

# ign

N° 107

Été 2022

## MAGAZINE

### 22\_OUTILS & DONNÉES

Dans les paysages  
du temps

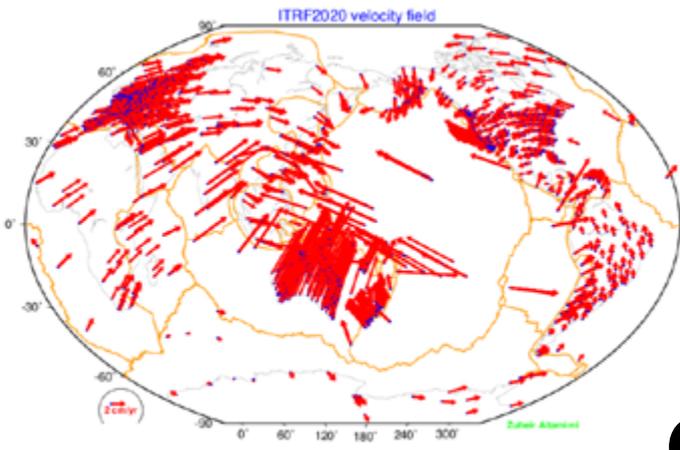
### 27\_ÉCLAIRAGE

Toujours  
plus réactifs!

### 30\_PORTRAIT

Christine  
Arron





# 04

## 04\_ L'essentiel

- \_Le nouveau repère international de référence terrestre
- \_L'occupation du sol par l'intelligence artificielle
- \_Congrès de l'International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
- \_Var Verdon Canyon Challenge
- \_Favoriser l'exploitation des données lidar !



# 08

## 08\_ Le dossier

- \_Les temps de l'IGN



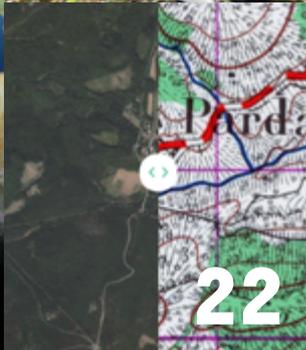
# 17

## 16\_ Décryptage

- \_Prendre le temps

## 17\_ Forêts

- \_La forêt par tous les temps



# 22

## 22\_ Outils & Données

- \_ Remonter le temps : dans les paysages du temps

## 24\_ Recherche & Innovation

- \_ALEGORIA : les cartes postales anciennes renseignent sur l'évolution du territoire
- \_SoDUCo : L'évolution de la ville en lien avec ses pratiques sociales
- \_HIATUS : exploiter les prises de vues depuis 1945



# 27

## 27\_ Éclairage

- \_Toujours plus réactifs !

## 30\_ Portrait

- \_Christine Arron

**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 Sébastien Soriano Directrice de la rédaction Dominique Jeandot  
 Rédacteur en chef Eric Bonneau Comité de rédaction D.Moisset, F.Fuchs, O.Jamet, M.Le Masson Ont participé à la rédaction E.Allermoz, O.Constant, D.Fidel, A.Kolk, G.Tixier Illustration Matthieu Appriou Conception éditoriale et graphique Citizen Press Couverture IGN  
 Crédits photos IGN, Gettyimages Impression IGN  
 Dépôt légal Été 2022

**RÉPUBLIQUE FRANÇAISE**  
Liberté  
Égalité  
Fraternité

Abonnez-vous gratuitement en contactant la rédaction : [abonnement@ign.fr](mailto:abonnement@ign.fr)



SUIVEZ-NOUS SUR  
LES RÉSEAUX SOCIAUX



[facebook.com/ignfr/](https://facebook.com/ignfr/)



[twitter.com/IGNFrance](https://twitter.com/IGNFrance)



[linkedin.com/company/ignfrance](https://linkedin.com/company/ignfrance)



[instagram.com/ign\\_france/](https://instagram.com/ign_france/)



**Luc Gwiazdzinski**

Géographe, professeur à l'ENSA Toulouse

## L'information en continu : l'impératif du vivant

**L**es sociétés et les territoires évoluent dans le temps selon des rythmes quotidiens, hebdomadaires, mensuels, saisonniers et séculaires, mais aussi en fonction d'événements, d'accidents et d'usages changeants et difficiles à articuler. Les citoyens, qui habitent avec difficultés ces territoires, sont sensibles à leurs rythmes, à leurs évolutions, à leurs épaisseurs, à leurs couleurs, à leurs textures, intéressés à leur représentation, et demandeurs d'intelligibilité à différentes échelles. Les professionnels qui jonglent avec les données spatiales et temporelles ont conscience de l'instabilité des systèmes qu'ils observent. Ils savent également que la carte n'est pas le territoire mais une représentation, une modélisation, un point de vue qui change en fonction des besoins, des techniques et de la situation économique, politique, sociale, environnementale et culturelle du moment. Les décideurs sont intéressés par l'accès à l'information en continu qui permet le maintien des équilibres. Malgré tout, le temps n'est pas suffisamment pris en compte comme clé d'observation et levier de développement durable. C'est pourtant une nécessité. L'accélération de la mutation de nos milieux naturels, agricoles et urbains, de nos modes de vie, de nos climats sous l'effet de nos propres activités et les conséquences néga-

tives en retour nécessitent une connaissance de plus en plus fine et continue du territoire, de la société et des activités pour le suivi, la sensibilisation, mais aussi la gestion et l'anticipation. L'approche spatio-temporelle, chronotopique et rythmique est à la fois une richesse et une obligation face aux enjeux et

---

« Le temps n'est pas suffisamment pris en compte comme clé d'observation et levier de développement durable »

---

aux attentes. Il est nécessaire de dépasser une métaphysique du stable, du permanent, pour intégrer la prise en compte du labile, du mutable, du mouvant, du temporaire dans l'observation et la gestion en continu des sociétés, des territoires et des organisations de l'anthropocène. C'est une condition de notre adaptation.

Celles et ceux qui portent ces compétences et cette mission sont nécessairement interpellés dans leurs rôles de « vigie », d'« alerte » et

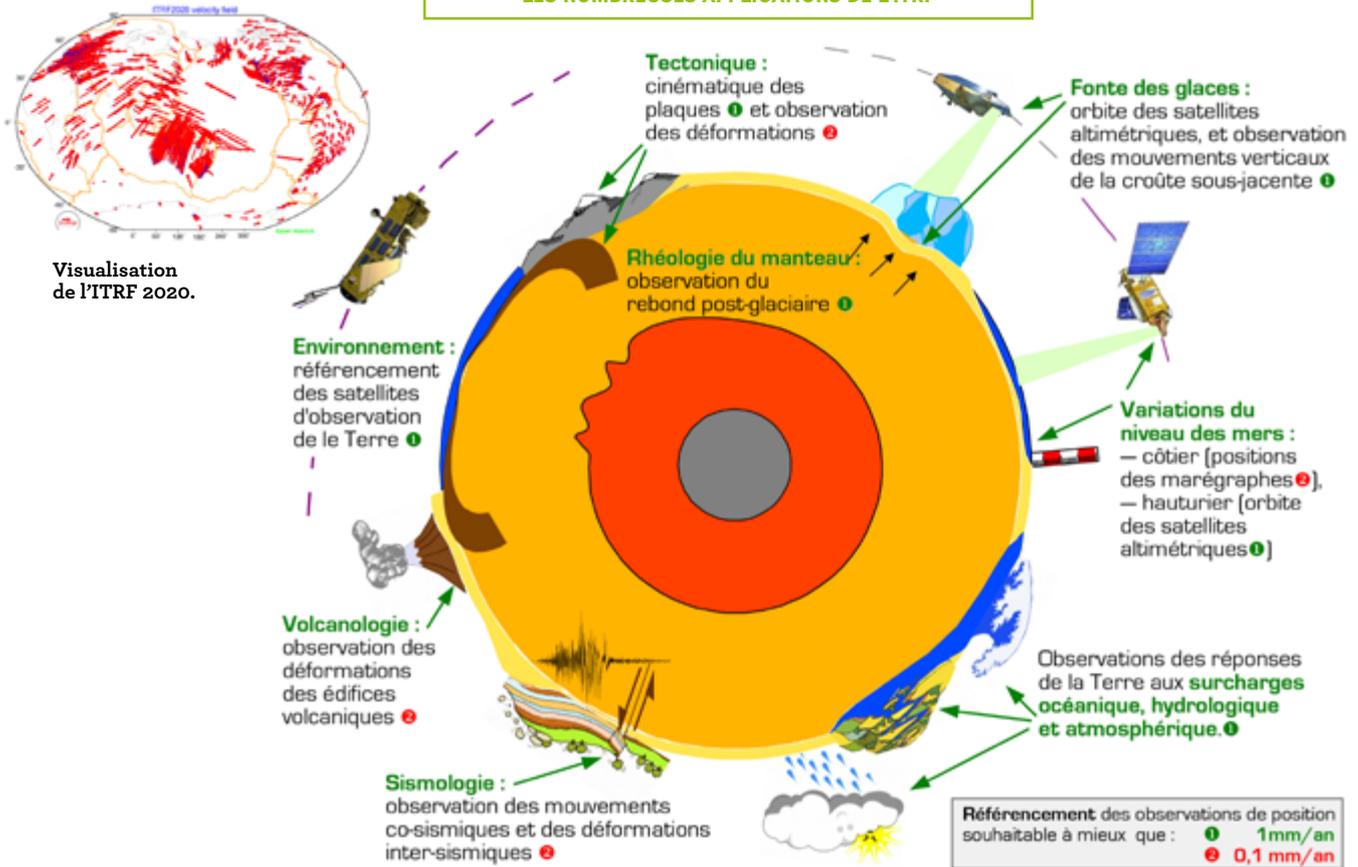
d'« éclaireur » : sur le temps long de l'Histoire, en « temps réel » dans l'urgence des actualités qui se bousculent et dans les futurs possibles autour des scénarios d'une réflexion prospective. Outre la mobilisation de technologies et d'outils d'observation, de suivi et de représentation de plus en plus performants, cet enjeu de continuité nécessite également le renforcement d'une observation et d'une connaissance partagées et coconstruites, de partenariats multiscales avec les parties prenantes et avec les habitants, acteurs centraux d'un « écosystème apprenant » en devenir.

La sensibilisation et la formation d'un large public, une coproduction de l'analyse et un copilotage à travers, par exemple, des représentations spatio-temporelles dynamiques découlent de l'observation en continu des mondes en mouvement. Il ne s'agit pas de contribuer à l'accélération, ni d'accepter un monde en activité permanente, mais de se donner les moyens d'observer et d'analyser ces mutations, de faciliter une prise de conscience et d'imaginer ensemble des territoires et des villes malléables, soutenables et résilientes. La continuité de l'information est la promesse d'une intelligence partagée des espaces et des temps, une proposition pour mieux vivre et mieux « habiter » notre pays et notre planète. L'impératif du vivant. ●



# Le nouveau repère international de référence terrestre

## LES NOMBREUSES APPLICATIONS DE L'ITRF



© Thierry Moens, Olivier de Viron, Olivier Jamet

**L**a mise à jour du repère international de référence terrestre (ITRF, International Terrestrial Reference Frame) est confiée à l'IGN, et l'estimation 2020 est aujourd'hui publiée. L'ITRF, mis à jour tous les cinq ans, est la référence pour la localisation sur laquelle s'appuie la détermination des orbites précises des satellites qui observent notre planète. C'est un socle indispensable pour les scientifiques, astronomes, géodésiens qui étudient les déformations et les mouvements de la Terre. Zuheir Altamimi, directeur de recherche à l'IGN et à l'Institut de physique du globe de Paris, est le responsable, avec son équipe de cinq chercheurs, du centre du repère international de référence terrestre de l'International Earth Rotation and Reference Systems

Service. Il déclare : « Grâce aux résultats de l'ITRF2020, on peut aujourd'hui déterminer avec une précision de quelques millimètres, non seulement le déplacement cosismique, mais aussi la trajectoire pendant la période postsismique – dite de relaxation – d'un point qui a subi un tremblement de terre majeur. Enfin, la détermination de l'ITRF2020 améliore l'étude de son exactitude : on peut, par exemple, non seulement s'appuyer sur le référentiel mondial pour mesurer la montée du niveau des mers, indicateur majeur du changement climatique, mais également quantifier la confiance que l'on peut avoir dans la mesure. » ●



**Pour en savoir plus :**  
<https://itrf.ign.fr/en/solutions/ITRF2020>

CARTOGRAPHIER L'ANTHROPOCÈNE

## L'occupation du sol par l'intelligence artificielle



Surface imperméabilisée (en rouge) détectée par apprentissage profond sur la ville d'Auch.

