1986-1988

Deux ans de disponibilité pour parcourir le monde en bateau

1989

Entrée au service de géodésie et de nivellement / réseaux mondiaux.

2005

Ingénieur des travaux géographiques et cartographiques de l'État

2006-2010

Manager d'équipe aux BD TOPO® et BD Parcellaire®

Depuis 2013

Chargé de mission au Cnig et des frontières.

Comment détermine-t-on un point astronomique?

Avant l'apparition de la géodésie spatiale, on calculait les positions géographiques d'un point à partir d'observations astronomiques. C'est la méthode des droites de hauteur dite « de l'œil et l'oreille ». Explications.

1.

En un lieu et pour un astre identifié (de coordonnées célestes connues), on mesure la hauteur entre cet astre et l'horizontale à un instant précis.

2.

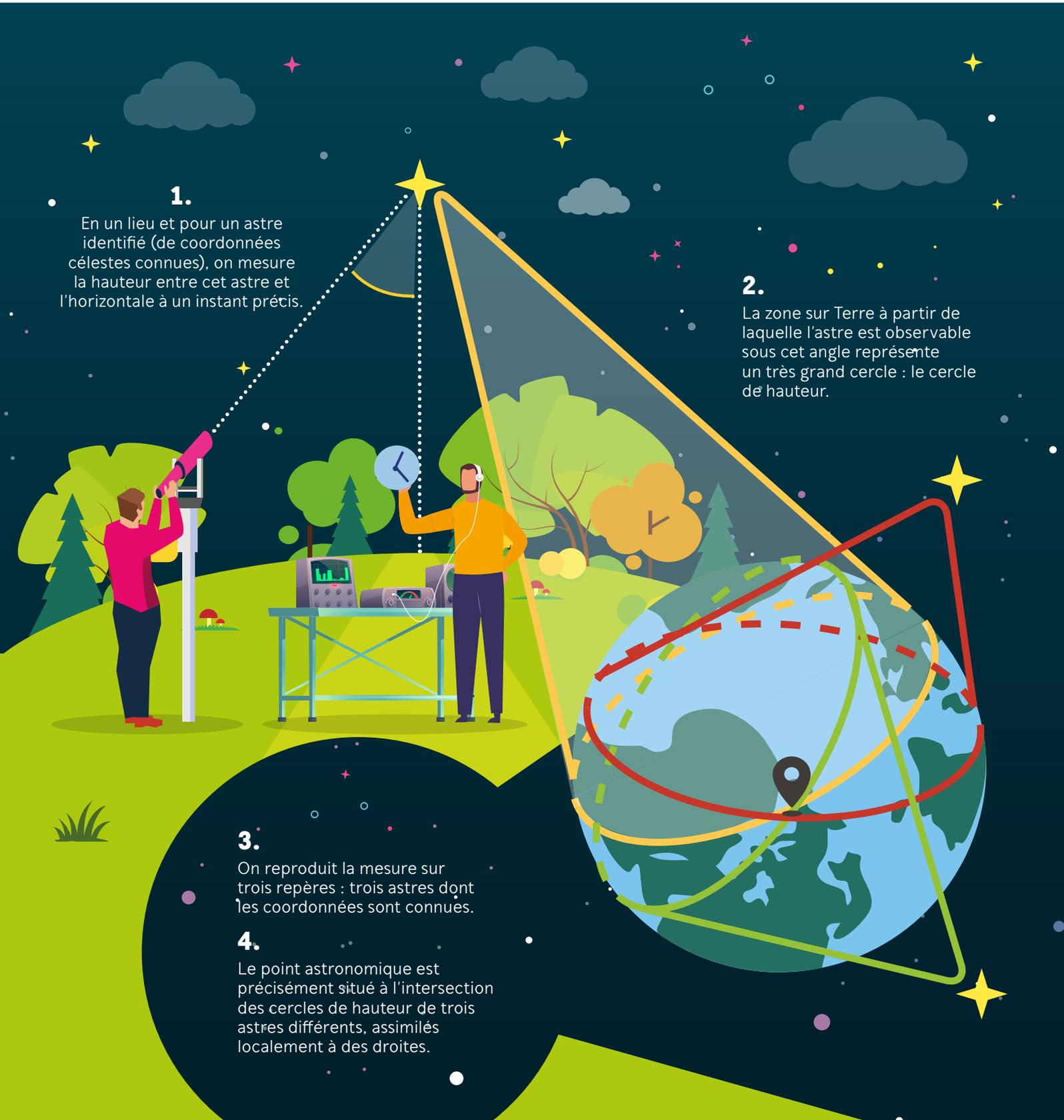
La zone sur Terre à partir de laquelle l'astre est observable sous cet angle représente un très grand cercle : le cercle de hauteur.

3.

On reproduit la mesure sur trois repères : trois astres dont les coordonnées sont connues.

4.

Le point astronomique est précisément situé à l'intersection des cercles de hauteur de trois astres différents, assimilés localement à des droites.



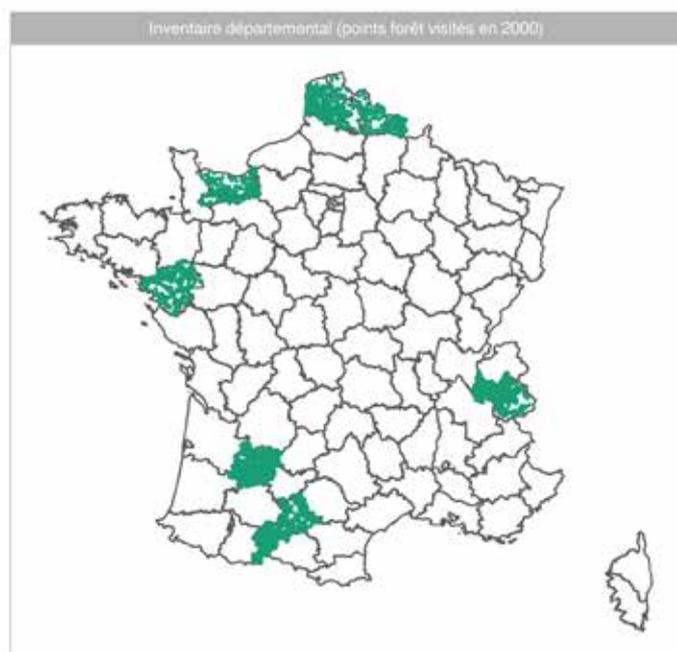


INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL

DE L'ESTIMATION D'UNE RESSOURCE, au suivi en continu des écosystèmes forestiers

En soixante ans, le matériel utilisé par les agents chargés de l'inventaire s'est considérablement modifié... et allégé. Les équipes sont ainsi passées de quatre à deux instruments. Les perches et les compas, avec lesquels les plus habiles mesuraient hauteur et circonférence des arbres jusqu'à 23 mètres, ont fait place au Vertex à ultrasons et au pentaprisme de Wheeler, qui réalisent ces mesures par calcul à partir d'un pointage à distance.

