RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

IGN
INSTITUT NATIONAL DE L'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE ET FORESTIÈRE

CHANGER D'ÉCHELLE

CARTOGRAPHIER L'ANTHROPOCÈNE 2022

ATLAS IGN

CHANGER D'ÉCHELLE POUR POUVOIR AGIR

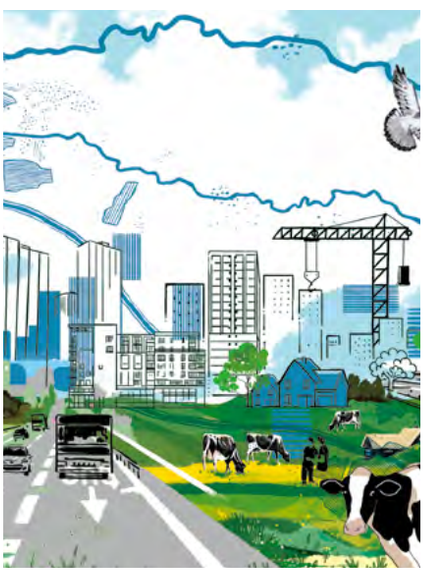
Anthropocène *est un néologisme construit à partir du grec ancien* **ἄνθρωπος** *(anthropos, « être humain ») et* **καινός** *(kainos, « nouveau »), en référence à une nouvelle ère où les activités humaines ont un impact significatif et global sur les écosystèmes planétaires. Débutée à la fin du XVIIIe siècle avec la révolution industrielle, elle succéderait, selon le Néerlandais Paul Josef Crutzen, prix Nobel de chimie, et le biologiste américain Eugène Stoermer, à la période dite holocène en tant que nouvelle époque géologique.*

LA CARTE
COMME RÉVÉLATEUR DES CHANGEMENTS

Édito de
Thomas Lesueur
Commissaire général
au développement durable
p. 08

Édito de
Sébastien Soriano
Directeur général de l'Institut
national de l'information
géographique et forestière
p. 09

L'ARTIFICIALISATION DES SOLS
p. 10



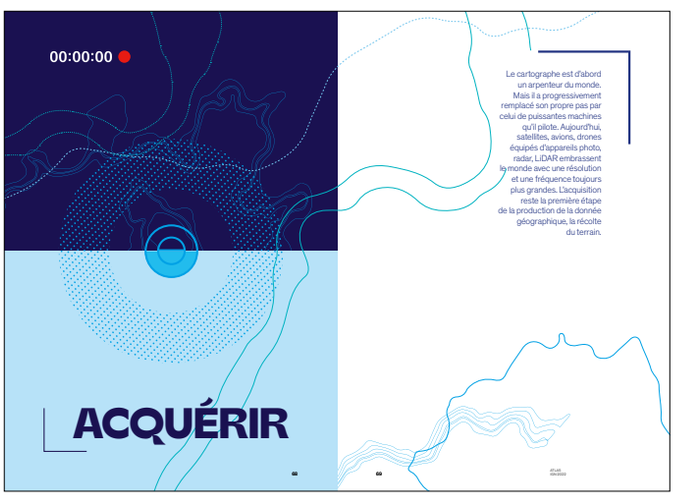
UNE FORÊT EN MUTATION
p. 22

LA BIODIVERSITÉ ET SES REFUGES À LA LOUPE
p. 34

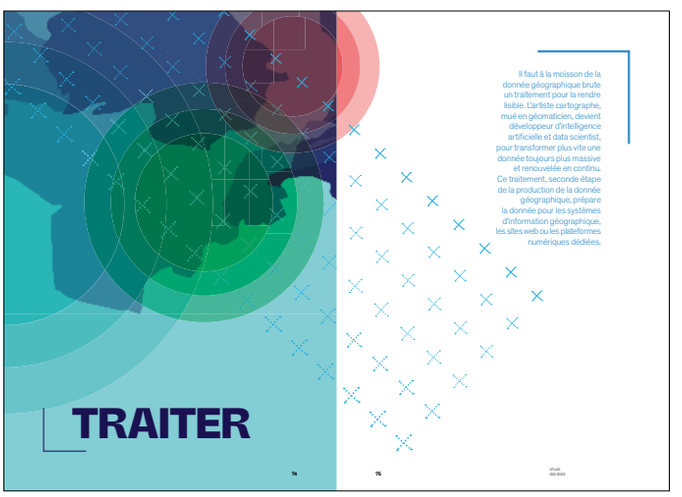
L'ÉROSION DES CÔTES
p. 44

LES ÉPISODES NATURELS EXTRÊMES
p. 56

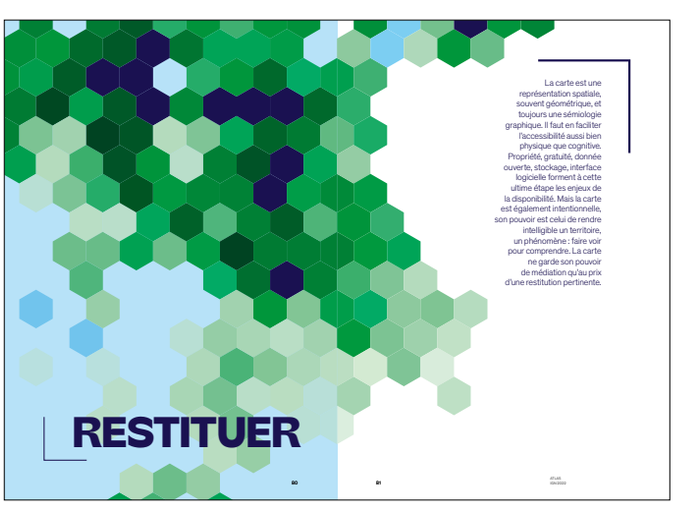
LES CAPACITÉS D'OBSERVATION DE L'IGN



P. 68



P. 74



P. 80

PARTIE 1

LA CARTE COMME RÉVÉLATEUR...