**L**e 4 juillet ont été mises à disposition les données d'occupation du sol à grande échelle (OCS GE) du département du Gers, une production s'appuyant sur la technologie d'apprentissage profond (*deep learning*). Dans le cadre du dispositif national de mesure de l'artificialisation des sols, un ambitieux programme de production d'un référentiel millésimé de données géographiques décrivant la couverture et l'usage des sols a

débuté avec ce premier département. Ce référentiel permet de suivre finement l'artificialisation des sols, d'observer les territoires de manière précise et de suivre leurs évolutions (portrait de territoire, analyse de la consommation d'espace, analyse des potentiels de densification et de mutation, potentialités écologiques, trames vertes et bleues, etc.). L'intelligence artificielle (IA) répond aux défis d'observation du territoire en proposant, par ce tournant technologique dans les sciences géographiques, une définition du territoire inédite. L'automatisation de la chaîne de production de l'OCS GE est essentiellement basée sur des techniques de télédétection par IA que l'on mobilise pour cartographier des objets. Cette cartographie automatisée repose sur des outils de classification au pixel, d'images à très haute résolution. ●

### Pour en savoir plus :

- Lire page 13 l'article « OSCGE : un temps d'avance »
- Le portail de l'artificialisation des sols : <https://artificialisation.developpement-durable.gouv.fr>

## LES CHIFFRES

# 30 000

abonnés sur le compte LinkedIn de l'IGN en juin. Vous êtes toujours plus nombreux à nous suivre sur [fr.linkedin.com/company/ignfrance](https://fr.linkedin.com/company/ignfrance).

# 80

C'est le temps, en millisecondes, de transmission du signal des satellites Galileo à votre récepteur de navigation pour parcourir 23 222 km.



# 36 99

Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2022, ce numéro qui était celui de l'horloge parlante est aux abonnés absents. Né le 14 février 1933, devenu payant en 2015, ce service de l'heure précise « au quatrième top » n'aura pas survécu à la précision de nos appareils connectés. Mais le site de l'Observatoire de Paris continue d'afficher inlassablement l'heure légale française.

## La boutique IGNrandô



### Canal du Midi

Un canal dans la collection « Découverte des chemins » pourrait sembler une erreur de classement. Pourtant, le canal du Midi est à parcourir autant en bateau qu'à pied ou à vélo. Il est une œuvre d'art et vous trouverez dans cette carte toutes les informations touristiques pour des pauses culturelles de Toulouse à l'étang de Thau, mais aussi des informations pour la navigation.

Prix : 8,95 € TTC  
Échelle 1 : 100 000 (1 cm = 1 km)



### Relief Annecy Mont-Blanc

Du Rhône au Mont-Blanc d'ouest en est et d'Annecy à Chambéry du nord au sud, ce territoire offre une variété de relief la plus remarquable de France. Vous y verrez le lac du Bourget, qui inspira le poème *Le Lac* à Alphonse de Lamartine et ces vers : « *O temps, suspends ton vol! et vous, heures propices, Suspendez votre cours!* »

Prix : 110 € TTC  
Dimensions 83 x 113 cm  
Échelles planimétrique et altimétrique  
1 : 100 000 (1 cm = 1 km)



### Lac d'Annecy et lac du Bourget à vélo

Des centaines d'itinéraires cyclo, VTT, classés par difficulté, distance et durée, pour parcourir des milliers de kilomètres! Cette carte est idéale pour préparer vos parcours avec un lien numérique vers la FFVélo afin de télécharger les tracés GPX pour vos ordinateurs de navigation. Les plus aguerris passeront par le mont du Chat pour une vue panoramique sur le lac du Bourget.

Prix : 8,95 € TTC  
Échelle 1 : 35 000 (1 cm = 350 m)



@UNIV\_PARIS

5 mai 2022

#Recherche I Une étude montre que des redistributions de masses profondes peuvent être observées avant un méga-séisme de zone de subduction, grâce aux mesures du champ de gravité opérées par le satellite GRACE. ➡ [swll.to/rZ6DU9I](https://swll.to/rZ6DU9I) @ipgp\_officiel @IGNFrance @univ\_paris



@GIPCRAIG

6 mai 2022

Retour au bureau après deux jours de terrain en @isere à lever des surfaces de contrôle pour qualifier le #lidarHD d'@IGNFrance Les données seront utiles notamment pour la qualification de l'aléa naturel (inondations, mouvements de terrain, avalanches, chutes de blocs...) #PPRN



@T\_E\_HELOU

25 mai 2022

Effectivement, pour tout savoir sur les forêts françaises et ne pas tomber dans les #caricatures ou #FakeNews relayées par certains, plongez-vous sur le site @IGNFrance riche en informations : #ressource, #santé, #production, #diversité, #protection...



# VOUS L'AVEZ DIT

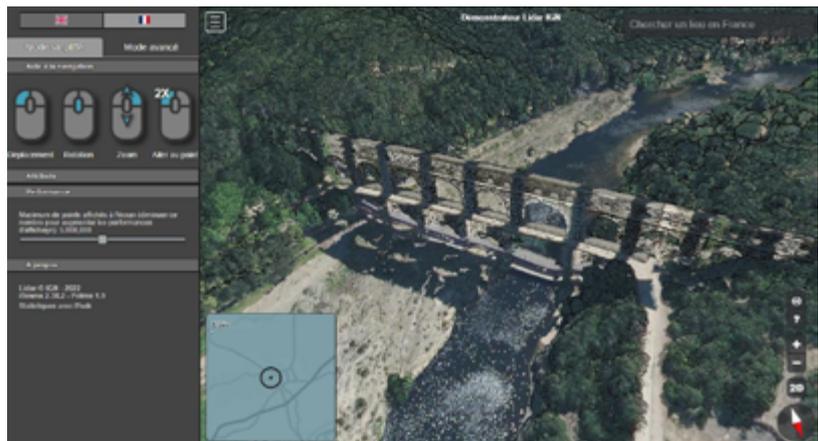
Vous nous faites part de vos réflexions et questions sur les réseaux sociaux. Engageons la conversation !



@JULGAF

16 mai 2022

Encore des données #LIDAR #3D de @IGNFrance en #OpenData ! Cette fois sur le #gard et son fameux pont @pontdugard. À voir en ligne avec #iTowns #Potree : [demo-lidar.ign.fr/?dataset=lidar...](https://demo-lidar.ign.fr/?dataset=lidar...)



@CAPO\_CANELLAS

13 mai 2022

Rapporteur spécial de la Commission des finances @Senat, je réalise un contrôle budgétaire de @IGNFrance. Merci aux équipes de leur accueil pour un échange approfondi sur la formation, la recherche, les géodonnées, l'observation en continu des territoires et des forêts @sorianotech



@PAVILLONBLEU

28 juin 2022

Vous pouvez désormais retrouver les plages et ports de plaisance #PavillonBleu et les hébergements touristiques et restaurants labellisés #ClefVerte sur le @Geoportail Un grand merci à l'IGN pour cette mise en lumière des sites Clef Verte et Pavillon Bleu !



© ISPRS

## CONGRÈS

## International Society for Photogrammetry and Remote Sensing

L'IGN était partenaire du 24<sup>e</sup> congrès de l'International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) qui a eu lieu à Nice du 6 au 11 juin. Près de 1 300 personnes y ont participé en présentiel, près de 300 à distance et plus de 1 500 communications scientifiques ont été présentées dans la semaine. La Société internationale de photogrammétrie et de télédétection est une organisation non gouvernementale vouée au développement de la coopération internationale pour l'avancement de la photogrammétrie et de la télédétection et de leurs applications. Le congrès ISPRS est le principal forum où sont discutés des sujets classiques et émergents liés à la photogrammétrie, la télédétection et aux sciences de l'information spatiale. La précédente édition de ce congrès en France s'était tenue en 1934 à Paris. Le laboratoire LASTIG de l'IGN et de l'université Gustave-Eiffel et les personnels de différents centres de compétences de l'ENSG-Géomatique ont participé activement à cette édition avec onze présentations orales, quinze posters, ainsi que l'animation du stand IGN.

Les nombreux échanges avec les scientifiques internationaux et les entreprises du domaine de la géomatique et de l'observation de la Terre ont montré l'excellent dynamisme du laboratoire et la pertinence de sa recherche à l'international. Plusieurs chercheurs de l'IGN ont également été récompensés de manière individuelle : Marc Pierrot-Deseilligny a reçu le Giuseppe Inghilleri Award pour sa contribution exceptionnelle au développement et aux applications de la photogrammétrie ; Emmanuel Clédât a reçu le prix du meilleur article étudiant dans la catégorie « Capteurs » ; et Rahima Djahel a reçu le prix du meilleur article étudiant dans la catégorie « Photogrammétrie ».

### ✚ Pour en savoir plus :

Congrès ISPRS : [isprs2022-nice.com](https://isprs2022-nice.com)  
 Laboratoire LaSTIG : [umr-lastig.fr](https://umr-lastig.fr)  
 ENSG-Géomatique : [ensg.eu](https://ensg.eu)

## APPEL À PROJETS

## Favoriser l'exploitation des données lidar!

Pour faciliter l'exploitation des données lidar et favoriser l'émergence de projets innovants, l'IGN propose un dispositif d'accompagnement et lance l'appel à projets IGNfab « Donne du relief à tes projets avec les données lidar ». Avec le programme Lidar HD, la France est le premier pays à initier une couverture lidar haute densité pour disposer d'une

description du sol et du sursol très précise. Cet appel propose aux start-up et aux PME d'accélérer de nouveaux services et produits à très forte valeur ajoutée en bénéficiant d'un accès aux données Lidar HD, à l'expertise et aux réseaux institutionnel et partenarial de l'IGN. L'appel est ouvert jusqu'au 26 août.

✚ Pour en savoir plus : [ignfab.ign.fr](https://ignfab.ign.fr)



© DR

## UNE HISTOIRE HUMAINE

## Var Verdon Canyon Challenge

Être au cœur de l'événement, partager une passion et fouler le même terrain. Le dimanche 26 juin avait lieu le trail Var Verdon Canyon Challenge, une des toutes premières épreuves de course à pied en pleine nature de France, sur des distances de 21 à 60 km. La rencontre entre l'organisateur du trail Var Verdon Canyon Challenge, grand utilisateur d'IGNrando', avec les animateurs du site IGNrando', passionnés de trail, ne pouvait qu'être amicale et fructueuse. Cette proximité a facilité le contact avec les participants pour leur présenter l'application mobile IGNrando', comme la possibilité de partage de connexion pour que les accompagnants puissent suivre leurs proches et la gratuité pendant une semaine pour sa version premium. Du cœur à l'ouvrage pour deux agents IGN qui se sont eux aussi lancés dans la course pour finir premier des 60 km chez les hommes et première des 30 km chez les femmes. « Ici, c'est plus que loin, c'est ailleurs! » disait Jean Giono du Verdon. Un ailleurs qui nous invite à revenir.



# Les temps de l'IGN



**Longtemps, le temps du géographe était celui de l'arpenteur. Il est désormais celui de la data, du GNSS, de l'urgence climatique, de l'anticipation. Avec l'observation du territoire en continu et la cartographie de l'anthropocène, l'IGN s'est assigné le double objectif de maîtriser l'instant et la durée.**





© IGN

Beechcraft Super King Air 200 de l'IGN au décollage pour une mission de prises vues aériennes.



## En 44 ans

de maison, Didier Moisset peut témoigner du passage du temps à l'IGN. « Lorsque je suis arrivé, en 1978, la réalisation d'une carte était le fruit d'un long processus. Des topographes partaient, parfois à vélo, faire des observations sur le terrain, puis venaient les temps du calcul, du dessin et enfin de la publication. Désormais, nous sommes dans l'immédiateté », semble regretter le directeur adjoint des opérations et des territoires. Il cite Saint-Exupéry - « C'est le temps que tu as perdu pour ta rose qui fait ta rose si importante » -, évoque l'importance de la connaissance du temps pour déterminer

sa position au regard des étoiles - « Notre capacité à nous situer en un point précis sur le globe a toujours reposé sur notre maîtrise du temps » -, et explique comment les progrès des capacités de l'informatique, hier, et de l'intelligence artificielle, aujourd'hui, tentent d'effacer ce temps si précieux.