Vingt ans plus jeune que l'Institut géographique national, qu'il a rejoint en 2012, l'Inventaire forestier national (IFN) n'en compte pas moins une longue histoire jalonnée d'innovations majeures. Zoom sur cinq d'entre elles, qui illustrent la souplesse d'un outil capable de prendre en compte un nombre sans cesse croissant de variables et d'enjeux.



De l'inventaire par département à l'inventaire national annuel en continu.

L'inventaire en continu

En 1999, les tempêtes Lothar et Martin s'abattent sur la France et causent à ses forêts des dommages sans précédent. À l'époque, du fait de l'organisation de son activité, l'Inventaire forestier national se révèle incapable de fournir l'évaluation précise des dégâts. Depuis sa création, en 1958, il a gardé le département comme unité d'inventaire. À raison d'une moyenne de 8 départements par an, il faut douze ans pour visiter l'ensemble du territoire métropolitain. Douze ans, c'est donc l'âge, trop élevé, des données les plus anciennes, qu'il s'avère quasi-impossible d'actualiser. En cinq ans seulement, un nouveau type d'inventaire est mis en place : c'est l'inventaire continu. Chaque année, des dizaines de milliers de points sont tirés sur l'ensemble du territoire métropolitain grâce à une grille d'échantillonnage nationale. Après interprétation experte de nombreux paramètres sur photos aériennes, 7500 points environ sont conservés pour être visités sur le terrain une première fois. Ils seront remesurés cinq ans plus tard avec un protocole allégé, pour estimer les changements. « Cette innovation accompagne un changement de paradigme forestier, souligne François Morneau, conseiller technique au SISFE¹. On est passé d'une vision historique, celle d'une forêt en équilibre, à celle d'un milieu dynamique dont l'évolution, d'ailleurs, s'accélère actuellement avec les

« Cette innovation accompagne un changement de paradigme forestier. »



changements écologiques et climatiques. Une évolution que le nouveau protocole permet de placer, à mesure que les outils de collecte et de traitement de données se perfectionnent, sous monitoring. »

En 2009, la tempête Klaus frappe le Sud-Ouest. Grâce à la revisite en urgence des placettes concernées, l'évaluation définitive des dégâts est fournie en moins d'un mois... ●

1. Service de l'information statistique forestière et environnementale; c'est le nom du service de l'IGN responsable de l'inventaire forestier national.



© Guillaume Le Berré

Sur le terrain, les équipes de l'IGN étudient plus de soixante critères pour mieux comprendre l'écosystème de la forêt.

Le relevé de la biodiversité

En soixante ans, les préoccupations de nos sociétés ont bien changé, comme leurs attentes vis-à-vis du milieu forestier. Aussi l'inventaire forestier national, de l'estimation de la ressource en bois centrée sur les essences et le volume des arbres, s'est progressivement intéressé à la flore, à l'exposition et la topographie des lieux, à la nature et à l'état du sol... Aujourd'hui, sur chaque nouvelle placette, ses équipes de terrain étudient 60 variables pour mieux comprendre la production forestière mais aussi l'ensemble des services écosystémiques que la forêt est capable de rendre, au premier rang desquels figurent la rétention d'eau, la capture de carbone et la réserve de biodiversité. Dans cette approche systémique, le croisement des données écologiques et dendrométriques se révèle un atout précieux, tout comme l'inventaire en continu (voir page précédente), à même de répondre à tout moment aux demandes de l'État, de la société et de la communauté scientifique en intégrant de nouvelles variables, dont les premières évaluations sont disponibles en moins de deux ans. ●

Vers des chiffres européens?

Depuis 2003, l'inventaire forestier national français est partie prenante du réseau des inventaires forestiers nationaux d'Europe (Enfin), qui s'est fixé pour objectif d'améliorer la comparabilité des résultats nationaux afin d'en renforcer la pertinence pour les instances européennes et internationales. De 2015 à 2019, dans le cadre du programme Diabolo financé par l'Union européenne, 33 chercheurs de 25 pays ont travaillé à faire converger leurs méthodes pour convertir en biomasse leurs relevés de terrain. Des équations communes sont en cours de finalisation et de nouveaux travaux débutent pour fournir toujours plus de données dans le cadre des politiques européennes (énergie, climat, biodiversité, etc.).

Placette

Aire circulaire de collecte des données, répartie autour d'un point central géolocalisé. Les placettes de l'inventaire ont des rayons de 6, 9, 15 et 25 m.

La révolution numérique



© IGN

Les données collectées sur le terrain sont désormais transmises instantanément aux serveurs de l'inventaire.

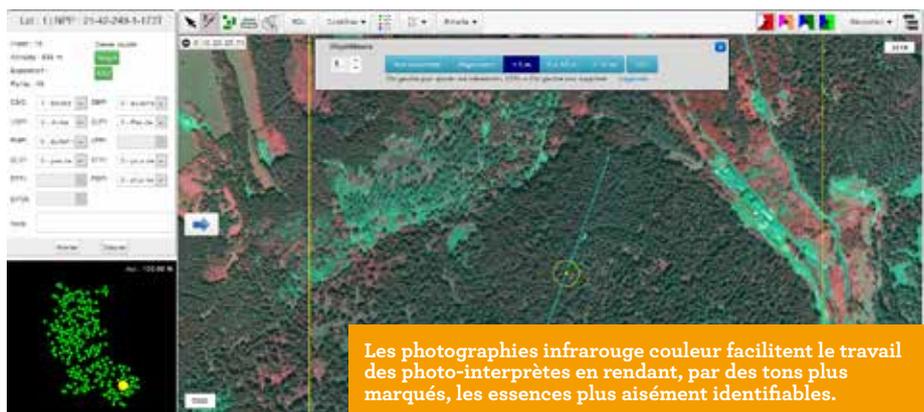
Quand on évoque la révolution numérique qui a métamorphosé l'inventaire forestier comme la plupart des activités humaines, une image s'impose : les agents pénétrant au cœur de la forêt, terminal informatique en main. Les premiers, à la toute fin des années 1990, n'étaient pas connectés : il fallait télécharger les données au retour, sur les ordinateurs de l'échelon. Depuis plus de quinze ans, elles sont transmises instantanément, pourvu que le secteur soit couvert par les réseaux de téléphonie. Pourtant, l'innovation dont ses experts en gestion de données sont le plus fiers se situe à l'autre bout de la chaîne de traitement de l'information. Depuis 2008, toutes les données accumulées depuis soixante ans sont accessibles sur internet, associées à un système de requête unique au monde. Particulièrement souple, il est possible de personnaliser à l'envi ses demandes en croisant les variables de son choix. « La continuité des données étant l'une des grandes forces de l'inventaire, il fallait d'abord réaliser une prouesse technique : réunir dans une base unique toutes les séries constituées au fil du temps par nos différents services, suivant leurs besoins », explique Cédric Duprez, expert bases de données de l'IGN. Avec l'arrivée des scanners terrestre et aérien (voir ci-après), ses collègues et lui se préparent à en réaliser une nouvelle : pérenniser cette qualité de service pour une volumétrie de données sans commune mesure. ●

Échelon

Unité territoriale historique (avant 2012) de l'inventaire, qui comprenait plusieurs départements. Au nombre de 5, les échelons sont désormais intégrés aux directions territoriales IGN.