### S'affranchir du temps

Une tentative un peu vaine : données comme modèles mathématiques ne peuvent s'affranchir totalement du terrain qui en garantit la fiabilité. Et le terrain, ce sont d'abord des hommes, qui courent après le temps. Quand, alertés par le Service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision



© IGN

les capteurs Geocube installés par l'IGN surveillent les déformations du pont de Brotonne depuis 2017 en temps réel.

des inondations (SCHAPI), les avions de l'IGN décollent en urgence pour photographier les pics de crues, la réactivité des équipes et les images qu'elles collectent et traitent servent à calibrer les modèles prédictifs. Une cartographie expresse qui entend presque devancer les événements. Artificialisation des sols, espèces invasives, recul du trait de côte : la cartographie de l'anthropocène est une cartographie anticipative où les observations nourrissent les prévisions pour mieux maîtriser les risques. Des **géocubes** connectés entre eux surveillent ainsi des déformations de structure de l'ordre de quelques millimètres et donnent automatiquement l'alerte. « On les a aussi utilisés pour surveiller le mouvement du glacier d'Argentière », indique le directeur adjoint. Ainsi la surveillance en temps réel, la mesure à la seconde, sert à qualifier des phénomènes géologiques. *O tempora...*

## Le temps commun

« Le collaboratif démultiplie la capacité à observer le terrain et aide à cartographier des phénomènes évolutifs pour la mise à jour continue des bases de données », explique Didier Moisset. Ainsi, lorsqu'en 2020, le premier confinement empêchait d'envoyer des agents sur le terrain, il a eu l'idée de demander aux maires de l'Yonne de réaliser eux-mêmes le prébalisage, une marque de peinture au sol, indispensable pour caler avec une précision de 10 cm les orthophotographies réalisées pour le **PCRS**. « Nous avons ainsi rattrapé le temps perdu du confinement » souligne-t-il avec humour. L'application utilisée par les élus pour signaler à l'IGN l'emplacement de leurs repères est Aléa, celle qui a permis de localiser plus de 37 000 bornes de propriété par la participation citoyenne. Pour l'IGN, le collaboratif est la clef de l'observation en continu du territoire. Adeline Coupé, chef de projets outils collaboratifs et **géoplateforme** à la direction des programmes et de l'appui aux politiques publiques, en est convaincue : « Les utilisateurs font plus qu'apporter de la donnée. Ils participent aussi à l'évolution des outils, qui à leur tour entraînent de nouveaux usages. » Ensemble on va plus loin, plus vite. ●

« Notre capacité à nous situer en un point précis sur le globe a toujours reposé sur notre maîtrise du temps. »



## LEXIQUE

### **Géocube**

Un récepteur GNSS autonome ultra-compact, ultra-précis, développé par le Laboratoire en sciences et technologies de l'information géographique pour la ville intelligente et les territoires durables de l'IGN et l'UGE.

### **PCRS**

Le Plan de corps de rue simplifié est un plan topographique de voirie à très haute résolution pour le repérage des réseaux enterrés, obligatoire à compter de 2026, et pour lequel l'IGN est référent national.

### **Géoplateforme**

Futur espace public de l'information géographique, cette infrastructure collaborative et mutualisée a pour objectif de favoriser la production et la diffusion des géodonnées pour éclairer la décision publique.



## Ouverture de la BD TOPO : une révolution copernicienne

En offrant à certains partenaires de confiance la possibilité d'écrire directement dans sa base de données de référence, la BD TOPO (Base de données topographiques), l'IGN renforce son observation du territoire en continu en s'appuyant sur une connaissance riche et actualisée qui répond aussi aux besoins des utilisateurs.



### An 2000

« Efficace et rapide. » Elise-Rachel Mathis, qui dirige l'équipe chargée de la production de la BD TOPO, résume d'une formule l'intérêt de l'ouverture de la base de données à des utilisateurs de confiance, qui ont désormais la possibilité d'y saisir directement des informations.

### Une évolution rapide

Depuis 2000, des réseaux de correspondants locaux participent à la mise à jour en continu de la BD TOPO. Un espace collaboratif a progressivement vu le jour, dans lequel ils effectuaient leurs signalements. « Avec les correspondants, nous allions chercher l'alerte, puis avec le signalement, c'est l'alerte qui est venue à nous », souligne Elise-Rachel Mathis. Mais la mise à jour des données dans la base restait du seul ressort des équipes de l'IGN.

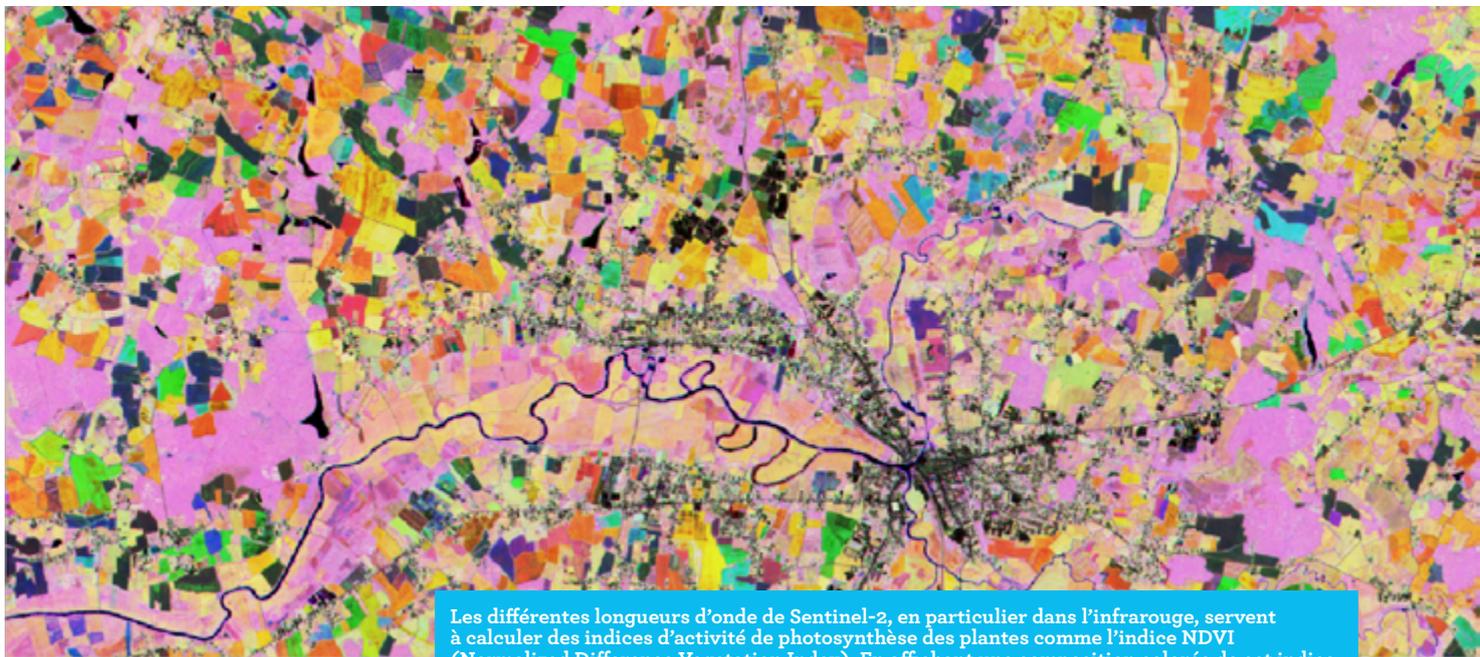
En 2021, l'IGN est allé plus loin dans cette ouverture en expérimentant la « contribution directe » : des partenaires de confiance peuvent eux-mêmes mettre à jour directement la BD TOPO, sans intervention de l'IGN. Pour la chef de produit, cette évolution est dans la continuité de l'existant, mais c'est aussi une révolution copernicienne : « L'IGN n'est plus au centre du système. La BD TOPO doit trouver une

*nouvelle position entre la donnée de référence et les géocommuns (capacité à produire de la géodonnées selon le concept « des communs »). Cela interroge nos manières de travailler et nos relations avec nos partenaires. C'est passionnant. »*

### Accélérer encore

Aux côtés des services départementaux d'incendie et de secours du Finistère et du Vaucluse, le conseil départemental du Gard a été l'un des premiers partenaires de l'IGN à pouvoir enrichir directement la BD TOPO de l'IGN. « Je ne fais des saisies directes que lorsque je suis absolument certain de ma contribution ; au moindre doute, je préfère effectuer un signalement », explique Michaël Galien, chargé du système d'information à la direction générale adjointe mobilité et logistique du conseil départemental du Gard. Pourtant, le gain de temps est significatif : « Quand je fais un signalement, je dois le justifier, m'expliquer, fournir des pièces jointes. Puis je dois vérifier qu'il a été pris en compte et que les corrections apportées sont les bonnes. En faisant moi-même la saisie, la correction est intégrée à la base de données dès le lendemain », se réjouit-il. Pour lui, le progrès est manifeste. « Il faut sortir de la phase expérimentale. Si les départements limitrophes bénéficiaient aussi de cette ouverture, les échanges et la collaboration s'en trouveraient facilités. Évidemment, il faut maintenir une forme d'accompagnement par l'IGN et ne pas être laissés seuls avec l'outil », conclut Michaël Galien. ●

# Sentinel : le tour du monde en 5 ou 6 jours



© IGN

Les différentes longueurs d'onde de Sentinel-2, en particulier dans l'infrarouge, servent à calculer des indices d'activité de photosynthèse des plantes comme l'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). En affichant une composition colorée de cet indice à trois dates (ici, novembre 2018, janvier 2019 et avril 2019) avec les canaux bleu, vert et rouge, on représente le cycle phénologique de la végétation et différentes espèces de plantes. On distingue en violet léger les forêts de feuillus, dont l'indice varie selon les saisons, en blanc les conifères dont la valeur reste la même, en noir les zones sans végétalisation...



## Regarder l'herbe pousser

Ingénieure au sein du service innovation, maturation et valorisation à la direction des systèmes d'information de l'IGN, Apolline De Wit s'appuie sur la constellation de satellites Sentinel-2 de la mission Copernicus de l'Agence spatiale européenne pour observer les cultures, les pelouses, les terres labourées. « Ces satellites en orbite basse font le tour de la Terre en cinq jours. Nous avons donc six revisites d'une même zone tous les mois, ce qui est parfait pour observer des évolutions. L'idée est bien d'enrichir les données dont nous disposons sur la couverture des sols grâce à ces images satellites », explique la jeune ingénieure. Avec un pas de temps de cinq jours contre trois ans pour les photographies aériennes de l'OCS GE (voir ci-après), les satellites offrent un monitoring en continu du territoire, idéal pour détecter les phénomènes évolutifs comme la déforestation ou le suivi du développement saisonnier des végétaux. Même si la résolution de leurs images laisse à désirer : 10 m à 60 m pour Sentinel-2, contre 5 cm à 50 cm de résolution spatiale pour les orthophotographies aériennes... « Les données ouvertes de Sentinel, mais aussi celles d'autres gammes de satellites sont précieuses pour observer le changement, surtout lorsqu'elles sont associées à l'intelligence artificielle », précise Nicolas David, le chef de projet innovation, qui souligne l'appui apporté par le Centre d'étude spatiale de la biosphère pour parvenir à automatiser la classification des images Sentinel. ●



## Traverser les nuages

Doctorant au LASTIG, Anatol Garioud vient de rejoindre Apolline De Wit et Nicolas David dans le service innovation, maturation et valorisation. Il s'est intéressé, pour sa thèse, à la dynamique intra-annuelle des prairies, mais a opté pour Sentinel-1, dont les capteurs radars permettent leur suivi y compris en cas de couverture nuageuse. Le temps de revisite est de six jours. Analyser la donnée radar et la transformer en un résultat simple à interpréter n'est pas une mince affaire. « Nous utilisons l'apprentissage profond pour associer les différents descripteurs issus du radar, des données météo et topographiques avec des observations optiques de Sentinel 2 afin d'aboutir à un indice de végétation (NDVI) sans dates manquantes », explique Anatol Garioud. Testé sur plusieurs centaines de milliers de parcelles (de prairies mais aussi de cultures ou sur du couvert forestier), couvrant 13 % du territoire national, l'approche fonctionne bien.

# OCS GE : un temps d'avance

Depuis 2013, l'IGN produit une base de données de référence pour la description de l'occupation du sol de l'ensemble du territoire métropolitain et des départements et régions d'outre-mer, l'occupation du sol à grande échelle (OCS GE). La nomenclature de ce produit a permis de préciser les contours de l'objectif de zéro artificialisation nette en 2050 fixé par la loi Climat et Résilience du 22 août 2021. L'outil a devancé les attentes. Une anticipation bienvenue face à l'urgence climatique.



## En décembre 2017,

un rapport d'expertise de l'INRA (actuel INRAE), réalisé à la demande des ministères de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Ademe, examinait les causes et les conséquences de l'artificialisation des sols ainsi que les moyens d'en limiter l'extension et les impacts environnementaux. « Ce rapport a défini les objectifs à atteindre au regard de l'outil existant », se souvient Frank Fuchs, chef du département d'appui à l'innovation de l'IGN et directeur du

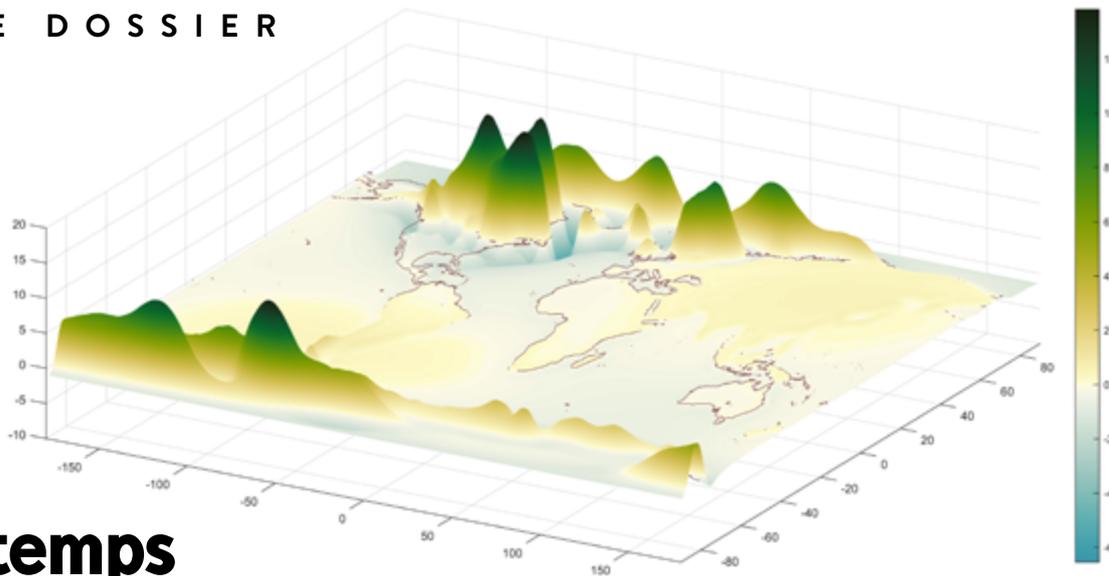
projet OCS GE. Depuis 2013, en associant orthophotographies aériennes et multiples données vectorielles, l'institut a couvert près de 36 départements, soit environ 30 % du territoire. « Pour répondre à la feuille de route fixée par l'État, à savoir une réduction de la consommation des sols de 50 % en 2031 par rapport à 2021, et atteindre le zéro artificialisation nette en 2050, l'outil a dû être modifié », indique Frank Fuchs.

## Une montée en puissance

Cette modification représente une accélération stupéfiante. Déployé sous forme de prototype sur le bassin d'Arcachon entre 2020 et 2021, l'OCS GE nouvelle génération a été testée en grandeur nature sur le département du Gers jusqu'à l'été 2022. À partir de septembre, pendant deux ans et demi, à raison de quatre départements par mois et pour deux millésimes, l'OCS GE va couvrir l'ensemble du territoire. « Nous produirons ensuite un millésime par département, tous les trois ans », précise le directeur du projet. Derrière cette montée en puissance du dispositif : l'intelligence artificielle (IA). « Nous utilisons l'apprentissage profond pour classifier au pixel les orthophotos à une résolution de 20 cm. L'IA distingue 19 classes d'occupation du sol, que nous regroupons dans l'OCS GE en 14 classes et 19 types », détaille l'expert, qui voit volontiers le recours à l'apprentissage profond pour la classification des ortho-images s'imposer comme un standard de l'IGN. « Les codes et données de l'IA produits et utilisés dans OCS GE sont ouverts aux communautés scientifiques à qui nous proposons des défis à relever pour accélérer la résolution des verrous technologiques », conclut Frank Fuchs. Une mise en commun qui est aussi un facteur d'accélération. ●



Dans le Gers, la comparaison entre les millésimes 2016 et 2019 de l'OCS GE fait apparaître l'extension d'une zone industrielle et/ou commerciale.



Le mouvement du sol engendré aujourd'hui par le rebond postglaciaire (vitesses verticales en mm/an, basées sur le modèle de rebond postglaciaire ICE-6G de Peltier et al., 2015).

## Le temps géodésique

Des phénomènes survenus il y a 15 000 ans affectent les mesures réalisées aujourd'hui. Quand il s'agit de développer le repère international de référence terrestre (ITRF) les géodésiens de l'IGN passent du temps géologique au milliardième de seconde, du mouvement des plaques tectoniques à la présence de gouttelettes dans l'atmosphère...



« Il y a environ 16 000 ans,

la calotte polaire, qui recouvrait la totalité du Canada et de la Scandinavie a commencé à fondre, augmentant le niveau des mers de 1 cm par an en moyenne », raconte Laurent Métivier, membre de l'équipe géodésie de l'unité mixte de recherche de l'Institut de physique du globe de Paris et de l'IGN. Cette déglaciation a changé le profil de nos littoraux, avec une élévation des eaux de près de 120 m en moyenne, mais elle continue à produire des effets à travers ce que l'on appelle le rebond postglaciaire. « Quand la masse de glace qui pesait sur eux a disparu, les sols sont remontés. Cette déformation se poursuit lentement en raison de la viscoélasticité des roches sous la croûte terrestre à raison d'une dizaine de millimètres tous les ans, ce qui est beaucoup », explique le chercheur de l'équipe chargé de la production de l'ITRF. Ce référentiel qu'il faudrait, dans l'idéal, pouvoir définir à 1 mm près avec une stabilité annuelle de 0,1 mm, est indispensable pour se positionner précisément à la surface de la Terre ou dans l'espace. Sa détermination s'appuie sur un réseau mondial d'environ 1500 stations et plusieurs techniques de géodésie spatiale (mesures Doppler, laser, interférométrie longue base, GNSS). Le mouvement horizontal de ces stations, soumises aux mouvements des plaques tectoniques, bien que très significatif (jusqu'à 10 cm par an pour les sites les plus exposés) est facilement modélisable. Le mouvement vertical des stations soumises au rebond postglaciaire est plus complexe. « Aujourd'hui, les stations permanentes sur les côtes du Groenland, mais aussi en Antarctique et, dans une moindre mesure, en Alaska s'élèvent de façon régulière en raison de la fonte des glaces

### Roymage : une horloge pour la gravité

Comme l'a prédit Einstein, une horloge située en altitude avance par rapport à une horloge au sol. Porté par le Service hydrographique et océanographique de la Marine, l'Institut de physique du globe de Paris, le Laboratoire systèmes de référence temps-espace de l'Observatoire de Paris et l'IGN, le projet Roymage, financé par l'Agence nationale de la recherche, consiste à utiliser cette dilatation du temps pour mesurer le potentiel de pesanteur sur Terre. En comparant des horloges optiques d'une précision de  $1 \times 10^{-18}$ , il est possible de mesurer les altitudes avec une précision de 1 cm. Pour cela, il faut que ces horloges soient transportables et reliées entre elles par un réseau optique. Une première expérience réalisée entre Turin et le tunnel de Fréjus en février 2018 a démontré la faisabilité de ce concept qui pourrait unifier les références d'altitude de tous les pays et améliorer nos modèles de géoïde\*.

\* Le géoïde est la surface du potentiel de pesanteur terrestre qui coïncide au mieux avec le niveau moyen de la mer.

qui découle du réchauffement climatique. Il est manifeste que le changement climatique déforme la planète », indique Laurent Métivier. Cet effet récent s'enchevêtre avec le rebond postglaciaire et les deux phénomènes se cumulent. « La version 2020 de l'ITRF n'est pas très éloignée de l'ITRF 2014, mais on voit que localement, des stations subissent des changements importants qui pourraient affecter la position du centre de masse. Nous réfléchissons à procéder à des révisions plus fréquentes ou à faire évoluer nos méthodes pour mieux tenir compte de ces modifications », conclut l'expert. ●




1  
SECONDE

## « Nos pieds vieillissent moins vite que nos têtes »

**Pacôme Delva**, astrophysicien, est enseignant-chercheur à Sorbonne université et à l'Observatoire de Paris, où il est responsable de l'équipe scientifique théorie et métrologie du laboratoire Systèmes de référence temps-espace (SYRTE).

### Que faites-vous au sein du SYRTE ?

**Pacôme Delva** : Après une formation assez classique en astrophysique, j'ai découvert au laboratoire du SYRTE la métrologie et le transfert de temps et de fréquence. Depuis 1967, le système international d'unités ne considère plus la seconde comme une unité astronomique, un  $1/86\,400^e$  d'une journée, mais la définit à partir d'un phénomène atomique : la période de radiation d'une transition de l'atome de césium. Nous fabriquons donc la seconde au moyen d'horloges atomiques qui atteignent aujourd'hui une précision de l'ordre de  $10^{-16}$ . Le SYRTE dispose de trois fontaines atomiques qui servent à étalonner l'échelle de temps libre en corrigeant la moyenne pondérée de plus de 400 horloges atomiques réparties dans le monde. Nous contribuons ainsi à fabriquer le temps atomique international.

### Vous utilisez aussi ces horloges atomiques pour tester la théorie de la relativité ?

**P.D.** : Selon la théorie de la relativité générale, plus on s'approche d'une masse, plus le temps s'écoule lentement, par rapport à une horloge de référence très éloignée. Plus on s'éloigne de la Terre, plus le temps s'accélère. Nos pieds vieillissent moins vite que nos têtes, pour un centenaire d'1,80 m, cela fait une différence d'environ 1 microseconde. Prédit par Einstein dans les années 1920, ce phénomène a été mesuré avec précision en 1976, lorsqu'un maser à hydrogène synchronisé avec une horloge atomique au sol a effectué un vol parabolique de deux heures en fusée. En 2014, deux satellites destinés à la constellation Galileo ont, par accident, été placés sur une orbite elliptique, qui les faisait passer d'une altitude de

13 713 km à une altitude de 25 900 km. Comme ces satellites renfermaient les meilleures horloges atomiques de tous les systèmes GNSS, nous avons réussi à convaincre l'Agence spatiale européenne de se saisir de cette occasion pour mettre une nouvelle fois à l'épreuve la théorie de la relativité. La théorie a été une nouvelle fois confirmée. En 2024, avec la mission ACES/Pharao, nous allons placer une fontaine à atomes froids dans la station spatiale européenne pour tester à nouveau, avec une plus grande précision encore, le décalage gravitationnel des horloges par rapport à la Terre.

### Pourquoi renouveler ces expériences ?

**P.D.** : La physique moderne nous enseigne d'abord que nous ne savons pas grand-chose. Physique quantique et physique à grande échelle ne se combinent pas. Dans l'espace, 97 % du contenu en énergie et en masse reste inconnu. Nous menons donc des expériences, avec des mesures de plus en plus précises pour mettre en défaut nos modèles théoriques et mieux comprendre le monde. Mais pour le moment, Einstein tient le coup. •

### D A T E S C L É S

#### 2007

**Thèse d'astrophysique** à l'Université de Paris-VI : « Outils théoriques pour la gravitation expérimentale et applications aux interféromètres et cavités à ondes de matière ».

#### 2008-2010

**Postdoctorat** aux Pays-Bas, à l'Agence spatiale européenne.

#### Depuis 2010

**Enseignant-chercheur** au SYRTE de l'Observatoire de Paris et de Sorbonne université.

#### 2020

**Reçoit la médaille** de l'Académie de l'air et de l'espace pour sa contribution à la vérification d'un principe de la relativité générale à l'aide d'horloges atomiques.

#### 2024

**Lancement de la mission ACES/Pharao** qui va installer une horloge à atomes froids sur la station spatiale européenne.

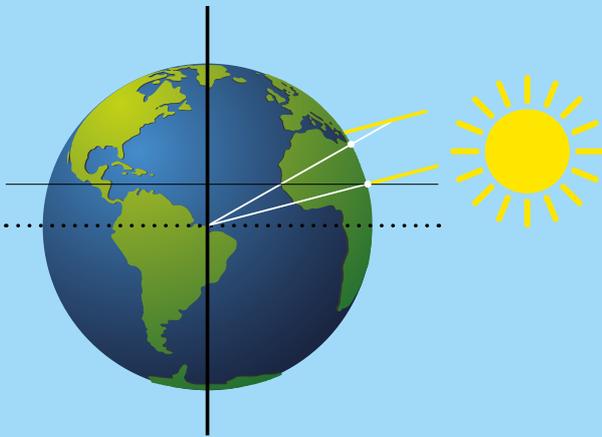


# Prendre le temps

Seule la maîtrise du temps permet de se situer dans l'espace. Voyage à travers les âges.