L'orthophotographie infrarouge

Depuis l'origine de l'inventaire, les cartes forestières aujourd'hui produites par l'IGN contribuent à améliorer les estimateurs statistiques présidant au choix des placettes. Dès les années 1980, les photographies aériennes infrarouge couleur facilitent le travail des photo-interprètes en rendant, par des tons plus marqués, les essences plus aisément identifiables, ce qui limite les vérifications sur le terrain. L'arrivée de l'orthophotographie géoréférencée pour la production du fond végétation de la carte topographique de l'IGN, ou BD TOPO, constitue un pas plus décisif encore. Il devient possible de produire une nouvelle carte forestière, numérisée et continue. Elle est, de plus, enrichie d'informations sur la couverture du sol, la densité du couvert, les essences et bientôt, peut-être, la hauteur avec la mise en place du calcul systématique de MNS¹ adaptés au contexte forestier. À l'exception des hauteurs, longtemps déterminées « à la main », toutes ces informations



Les photographies infrarouge couleur facilitent le travail des photo-interprètes en rendant, par des tons plus marqués, les essences plus aisément identifiables.

reposent sur les compétences et les connaissances de terrain des forestiers photo-interprètes de l'IGN. Ce sont d'ailleurs eux qui, à partir des mêmes orthophotographies, caractérisent les 80 000 à 90 000 points tirés annuellement pour les besoins de l'inventaire continu (voir p. 18). ●

1. MNS : modèle numérique de surface, information en 3 dimensions issue de la corrélation d'images.



En 2008, l'inventaire forestier français est le premier au monde à s'être doté d'un scanner terrestre 3D. Il n'a été imité par l'inventaire finlandais qu'en 2018.