## Le soleil et les étoiles

Les premiers voyageurs, sur terre puis en mer, calculaient l'heure par l'observation du soleil et s'orientaient grâce aux étoiles. En comparant les ombres du soleil à son zénith, le même jour en deux sites éloignés de 5 000 stades (820 km), Ératosthène, astronome et père de la géographie, a déterminé la circonférence de la Terre.



**v. 220 av. J.-C.** Ératosthène calcule la longueur du méridien terrestre



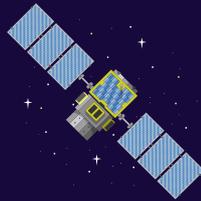
## Les horloges marines

Au XVIII<sup>e</sup> siècle, en embarquant à leur bord les premiers chronomètres marins, les navigateurs au long cours calculent leur longitude, tandis que tables astronomiques et sextants les renseignent sur leur latitude. Au niveau de l'équateur, une erreur d'une seconde de temps correspond à une erreur de position d'un quart de mille nautique (463 mètres).

**1736.** Expérimentation du premier chronomètre de marine

## Les satellites

En comparant l'heure d'émission et de réception des signaux émis à la vitesse de la lumière par quatre satellites des constellations GNSS, les récepteurs au sol calculent la distance qui les sépare des émetteurs. Horloges au sol et dans l'espace doivent se synchroniser (le temps s'écoule différemment à des vitesses et altitudes différentes) : un décalage d'un milliardième de seconde se traduit par une erreur de mesure au sol de 30 cm. Des stations au sol, le réseau GNSS permanent (RGP) combine les fréquences de toutes les constellations GNSS mondiales de manière continue, et corrige ces données qui sont aussi altérées par l'humidité dans la troposphère et le rayonnement solaire dans l'ionosphère.



**1964.** Transit, premier système de positionnement par satellite

# 10<sup>-18</sup> s

La seconde représente 1/86 400 d'une journée de 24 heures. Depuis 1967, cette définition issue de l'astronomie a été remplacée par une mesure physique. Désormais, la seconde correspond à 9 192 631 770 périodes de radiation d'un atome de césium. Le GPS repose sur cette précision, de l'ordre de 10<sup>-16</sup>.

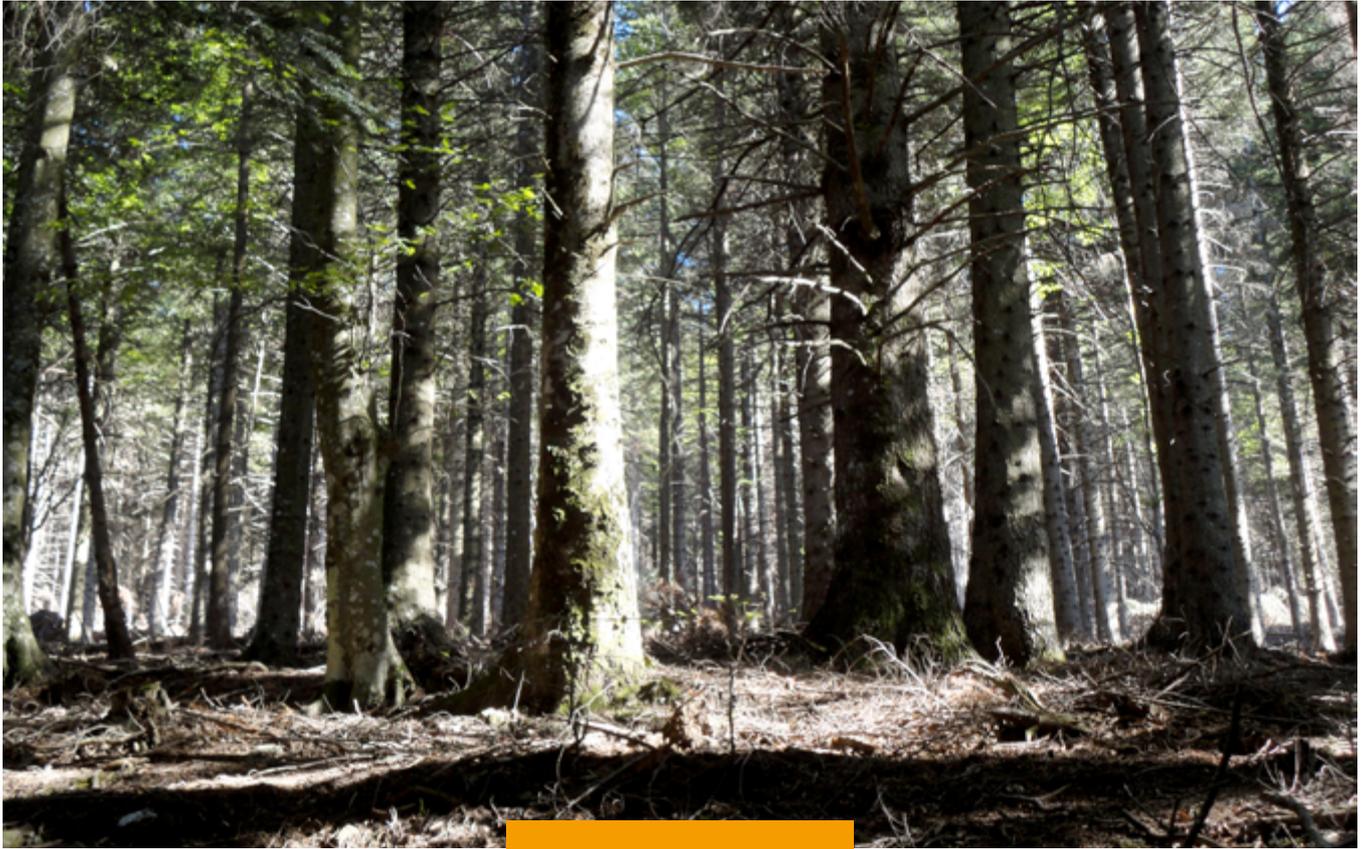
De nouvelles horloges optiques portent cette précision à 10<sup>-18</sup>, ce qui pourrait aboutir à l'adoption d'une nouvelle définition de la seconde par le Comité international des poids et mesures...

**2030.**  
Révision de la seconde ?

## LA FORÊT par tous les temps

Des traces les plus anciennes de l'exploitation humaine aux effets les plus récents du changement climatique, la forêt vit « plusieurs échelles de temps », qui s'entremêlent et s'influencent. Les experts de l'IGN – équipes de terrain de l'inventaire forestier en tête – s'emploient à en rendre compte de manière toujours plus complète et plus précise. Car plus que jamais la forêt est au cœur des enjeux de demain.





© E. Boneau

PLAN D'ACTION

# Au chevet des forêts anciennes

Un plan national « Vieux bois et forêts subnaturelles » pour préserver des espaces rares.



**En mars 2022,**

après plusieurs mois de travaux, les Assises de la forêt et du bois ont pris fin. Voulues par le gouvernement pour faire converger les stratégies de l'ensemble des acteurs de la forêt française et relever d'un même mouvement les défis de la transition écologique et de la souveraineté nationale, elles débouchent sur de nombreuses mesures concrètes. Parmi elles, le plan national d'action « Vieux bois et forêts subnaturelles » prévoit la création d'ici à 2030 d'aires forestières anciennes protégées pour leur biodiversité, riche, rare et précieuse. « *Beaucoup de forêts donnent l'impression d'avoir conservé intact leur potentiel de naturalité mais c'est rarement le cas, explique Ingrid Bonhême, ingénieure d'étude au département d'analyse des forêts et des haies bocagères de l'IGN. Assez peu ont échappé, au cours de notre longue histoire, au*

*défrichement ou à la mise en culture. Or, nous savons aujourd'hui que ces épisodes altèrent irrémédiablement le fonctionnement de l'écosystème. En effet, les forêts anciennes largement épargnées par la main humaine présentent une richesse bien supérieure aux autres. Elles ont conservé leurs essences naturelles régionales et également une certaine part de vieux arbres et de bois mort, dont 25 % des espèces forestières ont besoin pour prospérer. Nous les appelons forêts subnaturelles. Ce sont celles que nous devons protéger en priorité pour ménager l'avenir et, pour cela, nous devons d'abord les identifier et les cartographier.* »

## Sortir la biodiversité de sa réserve

Bien avant la tenue des Assises, l'IGN s'est emparé de ce sujet. En Nouvelle-Aquitaine, des cartes d'état-major datant



# « 25 % des espèces forestières ont besoin des vieux arbres ou du bois mort pour prospérer. »



de la moitié du XIX<sup>e</sup> siècle – quand la forêt française était à son étiage – ont été croisées avec les cartes actuelles, les indices de naturalité relevés sur les placettes de l'inventaire forestier et les observations de divers acteurs de terrain. Verdict : si les forêts anciennes représentent 37 % des forêts actuelles de Nouvelle-Aquitaine, très peu d'entre elles sont des forêts subnaturelles et, sans surprise, celles-ci sont essentiellement situées dans les Pyrénées. De son côté, l'INRAE expérimentait une autre méthode d'identification basée sur des relevés lidar. Pour aboutir à un protocole unique, les deux instituts viennent de lancer ensemble deux tests d'envergure : l'un dans le parc naturel régional du Massif des Bauges, en Savoie et en Haute-Savoie, l'autre dans la forêt de Haguenau, en Alsace. Sans attendre, l'IGN a commencé à assembler une première carte nationale des aires déjà identifiées. Elle alimentera la rédaction du Plan national d'action, qui doit commencer dès 2023 pour une entrée en application en 2026. « Parce qu'il ne cesse de s'enrichir de nouvelles observations naturalistes, l'inventaire forestier est appelé à jouer un rôle croissant dans la protection des richesses de la forêt, poursuit Ingrid Bonhême. Jusqu'à nous rendre capables de suivre tous les vieux bois, vivants ou morts, même hors des zones protégées. Le Plan national d'action prévoira d'ailleurs de relier entre elles les forêts subnaturelles par un réseau de vieux bois. De proche en proche, leur précieuse biodiversité pourra ainsi gagner de nouvelles zones, pour y rendre de nouveaux services écosystémiques. » Comme une main tendue du passé au présent... ●

## ✚ Pour en savoir plus:

[www.labase-lextenso.fr/sites/lextenso/files/lextenso\\_upload/2022.03.16\\_clotureassisesforetbois\\_0.pdf](http://www.labase-lextenso.fr/sites/lextenso/files/lextenso_upload/2022.03.16_clotureassisesforetbois_0.pdf)

## LEXIQUE

### **Forêt ancienne**

Forêt demeurée en usage forestier depuis 150 ans ou plus.

### **Forêt subnaturelle**

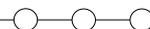
Forêt ancienne présentant en outre des caractéristiques de maturité et de naturalité attestant d'une intervention humaine limitée.

## PAROLE D'EXPERT

---

### Olivier Girardclos

Ingénieur de recherche au CNRS



« La dendrochronologie, cet art de dater avec précision l'âge des bois anciens en étudiant leurs cernes, est désormais bien connue...

Pour préciser l'impact des sociétés anciennes sur les forêts, nous avons aussi recours à la dendro-anthracologie, l'étude des charbons de bois. Il est en effet possible, à partir de ceux-ci, de déterminer l'essence et le diamètre des bois coupés et, dans les cas favorables, s'il s'agit de troncs ou de branches.

Ces indices s'ajoutent aux connaissances des historiens, des archéologues et des botanistes pour comprendre quand et comment un site a été exploité : en taillis, en futaie, en pâturage boisé ou prés-bois... Avant la révolution industrielle, le bois occupait une place immense dans notre économie, avec une très forte concurrence entre le bois énergie et le bois d'œuvre qui a inspiré la célèbre ordonnance de 1669, ancêtre de notre code forestier. À l'étude, on découvre le plus souvent une alternance d'usages, qui peuvent remonter jusqu'à l'époque romaine. L'erreur serait de s'arrêter sur l'un ou l'autre : tous ont leur part dans le potentiel de la forêt à répondre à nos besoins les plus actuels. »



# L'inventaire répond présent

Grâce à l'inventaire en continu, l'IGN produit chaque année une photographie récente de la forêt métropolitaine. Tout en gardant la profondeur de temps qu'exige la décision publique.



© IGN

timètres et plus mais aussi mesurer la pression immédiate des grands ongulés, friands de celles-ci. À la création de l'établissement public<sup>1</sup>, en 1958, leur travail était « seulement » destiné à estimer la ressource économique en bois. Il est progressivement devenu la première source de données sur la biodiversité de la forêt métropolitaine. Le passage en 2005 à un protocole continu où, chaque année, l'Hexagone est visité dans son intégralité en près de 15 000 placettes, dont la moitié de revisites après 5 ans, l'a aussi rendu capable de détecter des phénomènes se jouant sur des pas de temps raccourcis, le rapprochant d'une photographie instantanée.

## Les scolytes dans l'épaisseur du trait

« Nous n'en sommes pas là et ce n'est pas l'objectif, tempère Stéphanie Wurpillot, chef du service de l'information statistique forestière et environnementale de l'IGN. D'abord parce

que, si nos chiffres sont actualisés chaque année, il s'agit de statistiques basées sur des données dont l'âge moyen est de 2,5 ans, puisqu'il en faut 5 pour visiter ou revisiter le nombre requis de placettes. Ensuite parce que notre modèle doit justement sa robustesse à cette profondeur de temps. La raccourcir lui ferait courir le risque d'exagérer la portée des événements ponctuels au détriment d'un suivi des tendances de fond, qui intéressent elles aussi la décision publique. » La lenteur de la méthode fait pourtant apparaître « dans l'épaisseur du trait » les récents ravages des scolytes sur l'épicéa ou des sécheresses sur les châtaigniers méridionaux. Ces fléaux seront placés sous surveillance « rapprochée » au moyen de travaux complémentaires, comme ceux conduits dans le cadre du projet Sylviculture de précision en Nouvelle-Aquitaine, piloté par le CNPF<sup>2</sup>, en lien avec Dynafor, une unité mixte de recherche toulousaine, qui utilise les données de l'inventaire pour valider un futur protocole de suivi sanitaire des châtaigniers par télédétection satellitaire. « C'est grâce à la combinaison de ces différents types d'informations que l'inventaire forestier contribuera à suivre correctement la forêt, conclut Stéphanie Wurpillot. Même si elle évolue plus rapidement qu'autrefois... » ●



## Chaque année...

Sur chaque placette, ils relevaient déjà le nombre d'arbres, leur taille, leur circonférence, leur essence mais aussi le bois mort, la composition du sol, une bonne partie de la flore... À partir de la fin de l'année, les agents de l'inventaire forestier délimiteront en plus deux sous-placettes de deux mètres de rayon pour y recenser les jeunes pousses de cinquante cen-

## Bon à savoir

La forêt métropolitaine abrite une trentaine d'habitats naturels d'intérêt européen, dont l'état de conservation doit être précisément documenté tous les 6 ans dans un rapport transmis à la Commission européenne de Bruxelles. L'inventaire forestier est l'un de ses principaux contributeurs.

1. L'Inventaire forestier national a fusionné avec l'IGN en 2012.  
2. Centre national de la propriété forestière.

P R O S P E C T I V E

# Un modèle d'avenir



© E. Borneau

Depuis 1993, le modèle MARGOT projette l'évolution de la ressource forestière métropolitaine à un horizon de trente ans. Une nouvelle version voit plus loin, tout en intégrant les effets du changement climatique.

**2080**

Qui n'a jamais souhaité connaître l'avenir ? Surtout à l'heure de faire face à une menace de l'ampleur et de la complexité du changement climatique... Si les écosystèmes forestiers et leur biodiversité peuvent être affectés par celui-ci, la forêt a aussi un rôle majeur à jouer pour l'atténuer en continuant de stocker du carbone et en fournissant du bois, biomatériau renouvelable, en substitution aux matériaux utilisant des énergies fossiles. Depuis 1993, l'inventaire forestier utilise le modèle MARGOT<sup>1</sup> pour projeter les quantités de bois et de carbone stockées par la forêt française à dix, vingt ou trente ans. « *Compte tenu des enjeux autour de l'avenir de la forêt, il est nécessaire d'améliorer régulièrement ce modèle, rappelle Claire Bastick, ingénieure au département d'analyse des forêts de l'IGN. Surtout que nos forêts connaissent dans le contexte actuel des changements majeurs et ra-*

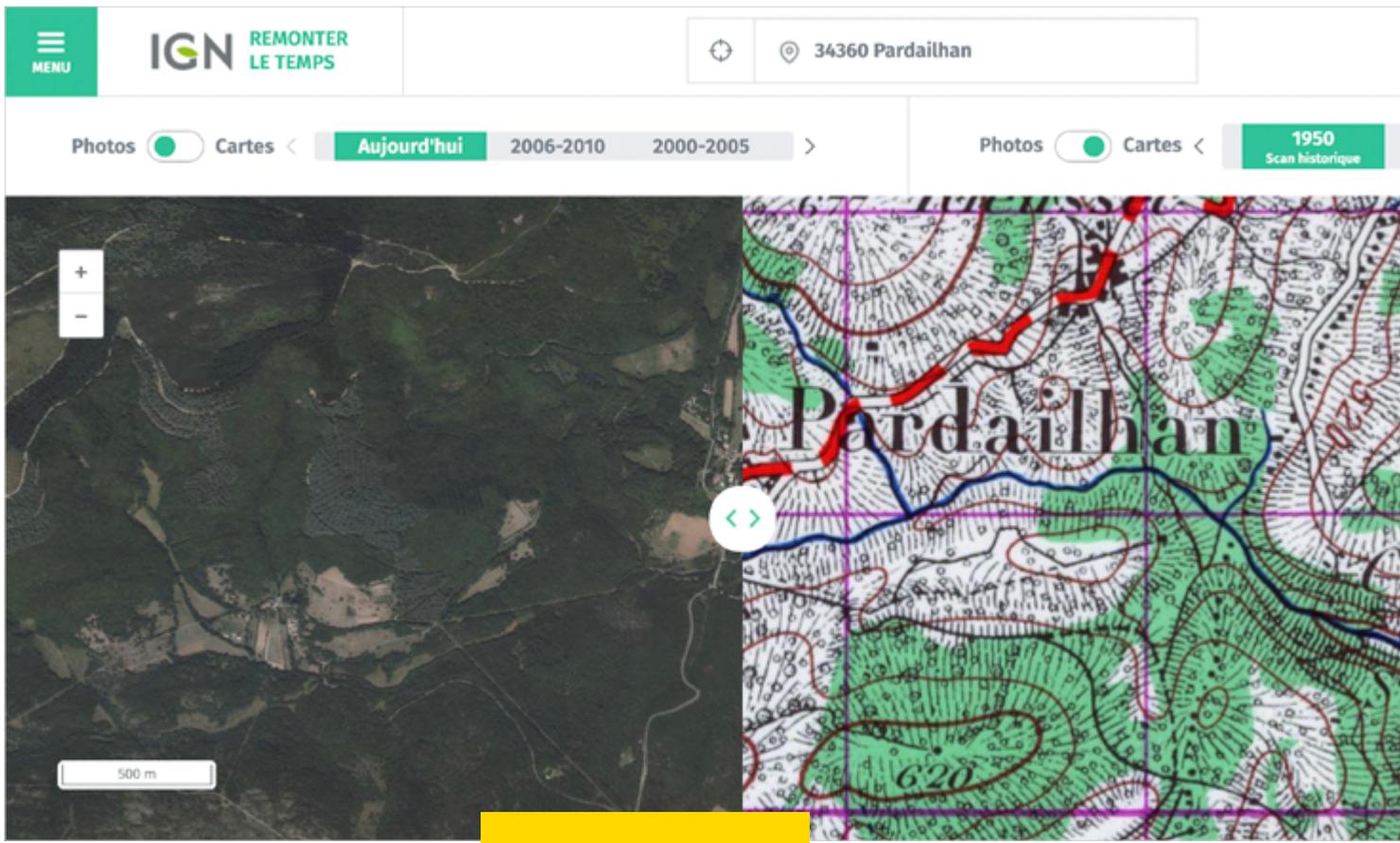
*pides. Elles vieillissent et se densifient et, dans le même temps, le changement climatique et les crises sanitaires augmentent la mortalité des arbres.* »

## Projeter plus précisément et à plus long terme

En 2017, l'IGN décide donc d'initier une thèse pour prendre en compte ces nouveaux phénomènes dans MARGOT. Il s'agit aussi d'élargir l'horizon des prévisions à cinquante ans et plus. Réalisée au sein du LIF, le Laboratoire de l'inventaire forestier de l'IGN, elle est soutenue brillamment par son auteur, Timothée Audinot, en octobre 2021<sup>2</sup>. Appliqué aux données historiques de l'inventaire forestier, son nouveau modèle MARGOT reproduit avec une très faible marge d'erreur la tendance réellement observée. Ces avancées de la recherche sur le modèle de projection ont conduit l'IGN à prolonger de quelques mois la mission du jeune docteur pour les transférer dans les études opérationnelles réalisées en appui aux politiques publiques. « *Le temps de discuter avec les ministères et les acteurs de la filière forêt-bois des scénarios à projeter - exploitation maintenue à l'identique, dynamisée ou réduite - et nous partons à la découverte de la forêt à l'horizon 2050 et même 2080, annonce Claire Bastick. Dès l'an prochain, ces nouveaux résultats seront pris en compte pour la révision quinquennale de la Stratégie nationale bas-carbone de la France.* » ●

1. Pour MAtrix model of forest Resource Growth and dynamics On the Territory scale.

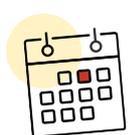
2. Elle est même présentée dans l'émission « L'esprit sorcier » lors de la Fête de la science.



REMONTER LE TEMPS

# Dans les paysages du temps

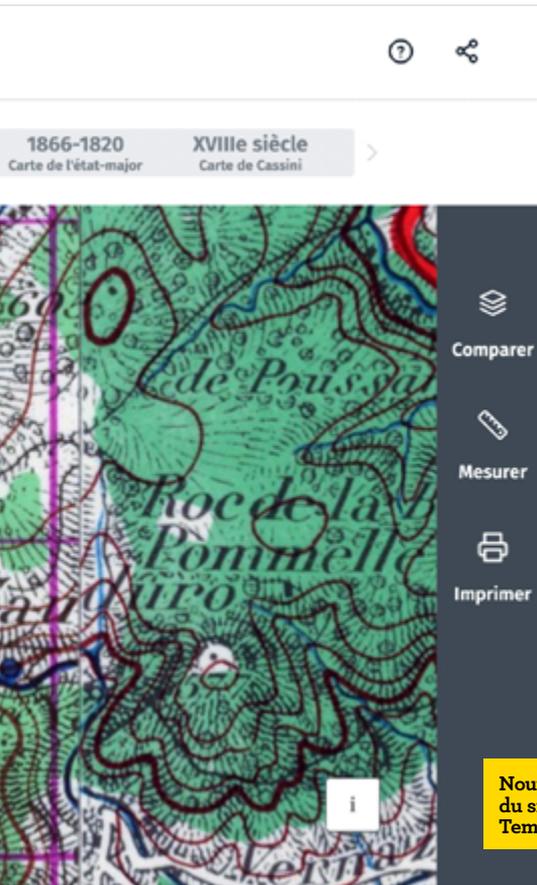
Depuis 2016 le site Remonter le Temps propose à tous ceux qui le souhaitent d'observer les évolutions du territoire français de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle à aujourd'hui. Cet été, ce service plébiscité par ses usagers s'offre une seconde jeunesse, avec un nouveau design et de nouvelles fonctionnalités.



## Pendant deux ans,

pour son ouvrage *La Famille, itinéraires d'un secret*<sup>1</sup>, Suzanne Privat a marché dans les traces d'une communauté religieuse très discrète implantée dans l'Est parisien depuis la Révolution. « Une partie de mon enquête s'est déroulée online, sur les sites d'archives et de généalogie, sur les réseaux sociaux, et beaucoup sur Remonter le Temps, explique l'auteure. Là, j'ai passé des heures à comparer les cartes anciennes, les photos aériennes d'archive et la carte IGN actuelle à la recherche des

lieux emblématiques de l'histoire de ce groupe. Un jour, j'ai découvert sur la carte de Cassini le nom d'un hameau disparu. Grâce au tracé de la Seine et à la forme d'un des bâtiments, j'ai pu identifier son emplacement actuel et m'y rendre pour "sentir" in vivo cet endroit chargé d'histoire. » Comme Suzanne Privat, des milliers d'utilisateurs, professionnels, scientifiques et particuliers, puisent chaque année dans l'incroyable richesse du patrimoine cartographique et photographique de l'IGN grâce au site Remonter le Temps. « L'idée à la base de ce projet initié en 2015 était d'abord de valoriser nos collections - 3,8 millions de vues aériennes, plus de 1 400 cartes - en offrant des modes de comparaison novateurs afin de suivre l'évolution des paysages français



« J'ai passé des heures à comparer les cartes anciennes, les photos aériennes d'archive et la carte IGN actuelle. »

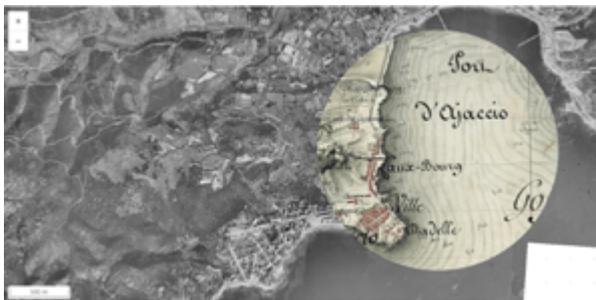


depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle jusqu'à nos jours, résume Romain Vialle, responsable du projet Remonter le Temps à l'IGN. Et le succès a été immédiat auprès de tous les publics ! » Début juillet, le site a fait peau neuve pour offrir plus de confort de navigation et davantage de fonctionnalités. L'interface de comparaison a été entièrement revue ainsi que l'espace de

téléchargement, qui hébergera en outre des clichés obliques jamais montrés jusqu'à présent. De nouvelles séries d'images aériennes font également progressivement leur apparition, dont une couverture France entière réalisée de 1965 à 1980. « De plus, le site est désormais responsive, ajoute Romain Vialle. On peut ainsi utiliser les outils de comparaison sur nos smartphones avec une possibilité de géolocaliser l'utilisateur. De quoi rendre les promenades dans le passé plus immersives. » ●

1. Éditions Les Avrils, 2021.