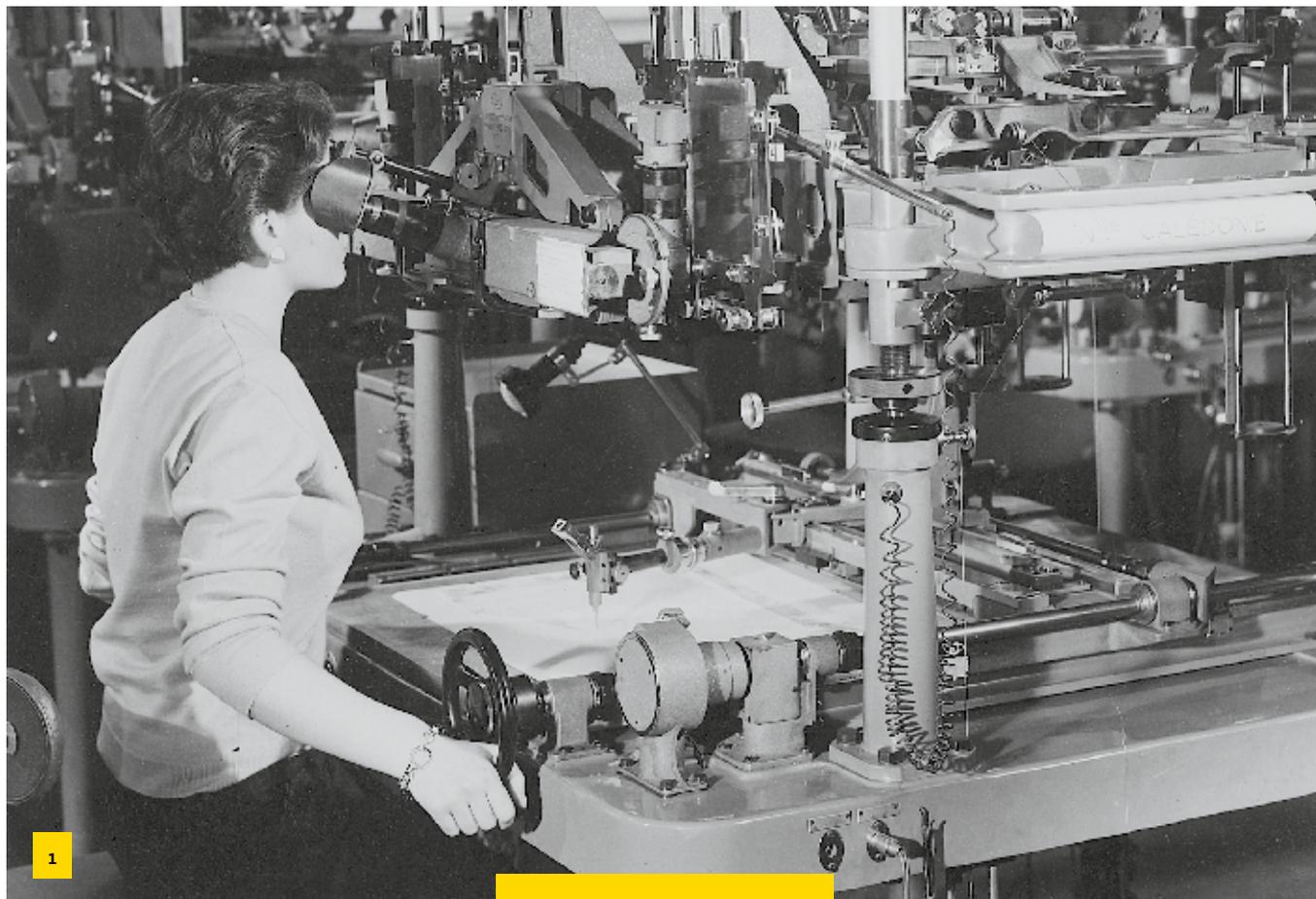
© IGN

La forêt au scanner

Fin 2008, l'inventaire forestier est le premier au monde à se doter d'un scanner terrestre 3D de type lidar. En estimant la distance avec les obstacles rencontrés par son faisceau laser, il en restitue le volume... pourvu que trois séries de mesures au moins soient réalisées sous trois angles différents. Si l'intérêt de cette méthode prometteuse est évident pour estimer la biomasse totale jusqu'aux plus petites branches, les difficultés à surmonter pour adapter cette technique développée initialement pour l'architecture et l'industrie sont nombreuses. « *Le scanner ne fait qu'enregistrer des nuages de points; les algorithmes capables d'y reconnaître des formes irrégulières, comme celles des arbres, en éliminant les données parasites liées par exemple à la présence de feuilles ou aux effets du vent doivent encore progresser*, explique Olivier Bouriaud, chercheur au Laboratoire de l'inventaire forestier, ou LIF, créé en 2013. *Les très nombreuses données accumulées depuis dix ans sur des centaines de placettes devraient déboucher sur les premiers modèles de volume expérimentaux d'ici deux ans.* » Entre-temps, les lidar ont fait des progrès notables, notamment en termes d'encombrement. Les cinq exemplaires utilisés actuellement par l'inventaire pèsent moins de 10 kilos, contre 20 pour leur « ancêtre » de 2008. Un détail qui a son importance quand il faut marcher longuement en forêt pour atteindre une placette... En parallèle, les chercheurs du LIF expérimentent l'usage du scanner aérien, qui promet à brève échéance de calculer la hauteur des forêts, une information, particulièrement pertinente pour améliorer l'estimation de leur volume. Corréliées avec les relevés de terrain dans une logique « multi-sources », ces mesures annoncent de nouveaux progrès dans l'estimation des ressources forestières à l'échelle des territoires, et de leur dynamique. ●

« Les chercheurs du LIF expérimentent l'usage du scanner aérien, qui promet, à brève échéance, de calculer la hauteur des forêts. »





D U S T É R É O T O P O G R A P H E À I T O W N S

Voir le monde en trois dimensions

Quel est le point commun entre le stéréotopographe de Poivilliers, le logiciel Trapu et la plateforme iTowns ? Réponse : à son époque, chacun a représenté le *nec plus ultra* pour donner à voir notre environnement dans toutes ses dimensions.

Nous sommes dans les années 1960 (photo 1). Cette femme est l'une des nombreuses stéréorestitutrices que compte l'IGN (1959 : création de la filière des dessinatrices-réstitutrices exclusivement féminines jusque dans les années 70). La machine devant laquelle elle est assise est un stéréotopographe. Sur cet appareil impressionnant, l'opératrice observe le couple stéréoscopique de photos d'une même zone dans une lunette binoculaire. Elle voit

ainsi la scène photographiée en relief, et peut en dessiner précisément les éléments remarquables en déplaçant en trois dimensions un index lumineux asservi à un crayon, à l'aide de manivelles et d'une pédale circulaire. « Cette machine est l'œuvre du précurseur de la photogrammétrie aérienne, Georges Poivilliers, qui l'a imaginée pendant la Première Guerre mondiale pour répondre aux besoins d'observation de l'armée, indique Raphaële Héno, pilote du programme Innovation à l'IGN, et qui en a peu à peu amélioré la conception. » Après la guerre, les stéréotopographes



jouent un grand rôle dans la cartographie de la France, mais aussi au service des grands travaux de relevés archéologiques. À leur apogée, l'IGN compte jusqu'à 126 appareils de ce type. Le temps passant, l'intérêt pour la restitution 3D va en s'accroissant et les innovations s'enchaînent au fil de l'émergence des outils informatiques. Ainsi, dès les années 1970, l'IGN propose le logiciel Trapu pour représenter, sous forme de polyèdres, la volumétrie des bâtiments dans les espaces urbains, en choisissant le point de vue et l'axe perspectif. « Dans les années 2000, un pas supplémentaire est franchi avec *Bâti-3D*, un outil qui autorise l'adaptation automatique de modèles de bâtiments issus d'une grammaire de formes architecturales sur des modèles numériques de surface calculés automatiquement à partir des clichés numérisés », poursuit Raphaële Héno.

iTowns : le petit projet devenu grand

Depuis 2008, l'IGN explore de nouveaux horizons avec iTowns (photo 2). Sur cette plateforme, sous licence libre, nous pouvons visualiser tous types de données 3D géoréférencées, avec des fonctions d'interaction. « iTowns est un petit projet devenu grand, indique Mirela Konini, chef du projet iTowns à l'IGN. En effet, au départ il s'agissait essentiellement d'imaginer un moyen de visualiser les données de Stéréopolis, le véhicule de cartographie mobile de l'IGN. » Par la suite, tandis que l'arrivée des technologies WebGL¹ accéléreraient le développement de l'outil, plusieurs projets IGN se sont appuyés dessus, le dotant ce faisant de nouvelles fonctionnalités. Ces progrès ont finalement conduit l'IGN à industrialiser iTowns, qui est devenu en 2017 le moteur de visualisation 3D du Géoportail. Et sa carrière est loin d'être finie ! En effet, iTowns répond à des cas de figure toujours plus nombreux : visites virtuelles de sites complexes, simulation de phénomènes climatiques, modélisation des impacts de décisions d'aménagement, cartographie pour le véhicule autonome... Des programmes de recherches français et européens l'ont d'ailleurs intégré dans leur boîte à outils pour proposer de nouveaux modes de navigation et d'interaction, comme Alegoria² – qui valorise la promotion des fonds iconographiques décrivant le territoire français de l'entre-deux-guerres à nos jours – ou encore Urclim (voir encadré). « Et parallèlement iTowns continue à

Urclim : quels services climatiques pour demain ?

Afin d'adapter la ville au changement climatique, les acteurs de la planification urbaine ont besoin d'outils pour évaluer les impacts climatiques de leurs aménagements. L'objectif du projet européen Urclim est justement de proposer de tels services climatiques urbains, à partir de données décrivant la ville et le climat. Depuis 2017, l'IGN participe à ce programme aux côtés d'autres instituts européens dont Météo-France, chargé de sa coordination. iTowns est utilisé comme outil de visualisation des différents types de données manipulées par les acteurs du projet, en particulier pour l'étude des îlots de chaleur urbain.

 **Pour en savoir plus**
<http://www.urclim.eu/>

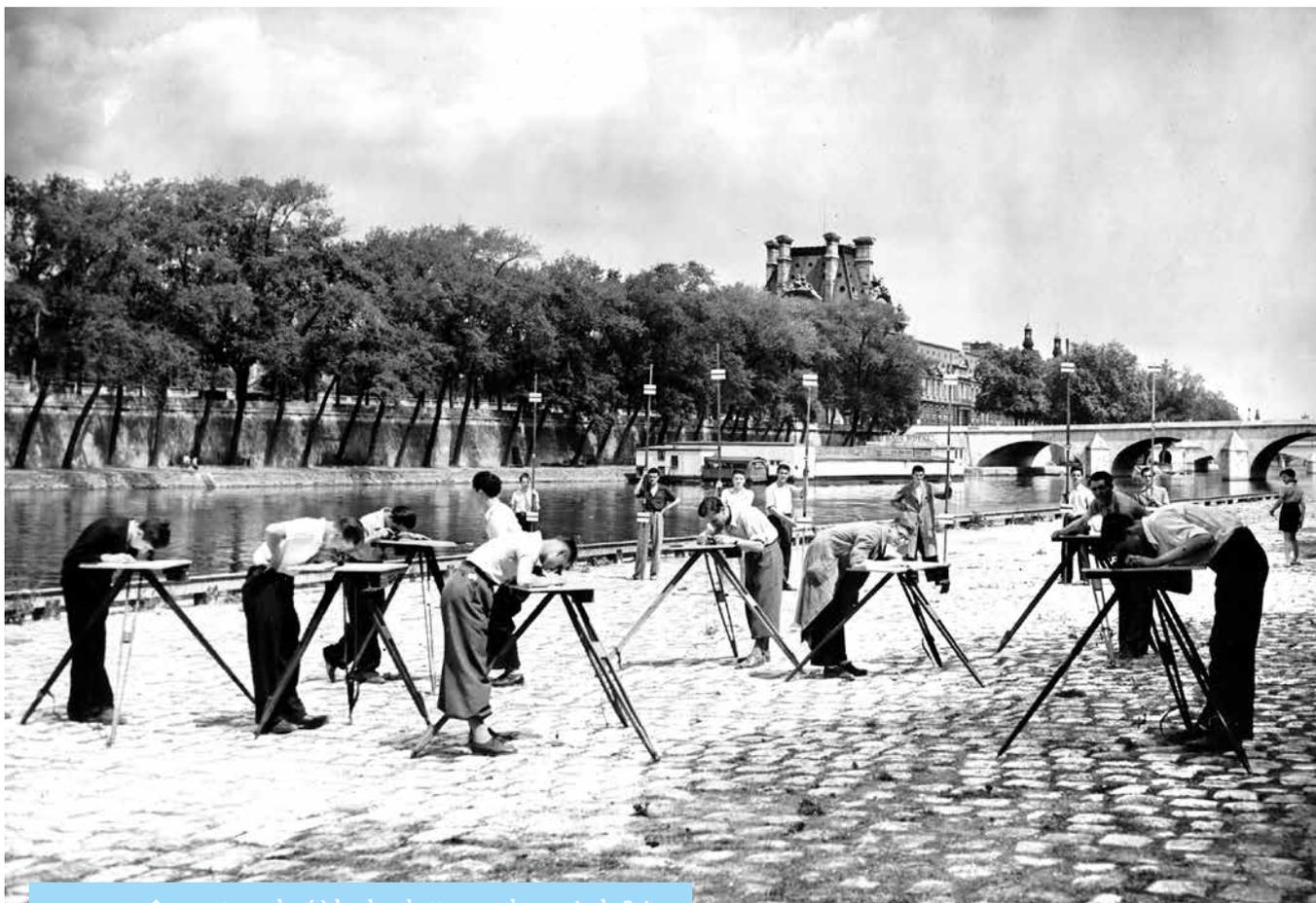
s'enrichir, indique Mirela Konini en conclusion. *D'ici à l'été, la plateforme sera capable de supporter des flux de tuiles vectorielles³ – ce qui offrira la possibilité à l'utilisateur d'interagir avec les données et de personnaliser leur affichage. Et, cet hiver, les visiteurs du Géoportail pourront visualiser les bâtiments en 3D sur l'ensemble du territoire.* » ●

1. WebGL est une interface qui optimise l'affichage des données 3D dans les navigateurs Internet en mobilisant la carte graphique de l'ordinateur.
 2. Advanced Linking and Exploitation of Digitized Geographic Iconographic Heritage. <http://www.alegoria-project.fr>
 3. https://geoservices.ign.fr/documentation/services_betas/vecteur-tuile.html

FORMATION

ENSG : passion « géo »

Créée en 1941, l'École nationale des sciences géographiques (ENSG-Géomatique) a formé depuis son ouverture plus de 11 000 étudiants, provenant de 90 pays, aux technologies de l'information géographique et à leurs usages. Retour sur 79 ans d'histoire, en compagnie de trois témoins privilégiés.



© IGN

1944 : entraînement au « levé à la planchette » sur les quais de Seine.

1941 : une école pour l'IGN

Ces jeunes sont des élèves de l'École nationale des sciences géographiques, créée trois ans auparavant. « Sur la photo prise sur la berge de Seine à quelques encablures de la rue de Lille où l'école était installée, les étudiants s'entraînent au levé topographique à l'aide d'une "planchette" et d'un éclimètre, explique Bernard Bèzes, élève de l'école dans les années 1970 et ancien responsable de la

cartothèque de l'IGN. Cet enseignement est l'un des savoirs de base inculqués par l'école aux futurs employés de l'institut. » À ses débuts, l'ENSG forme quatre catégories de personnel : dessinateurs-cartographes, géomètres, ingénieurs de travaux et ingénieurs géographes. La première promotion de l'école compte 68 élèves au total. Au lendemain de la guerre, ils seront 126. ●



1958 : travaux d'été sur le terrain, à Gordes.

© IGN

Les années d'ouverture

Dans ses premières décennies, l'ENSG change deux fois d'adresse : à l'hôtel de Rohan en 1944 et à Saint-Mandé en 1953. Elle s'ouvre aussi aux étudiants étrangers – 90 nationalités ont été accueillies depuis la création de l'école – mais peu aux femmes... « *En la matière, il faudra attendre 1958 pour qu'un premier pas soit franchi, avec l'intégration de premières élèves dans les sections formant les artistes-cartographes*, indique Bernard Bèzes. *Et le chemin sera long puisque le corps des géomètres n'a engagé sa féminisation qu'en 1977...* » En revanche, les enseignements fondamentaux ne changent guère : topographie, photogrammétrie, géodésie, dessin cartographique, botanique... Les travaux pratiques de terrain sont organisés l'été dans les centres IGN situés en province. Le cliché ci-contre a justement été pris à Gordes, à la fin des années 1950, lors de l'un de ces séjours studieux estivaux. Soixante ans plus tard, la tradition des travaux d'été perdure, grâce au centre d'instruction de Forcalquier. ●