## À tempu ritrosu in Corsica



L'an dernier, la Corse s'est dotée de sa propre version de Remonter le Temps, nommée en VO À tempu ritrosu in Corsica. « Cette application n'est pas une simple "traduction" du site national, indique Elisabeth Bernard-Nivaggioni, chef du service SIG territorial de la collectivité de Corse. Ainsi, elle donne accès à des données propres à la Corse, à commencer par les deux versions existantes du plan du Terrier général, contemporaines de la carte de Cassini. De plus, elle offre une ergonomie et des fonctionnalités

spécifiques conçues pour un usage professionnel, comme la prise de mesures, l'annotation ou encore l'importation de données cartographiques KML. » À tempu ritrosu in Corsica a été rendu possible grâce à un partenariat signé en 2020 avec l'IGN, qui a réalisé le géoréférencement des plans du Terrier et l'orthorectification de photos aériennes datant de 1982. Dans les prochains mois, la collaboration devrait se poursuivre pour enrichir le site d'une autre série de prises de vues datant des années 1990 et probablement des 5700 plans du cadastre dit napoléonien réalisés entre 1850 et 1888.

# ALEGORIA : les cartes postales anciennes renseignent sur l'évolution du territoire

Comment valoriser les collections des fonds institutionnels, comme les cartes postales représentant des vues obliques ou verticales du territoire ? Le projet ALEGORIA répond à cette question en mettant en place deux plateformes de démonstration en ligne.



## De l'entre-deux-guerres à nos jours

« Si les campagnes de prises de vues aériennes et satellitaires sont plutôt bien structurées, il n'en va pas de même pour les prises de vues aériennes obliques, qui sont organisées en silo et assez mal documentées, donc sous-exploitées, pose Valérie Gouet-Brunet, coordinatrice du projet ALEGORIA. Or ces collections sont précieuses car elles offrent une représentation complémentaire aux photos faites de plus loin : cette vue à vol d'oiseau montre le territoire dans sa globalité, tout en donnant accès à des détails tels que le relief. »

C'est le point de départ du projet ALEGORIA (structuration et valorisation du patrimoine géographique iconographique dématérialisé), porté par l'Agence nationale de la recherche : valoriser le patrimoine iconographique décrivant le territoire français de l'entre-deux-guerres à nos jours.

Pour faciliter la valorisation des différents fonds documentaires, le projet ALEGORIA a ainsi mis au point des outils s'appuyant sur l'intelligence artificielle et la géovisualisation pour être capable de mieux lier ces données entre elles, et, par exemple, de les géolocaliser.

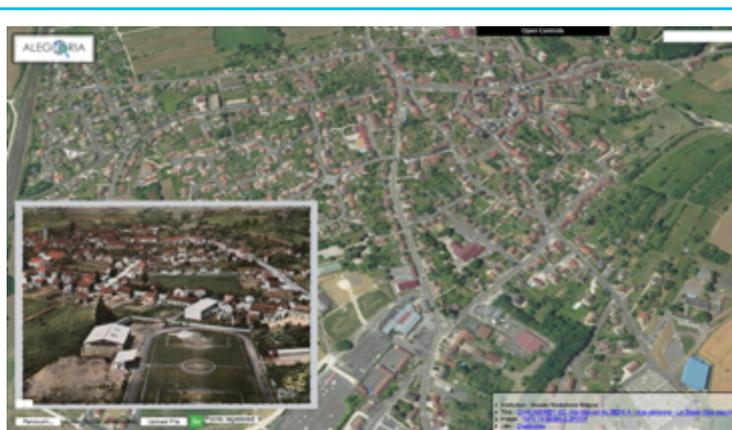
Deux plateformes de démonstration ont été mises en place par l'équipe d'ALEGORIA : un moteur d'indexation à grande échelle, qui propose une recherche par contenu et par métadonnées dans les fonds photographiques anciens, et un moteur de restitution rendant possible la navigation immersive et interactive dans l'environnement 3D enrichi de ces collections. Ces deux plateformes, qui ont été évaluées par des archivistes et des historiens, ont également la capacité de communiquer pour une recherche multimodale et une navigation spatiale dans le patrimoine iconographique. ●

Total processing time: 7.231 seconds

Results (by decreasing order of similarity)

Image	Title	Date	Location	Collection	Institution	Comments	Details
							Show
	CHALINDREY (St. Marie) Ac 382-E A - Vue aérienne - Le Stade (St. Marie)	1963-06-12	Chalindrey	Combar	Musée Napoléon Nîmes		Show
	CHALINDREY (St. Marie) Ac 382-E A - Vue aérienne - Le Stade (St. Marie)	1963-06-12	Chalindrey	Combar	Musée Napoléon Nîmes		Show

Interface du moteur de recherche multimodal ALEGORIA. La photo du haut, pour laquelle aucune métadonnée n'est disponible, semble présenter des similarités avec des scènes photographiées à Chalindrey, en Haute-Marne.



À partir du moteur de recherche, il est possible de basculer vers le moteur 3D iTown, où les photographies sont restituées dans leur environnement spatial, selon la précision de la géolocalisation disponible : (a) localisation à la commune « Chalindrey » et (b) pose 6D (position et orientation) après raffinement de la localisation initiale par recalage semi-automatique 2D-3D.



S O D U C O

# L'évolution de la ville en lien avec ses pratiques sociales

Le projet SoDUCo étudie l'évolution de la structure de la ville en relation avec les pratiques sociales et professionnelles de la population entre 1789 et 1950 à Paris. Objectif : proposer une plateforme collaborative pour enrichir la base de données ainsi créée.



## 2010 :

tout commence par une collaboration entre l'IGN et l'EHESS sur un projet de micro-histoire se fondant sur des cartes de Paris au XIX<sup>e</sup> siècle. « Cela a été le point de départ du projet SoDUCo (*Social Dynamics in Urban Context*), qui tente de comprendre de quelles façons l'évolution du territoire impacte les pratiques sociales et, à l'inverse, comment ces pratiques ont façonné la ville », explique Julien Perret, le coordinateur du projet.

Financé par l'Agence nationale de la recherche depuis 2019 et coordonné par le Laboratoire des sciences et technologies de l'information géographique de l'IGN et de l'Université Gustave-Eiffel (LASTIG), SoDUCo rassemble aujourd'hui une vingtaine de chercheurs en sciences géographiques et en sciences de l'histoire urbaine, ainsi que des spécialistes de la morphogenèse des réseaux et des informaticiens.

## Partenariat sur un temps long

« Notre ambition est de développer des méthodes pour l'étude de l'évolution de la structure spatiale urbaine en relation avec les pratiques de la population et se basant sur la reconstitution de l'évolution de la ville de Paris de 1789 à 1950 », détaille Julien Perret. Pour ce faire, l'équipe s'appuie sur des atlas et des cartes de la ville, les cadastres parisiens et de l'ancienne banlieue, et sur les annuaires des activités professionnelles de la population. Ce travail partenarial, sur un temps long, a vocation à mettre en place une méthodologie rigoureuse, traçable et reproductible, en partant de cartes papier pour constituer de la donnée géo-historique. « Parallèlement à l'évolution du territoire émerge la notion de



Extrait d'une carte de Paris (Atlas municipal des vingt arrondissements de Paris, 1925. Bibliothèque de l'Hôtel de Ville).

## « La structure spatiale urbaine évolue avec les pratiques de la population. »

**Julien Perret**



coévolution, précise Julien Perret. On étudie, par exemple, comment la répartition des boulangers ou des ébénistes a influencé la réorganisation des îlots ou de certaines rues à tel endroit de la ville sur une période donnée et, à l'inverse, comment les évolutions de la forme de la ville influencent le déplacement ou la

concentration des activités. »

Autre but du projet de recherche : rendre possible l'analyse critique de documents historiques. Enfin, l'idée est, à terme, d'ouvrir ces bases à tous en open data afin de faciliter la prise en main de cette donnée par d'autres projets de recherche. ●



## HIATUS : exploiter les prises de vues depuis 1945

À travers le projet HIATUS, le Laboratoire des sciences et technologies de l'information géographique de l'IGN et de l'Université Gustave-Eiffel (LASTIG) développe des méthodes automatiques pour exploiter les prises de vues conservées par l'IGN afin de visualiser l'évolution des territoires.



### De 1945 à 2000

Le projet, financé par l'Agence nationale de la recherche, s'intitule HIATUS (Historical Image Analysis For Territory Evolution Stories). Il a pu être initié à la suite de la numérisation des clichés argentiques de prises de vues aériennes du territoire français, réalisés de la fin de la Seconde Guerre mondiale aux années 2000, qui ont été compilés sur le portail Remonter le Temps<sup>1</sup>. Outre le LASTIG, le projet implique un consortium d'unités de recherche (Dynafor, LETG, LIVE, iCube) ainsi qu'une entreprise (Kermap).

Le but du projet : générer, à partir de ces données, des séries temporelles d'ortho-images et de modèles numériques de surface et les analyser pour y détecter des changements ou y retrouver des occupations du sol du passé.

« **La première étape** a consisté à remettre les données en géométrie pour qu'elles rentrent dans les processus d'analyse d'images, explique Arnaud Le Bris, coordinateur de HIATUS. Cela supposait de les positionner plus finement que la localisation qui y était associée dans Remonter le Temps. »

Pour ce faire, plusieurs verrous ont dû être levés, comme la détection automatique de points homologues entre données

### Un exemple d'application : déterminer l'exposition aux pesticides

Quels besoins pour la connaissance d'une occupation du sol du passé ? Un exemple de cas d'étude est apporté par une équipe d'épidémiologistes qui ambitionnent de retracer l'exposition aux pesticides, tout au long de leur vie, de patients atteints par certains types de cancers. Connaissant les différents lieux de vie de ces patients témoins, ils cherchent à y retrouver, à partir d'images anciennes, la présence de cultures (vergers ou vignes) pour lesquelles ces produits ont pu être utilisés.

récentes et anciennes, à même de jouer le jeu d'amers terrain pour cette remise en géométrie. Il a ensuite été possible d'appliquer à ces images des traitements standards : production d'ortho-images et modèles numériques de surface.