Bienvenue dans l'ère de la géomatique

La fin du XX^e siècle est à son tour le théâtre de transformations importantes, avec un ultime déménagement pour rejoindre le campus René-Descartes, à Champs-sur-Marne. « *À la fin des années 1990, l'ENSG a en effet commencé à former des élèves qui n'avaient pas vocation à être embauchés par l'IGN*, indique Pierre-Yves Hardouin, directeur des enseignements. *Aujourd'hui les fonctionnaires de l'IGN représentent moins de 10 % des effectifs de l'école, qui compte plus de 400 étudiants en formation initiale.* » Dans le même temps, le champ couvert par l'école, désormais dénommée géomatique, a considérablement évolué, au croisement de la géographie, des mathématiques et de l'informatique. « *Nous sommes passés de 4 à 12 cursus avec, parfois en partenariat, une licence pro, trois masters spécialisés[®] et 6 masters qui sont venus s'ajouter aux cycles historiques de géomètres et d'ingénieurs*, ajoute Alain Du-

péret, directeur adjoint. *Depuis la dernière réorganisation de l'IGN, les activités de recherche de l'institut sont confiées à l'ENSG pour renforcer le lien enseignement-recherche. L'école est l'un des rares établissements capables de proposer des enseignements à la géomatique couvrant l'ensemble licence, master et doctorat afin de former des étudiants à tous les niveaux, tant à l'acquisition qu'aux usages de l'information géographique.* ». « *Les formations dispensées répondent à de très nombreux besoins, ajoute Pierre-Yves Hardouin. De plus en plus de secteurs recherchent des experts en géomatique : acteurs de la défense ou de la sécurité, gestionnaires de réseaux de transport ou d'énergie, mais aussi les banques et les assurances, les créateurs d'applications mobiles utilisant la géolocalisation...* » Le taux d'embauche des étudiants est de 100 % à trois mois après la fin des études. ●



1996 : le campus René Descartes sort de terre.

© DR

« Les formations dispensées répondent à de très nombreux besoins. »



Une nouvelle page

L'année 2020 marque un nouveau cap pour l'ENSG qui, tout en conservant son appartenance à l'IGN, est désormais également une école membre de l'université Gustave-Eiffel. Cette dernière a vu le jour le 1^{er} janvier dernier pour réunir une université, un organisme de recherche, une école d'architecture et trois écoles d'ingénieurs autour d'un projet scientifique centré sur les problématiques de la ville du futur, tout en conservant les savoir-faire des établissements d'origine. « Ce rapprochement est une opportunité de renforcer des partenariats et collaborations de proximité et de mutualiser les fonctions supports, résume Alain Dupéret. De son côté, l'ENSG va contribuer à un rayonnement plus large de ses disciplines de prédilection car nos formations de géomatique vont peu à peu s'ouvrir aux étudiants de l'université. Je suis convaincu que grâce à cette évolution, l'école continuera de se développer au bénéfice de tous les publics de la géomatique et des domaines d'activité associés. » ●

Enseignement à distance : l'ENSG aux avant-postes

Fin 2018, l'ENSG a été la première école d'ingénieurs à obtenir le label 4DIGITAL délivré par la Conférence des grandes écoles. Au plus fort de la crise de la Covid, l'enseignement à distance s'est imposé à travers le monde pour assurer la continuité des activités de formation. « Dans la perspective de la prochaine rentrée scolaire, l'école se prépare au second défi imposé par la crise sanitaire pour organiser des cours hybrides, associant les modalités d'enseignement présentiel et distanciel, indique Alain Dupéret. Parallèlement, l'ENSG a commencé à partager son expertise en matière d'enseignement à distance avec l'ensemble de la communauté des acteurs de l'université Gustave-Eiffel. »

De la photothèque à Time Machine

L'information géographique apporte une description spatio-temporelle du territoire pour mieux analyser le présent, modéliser le passé et simuler le futur.



« On fabrique des bases de données numériques qu'on met à jour en continu, et dont la carte n'est que l'un des produits dérivés. »



2

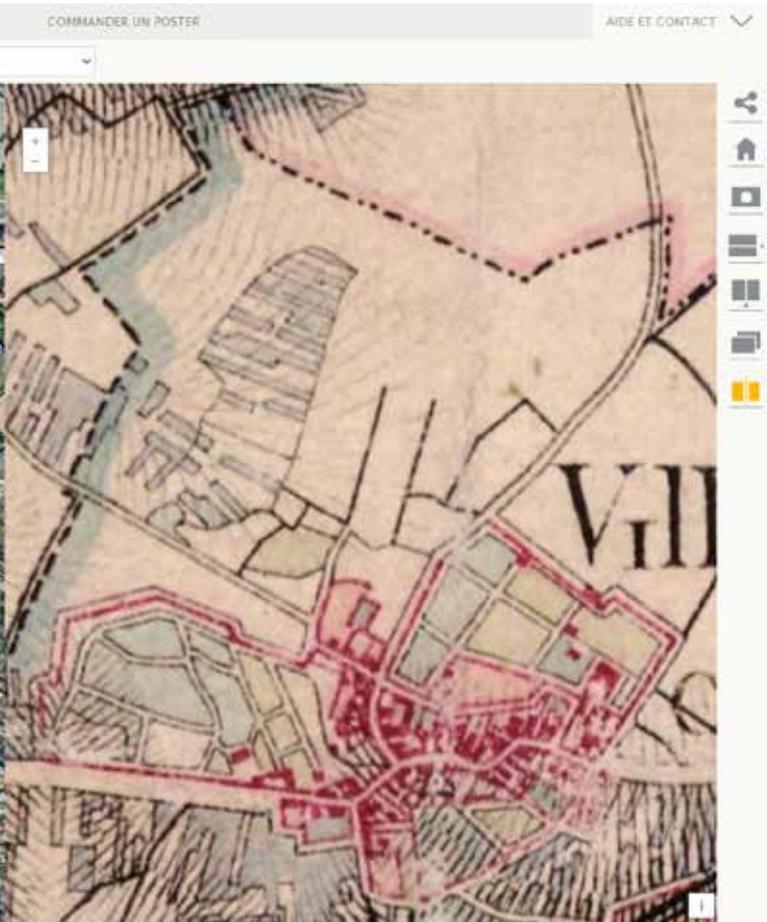


Dans les années 1950, un archiviste-documentaliste veille à la bonne conservation des documents dans la photothèque de l'IGN (photo 1 en ouverture p 27). Dans ces sous-sols, à Saint-Mandé, étaient archivées quelque 4,5 millions de photos de toute la France sur 6 kilomètres linéaires de rayonnages. Ils n'existent plus aujourd'hui. La dématérialisation des documents a été amorcée en 2007 et, en dix ans, le fonds photographique a été entièrement numérisé et transféré sur le site de Villefranche-sur-Cher en 2016 dans un espace d'archives patrimoniales adapté à la conservation de ces documents anciens. Il est consultable en ligne. La numérisation des cartes est en cours, et aujourd'hui la cartotheque rejoint la photothèque à Villefranche. Les 500 000 titres de la cartotheque seront entièrement vidés à la mi-2021. « Ce vaste chantier est aussi l'occasion de verser aux services d'archives un important patrimoine historique, de la plus ancienne carte de la cartotheque, datant du milieu du XVII^e siècle, à la carte de l'État-major, commandée par Napoléon en 1808 : quelque 43 000 documents, dont 26 000 environ (cartes de Cassini, planches cadastrales...) sont versés aux Archives nationales et 17 000 cartes militaires (dont la carte de l'État-Major) au Service historique de la défense. Toutes ces cartes anciennes sont la mémoire du passé : elles