**Deuxième étape du projet :** analyser ces piles de données pour retracer l'évolution des territoires. Cela implique d'effectuer des travaux dont le but est de caractériser les différents types de changements, et de retrouver les occupations du sol du passé. « *Le travail portera ici sur le transfert d'apprentissage pour en apprendre plus sur la façon dont le sol était occupé auparavant* », souligne Arnaud Le Bris. ●

1. remonterletemps.ign.fr

# Toujours plus réactifs !

**Parfois, il n'y a pas de temps à perdre pour connaître le temps qu'il fait, spécialement quand surviennent des phénomènes météorologiques extrêmes. C'est tout l'enjeu des partenariats qui lient l'IGN à Météo France et au SCHAPI.**

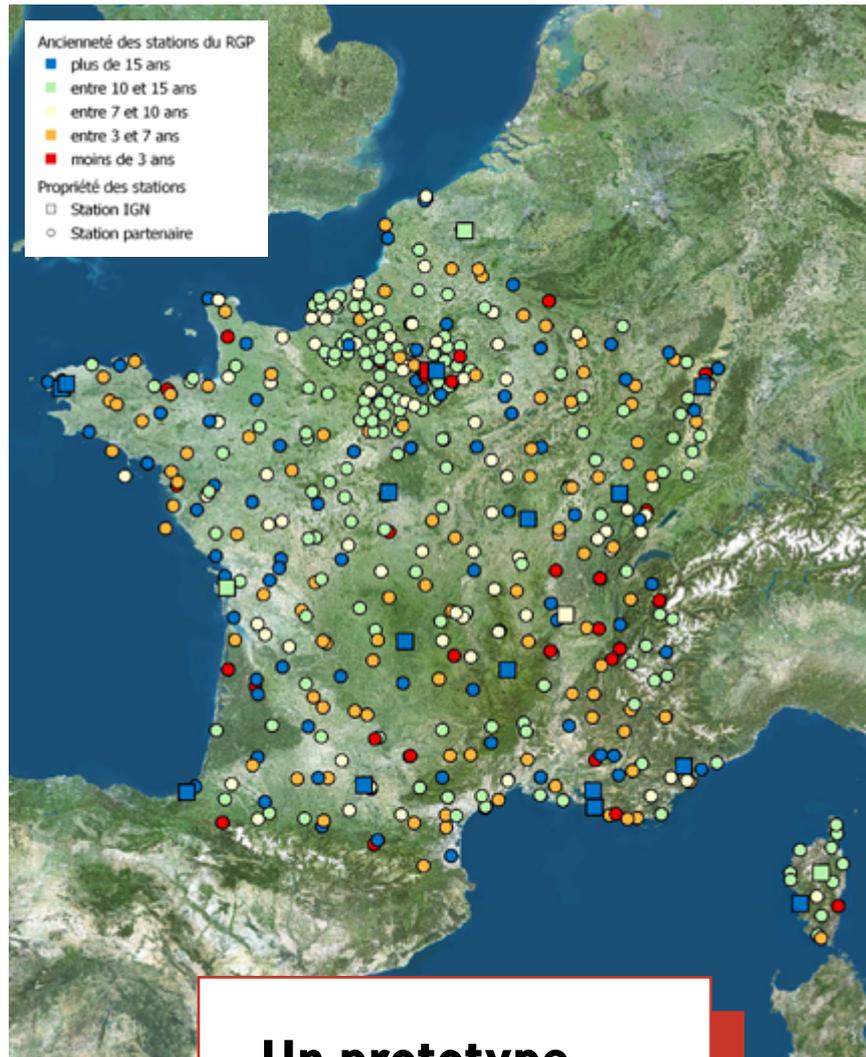


# RGP : des prévisions météo plus fiables et plus réactives



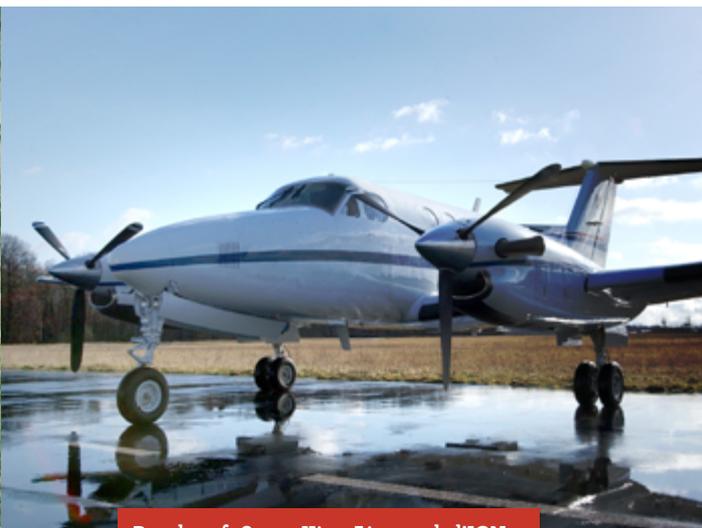
Dès 2002,

Météo France et l'IGN ont signé une convention de partenariat destinée à mettre le réseau GNSS permanent (RGP) au service des prévisions météorologiques. « *L'enjeu de notre collaboration est de fournir toutes les heures des données relatives à la quantité de vapeur d'eau présente dans la troposphère à la verticale des 500 stations qui constituent le RGP*, explique Sébastien Saur, chef du département réseaux et services en géodésie spatiale de l'IGN. *Ces informations sont le fruit d'un calcul qui se base sur l'analyse du retard zénithal des signaux émis par les satellites de positionnement, dont nous savons qu'une partie est due au taux d'humidité dans la couche basse de l'atmosphère.* » Conjuguées à d'autres variables, ces données améliorent la fiabilité des prévisions émises en continu par Météo France. Pour l'avenir, les deux partenaires aimeraient faire évoluer le dispositif afin que Météo France puisse disposer de données en quasi-temps réel, ce qui serait un atout de taille pour le suivi et l'anticipation des phénomènes extrêmes, de plus en plus fréquents et intenses en raison du changement climatique. « *Dans cette optique, nous souhaitons étudier un mécanisme de calcul station par station qui vise à déterminer chaque seconde l'évolution de la quantité d'eau présente à la verticale de chaque point du réseau RGP à la seconde précédente. Ce serait moins précis que ce que nous proposons actuellement, mais beaucoup plus réactif ! Il y aura là un choix stratégique à faire dans les années qui viennent* », remarque, pour finir, Sébastien Saur. ●



## Un prototype voyageur

Pour affiner son futur dispositif d'estimation de la vapeur d'eau troposphérique en quasi-temps réel, le service de géodésie de l'IGN a développé des prototypes qui vont être testés dans différentes configurations matérielles. L'un d'entre eux fait déjà l'objet d'un projet associant Météo France et la compagnie maritime CMA CGM. Le principe : des récepteurs GNSS, couramment appelés GPS, seront embarqués sur trois navires assurant la liaison avec les Antilles. Récupérées dans un délai de temps très court, leurs données seront analysées à haute fréquence et les résultats des calculs seront ensuite comparés au dispositif existant.



Beechcraft Super King Air 200 de l'IGN.



Crue de la Midouze en janvier 2021, entre Mont-de-Marsan et Audon.

## LES CHIFFRES

## En 2021

**six missions de prises de vues** en urgence ont été menées par l'IGN, couvrant neuf zones distinctes au total. Pour l'heure (début juillet), une seule campagne a été lancée en 2022.



## 11 décembre 2021

**1600 images aériennes** ont été acquises en une journée à l'occasion des inondations liées à l'Adour et aux gaves de Pau et d'Oloron.

## Des prises de vues aériennes au service de la connaissance des crues



### 11 janvier 2022,

après 48 heures de fortes précipitations, la Garonne se déchaîne et sort de son lit à Toulouse et dans ses environs. Au même moment, un photographe de l'IGN survole la zone en avion pour immortaliser le phénomène. Orthorectifiés et assemblés, ses clichés seront transmis d'ici à 48 heures au SCHAPI, le service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision

des inondations qui pilote le réseau Vigicrues. « Depuis 2012, les avions de l'IGN effectuent plusieurs fois par an des missions de ce type pour notre compte, indique Bruno Janet, conseiller scientifique et technique du SCHAPI. Les photographies aériennes prises au pic de crue viennent alimenter nos modèles de prévisions et enrichir nos cartographies des zones inondées. » Mais cela suppose une grande réactivité de la part de l'institut. La convention entre les deux acteurs précise ainsi que l'IGN doit missionner ses avions au plus tard 12 heures après l'alerte. « Pour ce faire, nous avons mis en place un système de veille permanente, explique Gabrielle Roy, chef du département des opérations de l'IGN. Chaque jour nous recevons un mail qui nous donne l'état de tous les cours d'eau de France à l'aide d'un code couleur. Dès qu'un indicateur passe du vert à l'orange, nous devons nous tenir prêts à décoller de notre base de Beauvais. Le SCHAPI peut nous appeler à n'importe quelle heure du jour ou de la nuit pour une commande en urgence. À nous alors de prévenir les autorités aériennes et de définir le plan de vol, en ayant pris soin au préalable de vérifier que les conditions de sécurité et de visibilité sont réunies. » En juillet 2021, le SCHAPI et l'IGN ont expérimenté une solution alternative en exploitant des images satellites Pléiades à l'occasion d'une crue de l'Aisne. « Cela ouvre des perspectives intéressantes, en particulier pour les crues lentes », conclut Bruno Janet. ●



# Christine Arron

**L'ex-sprinteuse revendique son goût pour la lenteur. Elle s'est battue contre sa nature pour devenir championne du monde du relais et décrocher le meilleur temps européen sur le 100 mètres. Un record qui dure et traverse les générations.**



# La « Reine »

## court toujours après le temps



**10,73 secondes**

Enfant, Christine Arron aimait le karaté, les jeux avec les cousins, battre les garçons de sa classe à la course.

En revanche, elle détestait qu'on la presse, qu'on lui dise de se dépêcher de finir son repas ou de s'habiller.

« Je suis d'une nature lente », confie d'une voix posée l'ancienne championne d'athlétisme. Pourtant, la « Reine Christine » – son surnom à l'époque – a passé sa carrière à grappiller le moindre centième de seconde.

Petit voyage dans le passé. Christine Arron découvre l'athlétisme par hasard, à 11 ans. Au collège du Raizet, aux Abymes, en Guadeloupe, elle est plus rapide que tous les élèves. Sans forcer. Elle chausse les pointes, enchaîne les tours de piste puis les premiers titres aux Carifta Games, les jeux caribéens de la jeunesse.

La jeune athlète suit les traces de son grand-père, Augustin Arron, premier athlète noir sélectionné en équipe de France et sacré champion de France. À 19 ans, elle quitte son île natale, direction la métropole et l'Insep, la fabrique de champions français.

### Le chrono s'affole

En 1998, à Budapest, la sprinteuse décroche le titre européen sur 100 mètres et bat le record continental de la discipline : 10,73 secondes. Depuis 24 ans, aucune athlète européenne n'a fait mieux. 10,73 secondes pour l'éternité ? Peut-être... « Beaucoup de personnes me parlent encore de ce chrono », admet la championne, avant de plonger dans ses souvenirs : « Vous n'avez que 10 secondes pour faire la différence, marquer l'histoire. À cet instant précis, vous capitalisez sur des années de travail, de réussite et d'échec : en bref, la préparation. Pendant la course, je n'ai qu'une obsession : la vitesse. Je pense à ma technique, je ressens chaque mouvement. Je suis connectée à mon corps. »

### Calcul mental

À 48 ans, Christine Arron a rangé les pointes depuis dix ans. Elle a un diplôme de coach sportive en poche, s'accorde 30 minutes de sport par jour. Du yoga, surtout, car elle déteste le footing. Elle s'engage en politique il y a deux ans, « par curiosité », et devient adjointe au maire de Champigny-sur-Marne (94) chargée... des sports.

### BIOGRAPHIE

**1973**

Naissance en Guadeloupe.

**1992**

Arrivée en métropole.

**1996**

Blessée, elle renonce aux Jeux olympiques d'Atlanta.

**1998**

Championne d'Europe du 100 mètres, détentrice du record avec 10,73 secondes.

**2003**

Championne du monde en relais 4 × 100 mètres (avec une dernière ligne droite inoubliable).

**2012**

La « Reine » abdique et range définitivement les pointes.

Si la reine ne court plus après un temps, elle redoute celui qui file trop vite, qu'on ne rattrape pas : « Le temps a toujours été un élément central dans ma vie », philosophe cette maman de deux enfants. En filigrane, on sent poindre une certaine frustration : « Je calcule dans ma tête les minutes nécessaires pour réaliser telle ou telle chose, je regarde toujours ma montre. Je suis capable de faire beaucoup de choses très rapidement. Mais au fond de moi, je préfère prendre mon temps. » Un paradoxe dont elle s'accommode, même si elle regrette d'être parfois trop sollicitée, de manquer de moments pour réfléchir avant d'agir : « La gestion du temps nous dirige, nous contraint. » À Champigny, la nouvelle élue travaille sur la construction du tout premier stade d'athlétisme de la ville. Un projet au long cours. Un rythme qui lui convient parfaitement. ●

**« Je suis capable de faire beaucoup de choses très rapidement. Mais au fond de moi, je préfère prendre mon temps. »**



© IGN

**ign**  
MAGAZINE



TÉLÉCHARGEZ  
GRATUITEMENT  
IGN MAGAZINE  
sur [www.ign.fr](http://www.ign.fr)



Téléchargez le magazine  
en scannant ce QR code!

## Aller à Contretemps

La toponymie nous réserve de belles surprises, comme celle de trouver les hameaux du Temps et du Contretemps distants de 400 mètres dans le département des Deux-Sèvres. Notez que la route qui vous conduit à Contretemps passe par le Temps, aucun retard ne sera toléré.

*Extrait de la carte IGN série bleue Parthenay au 1 : 25 000.*