conservent la trace de l'évolution du territoire au fil des siècles », observe Philippe Truquin, délégué au patrimoine, chargé de la politique d'archivage de l'institut.

Un village en zone rurale comme Villiers-sur-Marne, bien visible sur cette carte de l'État-Major (image 2, à droite), est aujourd'hui immergé dans un tissu urbain très dense, depuis la création de Marne-la-Vallée (image 2, à gauche). Depuis dix ans, l'IGN diffuse nombre de ses cartes et photos numérisées sur le site Remonter le temps : le grand public peut observer n'importe quel lieu en France tel qu'il a été cartographié au XVIII^e siècle, au XIX^e, en 1950 et aujourd'hui, ou photographié entre 1950 et 1965, entre 2000 et 2005 ou entre 2006 et 2010. Il peut naviguer dans les cartes, les superposer, les comparer côte à côte ou les télécharger librement. « Aujourd'hui, on utilise des systèmes d'information géographiques. On fabrique des bases de données numériques qu'on met à jour en continu, et dont la carte n'est que l'un des produits dérivés. On la renouvelle en quelques années quand cela prenait plusieurs décennies auparavant », souligne Philippe Truquin.

Sur la plateforme iTowns, interconnecter et spatialiser des collections, notamment en recalant dans la scène une photo



ancienne à l'endroit précis où elle a été prise, comme cette traversée de la mer de Glace, dans la vallée de Chamonix, au début du XX^e siècle, sont l'une des grandes innovations ouvertes par la numérisation, l'analyse d'images et l'IA (image 3). La plateforme offre une navigation immersive spatio-temporelle à large échelle dans le patrimoine géographique. « Ici, on a un aperçu à la fois du recul de la mer de Glace et des pratiques touristiques de l'époque à cet endroit », décrit Valérie Gouet-Brunet, directrice de recherche au Laboratoire en sciences et technologies de l'information géographique (LaSTIG) et représentante de l'IGN au comité de pilotage de la Time Machine Organisation. L'IGN est engagé depuis 2017 comme partenaire fondateur parmi 600 partenaires internationaux dans Time Machine. « Ce projet européen est devenu une initiative de recherche à grande échelle pour valoriser les big data du passé : toutes les données acquises en Europe de l'Antiquité à aujourd'hui, afin de mieux analyser le passé, le présent et anticiper le futur. De telles données à l'échelle de l'Europe sont fondamentales : une meilleure connaissance de ce patrimoine social, culturel et géographique participe à la cohésion européenne », explique Valérie Gouet-Brunet. Ce système d'information qui cartographie l'évolution, sociale et naturelle de l'Europe sur plusieurs milliers d'années doit permettre à tout un chacun de voyager dans l'espace et dans le temps. ●

 **Pour aller plus loin**
<https://remonterletemps.ign.fr>

3



Jean-Christophe Rufin

Jean-Christophe Rufin a été médecin humanitaire, diplomate, écrivain, académicien, alpiniste... Toujours avec un fil conducteur : « partager l'histoire des communautés humaines ».



L'homme aux 1001 vies

Jean-Christophe Rufin a été élevé à Bourges par ses grands-parents. Son grand-père est médecin, résistant, déporté à Buchenwald. Pour lui, la médecine est « une forme d'engagement ». « L'envie d'être à la fois médecin et engagé me vient de cet exemple que j'ai eu sous les yeux quand j'étais enfant. » La médecine d'alors, qui suppose la connaissance du grec et du latin, est un métier littéraire, ce qui convient aussi à Jean-Christophe Rufin, habitué depuis longtemps par le désir d'écrire, puisé à une enfance solitaire qui forge l'imaginaire et invite à « sa propre exploration du monde ». Coopérant dans une petite ville de Tunisie, il se retrouve dans une maternité alors qu'il a fait sa spécialisation en neurologie. Une erreur d'affectation qui lui vaut

de pratiquer une médecine plus proche de celle de son grand-père, « en prise avec les réalités des gens et dans laquelle la culture et les traditions sont très importantes ». Quand il rentre en France, en 1976, il rejoint Médecins sans frontières, qui connaît « sa période héroïque » avec l'arrivée des *boat people*. Dès lors commence une vie de

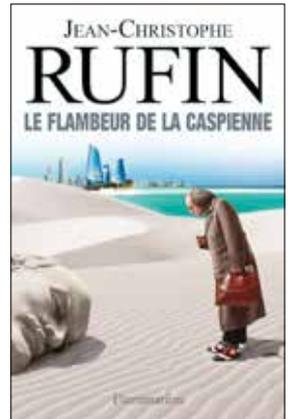
voyages partout où il y a des drames. « Je ne suis pas un adepte du voyage d'agrément mais le voyage s'est imposé à moi comme une dimension de l'action. Mes connaissances géographiques sont liées à la guerre. » Il trouve là matière à écrire mais pas encore la légitimité pour le faire.

Légitimité en tant qu'écrivain

Il lui faudra vivre d'autres expériences – dans les cabinets ministériels et dans la diplomatie –, accumuler de nouveaux matériaux et trouver le temps – à l'occasion d'un poste d'attaché culturel au Brésil « où il n'y avait pas grand-chose à faire » – pour passer de l'écriture d'essais à l'écriture romanesque, « plus apte à traduire les émotions, les couleurs, les paysages ». Pour autant, il ne se sent pas vraiment légitime dans l'univers littéraire, lui qui connaît « mieux le nom des artères que celui des grands auteurs ». « Mon monde, c'est l'action et l'engagement. Je suis venu d'ailleurs et je suis resté d'ailleurs ». Ce qui ne l'empêche pas de connaître de grands succès de librairie, avec une succession d'ouvrages inspirés par ses rencontres, sa vie et celle des autres. Les récompenses, dont le prix Goncourt pour *Rouge Brésil*, et l'élection à l'Académie française, « un honneur qui ne doit

pas devenir un enfermement sous peine d'être empaillé », lui valent au moins d'« être plus légitime aux yeux des autres » et de vivre désormais de sa plume.

Aujourd'hui, il vit la majeure partie de l'année à la montagne car son autre passion, son « centre de gravité », c'est l'alpinisme, et s'il voyage encore, c'est essentiellement pour découvrir des voies dans les montagnes du monde. Pour ces voyages vers les hauteurs, les cartes sont indispensables et il reconnaît en « être un grand consommateur car il n'y a pas de sport de montagne sans cartes. Elles peuvent sauver des vies ». ●



« Le voyage s'est imposé à moi comme une dimension de l'action. »

B I O G R A P H I E

1952

Jean-Christophe Rufin naît à Bourges, une ville « endormie, chargée d'une histoire qui a été mais qui n'est plus là ». Il est élevé par ses grands-parents.

1975

Reçu au concours d'internat à Paris, il choisit la neurologie.

1976

Première mission humanitaire en Érythrée, ravagée par la guerre d'indépendance.

Fin des années 1980

Il devient successivement conseiller de Claude Malhuret, secrétaire d'État aux Droits de l'homme (1986-1988), puis conseiller de François Léotard, ministre de la Défense (1993-1994).

1997

Il publie *L'Abyssin* et obtient le Goncourt du premier roman. Une première distinction suivie en 1999 du prix Interallié pour *Asmara* ou les causes perdues, puis, en 2001, du prix Goncourt pour *Rouge Brésil*.

2007-2010

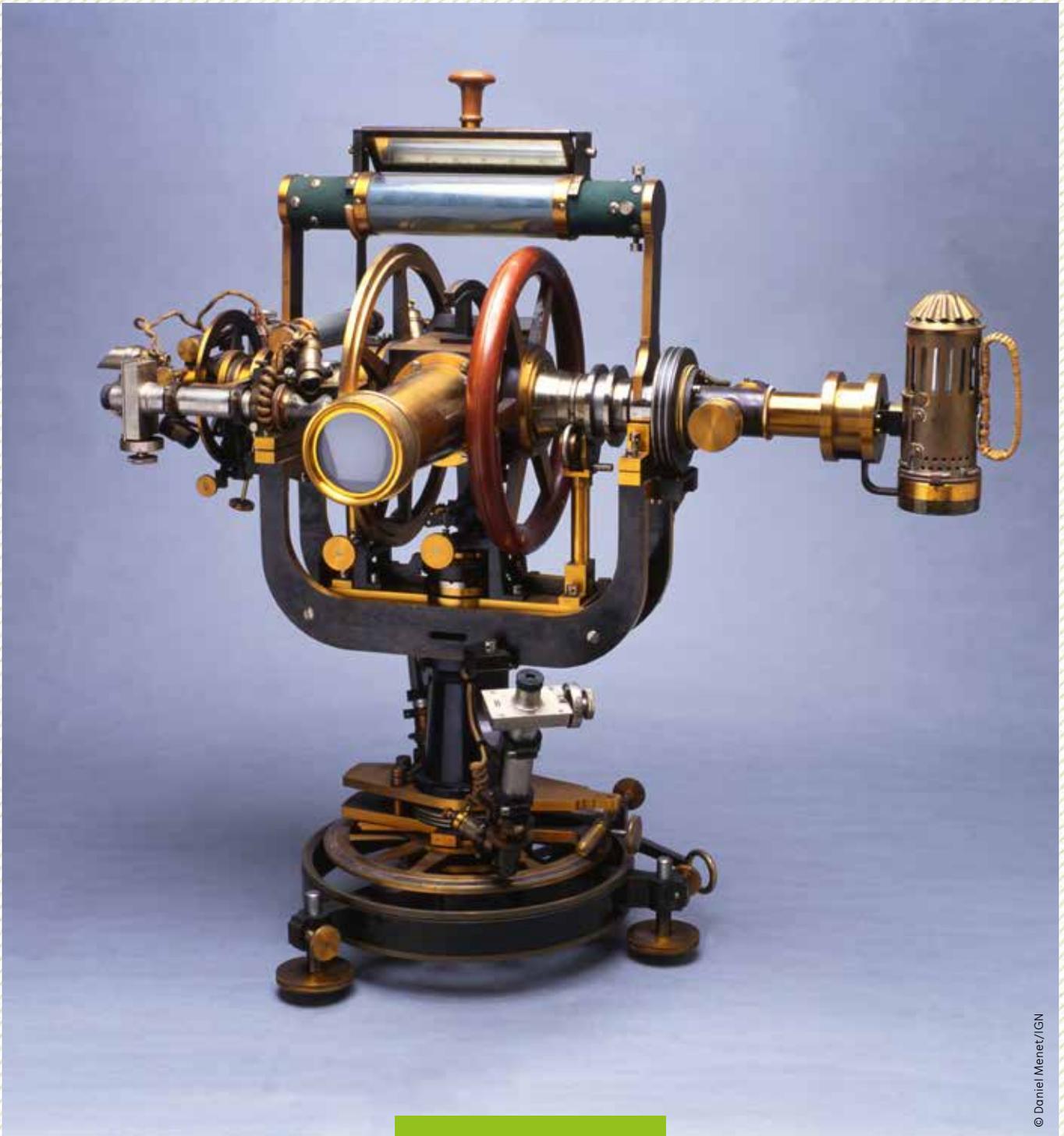
Il est nommé ambassadeur de France au Sénégal et en Gambie.

2008

Il est élu à l'Académie française, au fauteuil d'Henri Troyat. Il est alors le plus jeune membre.

2018

Il reçoit le Grand Prix de la Société de géographie pour l'ensemble de son œuvre, une vingtaine de romans, entre récits de voyages et récits historiques, et de nombreux essais.



© Daniel Menet/IGN

ign
MAGAZINE



**TÉLÉCHARGEZ
GRATUITEMENT
IGN MAGAZINE**
sur www.ign.fr



Téléchargez le magazine
en scannant ce QR code !

Théodolite universel du début du XX^e siècle

Ce théodolite universel de marque Askania était utilisé pour faire un point astronomique. Au premier plan, nous voyons la lunette; à l'une de ses extrémités, une lampe alimentée avec une essence minérale pour éclairer les fils du réticule; à l'autre extrémité, l'oculaire. Au-dessus de la lunette se trouve une nivelle cavalière pour le calage des axes de l'appareil. L'IGN possède une galerie de 790 instruments anciens, héritage du dépôt de la guerre et du SGA.