... DES CHANGEMENTS

L'édito de
Thomas Lesueur
Commissaire général au développement durable

L'Atlas de l'anthropocène de l'IGN, un atout pour tous pour faire face aux défis des transitions

À l'heure de l'anthropocène, où l'être humain est devenu la principale force de changement sur Terre, il est nécessaire d'offrir à tout un chacun (citoyen, entreprise, association, acteur public…) les moyens de comprendre les grands bouleversements écologiques qui affectent nos territoires et redéfinissent les conditions d'exercice des activités humaines.

Les données géolocalisées constituent une ressource essentielle pour analyser et comprendre l'anthropocène mais aussi pour construire les réponses à apporter aux menaces environnementales auxquelles l'humanité est confrontée. Les données géolocalisées contribuent en effet directement à l'élaboration et au calibrage des politiques publiques de la transition écologique. La qualité, la disponibilité, la fraîcheur de ces données conditionnent notre capacité à décider en temps réel et à agir avec une vision large et systémique tout en étant précis pour ajuster au mieux les dispositifs aux réalités et aux caractéristiques des territoires.

Les cartes établies à partir des données géolocalisées sont des outils très puissants qui peuvent véhiculer des informations et des repères d'une immense richesse. Les codes qu'elles adoptent, les couleurs et ombres qu'elles proposent peuvent apporter une information précise, profonde et néanmoins très synthétique. Les cartes dessinent ainsi le monde en même temps qu'elles proposent de porter sur lui un certain regard. Avec la démocratisation des outils et données géographiques, c'est un large panel d'acteurs qui se saisit aujourd'hui de la carte comme outil de pédagogie, de médiation et de débat. La carte devient « engagée » et participe du socle pour la compréhension des phénomènes évolutifs de l'anthropocène. Elle s'appuie à la fois sur des relevés de terrain, des campagnes aéroportées, des observations spatiales avec toujours plus de données et de nouvelles technologies de télédétection mais aussi de représentation.

En tant que commissaire général au développement durable et administrateur ministériel des données de la transition écologique et énergétique, je suis fier qu'avec l'Institut national de l'information géographique et forestière la France puisse compter sur un acteur d'excellence en termes de cartographie, de production et de partage de la donnée géolocalisée.

J'espère que vous prendrez autant de plaisir et d'intérêt que moi à parcourir ces pages, à observer la globalité et les détails de ces cartes. Je suis convaincu que cet Atlas, en montrant l'empreinte des phénomènes qui marquent profondément la Terre, participera à la prise de conscience de la force de ce qui s'opère sous nos yeux et de la nécessité de conduire des changements structurels rapides pour s'engager résolument et intensément dans la lutte contre le changement climatique et la préservation des écosystèmes et de la biodiversité. La donnée géographique produite par l'IGN est un de nos atouts pour y parvenir.

L'édito de

Sébastien Soriano

Directeur général de l'Institut national
de l'information géographique et forestière

Des cartes pour la planification écologique

Les cartes ont un grand pouvoir, celui de montrer des phénomènes complexes, parfois peu visibles voire invisibles. Outils de savoir et de compréhension du monde, elles invitent à réagir sur ce qui se joue sous nos yeux. C'est ce pouvoir de la carte qui amène l'Institut national de l'information géographique et forestière à revoir ses priorités à l'heure du changement climatique.

La donnée géographique est aujourd'hui partout : nos smartphones nous fournissent des atlas numériques de poche, les territoires investissent dans la connaissance et des communautés dynamiques, comme OpenStreetMap, ont ouvert la voie à des « géo-communs ».

Au milieu de ce foisonnement, le devoir de l'IGN est de rendre compte des changements brutaux et extrêmement rapides survenant dans les territoires, dus aux activités humaines. L'objectif est double : fournir les outils de pilotage pour prendre les mesures nécessaires (maîtriser l'artificialisation des sols, surveiller l'évolution des forêts, des côtes, construire des environnements urbains résilients, etc.) et mobiliser la capacité de médiation de la carte. En offrant une visualisation claire des phénomènes qui se jouent, tout un chacun peut adapter ses comportements et contribuer à la transition, à son échelle.

Quand des bouleversements environnementaux vont heurter nos existences, le sens de la mission de l'IGN est de cartographier l'anthropocène. C'est ainsi que nous ferons de nos cartes des alliés précieux pour aider la Nation à se frayer un chemin à travers les défis de notre époque.

Il s'agit pour nous d'une petite révolution qui implique de revisiter les modalités et temporalités de nos cartographies. Il faut passer d'une description statique et générique à une description dynamique et thématique du territoire français. Pour relever ce véritable défi technologique, l'IGN déploie des innovations de pointe issues de ses équipes de recherche pluridisciplinaires et s'appuie sur son école d'ingénieur, l'ENSG-Géomatique, ainsi que sur des industriels et des start-up. L'institut mise sur les méthodes de traitements automatiques offertes par l'intelligence artificielle et enrichit ses capacités d'observation en croisant des sources de données nouvelles. L'IGN développe aussi les techniques de data visualisation et d'UX design pour exploiter le pouvoir de médiation de la carte.

« À l'échelle d'une carte, le monde devient un jeu d'enfant », comme le dit l'écrivain Laurent Graff. C'est donc sous forme d'atlas que l'IGN choisit de présenter un aperçu de ses premières cartes de l'anthropocène. Il faut y associer les nombreux partenaires publics de l'institut, qui en sont souvent à l'initiative afin de préserver ou d'adapter notre territoire face à l'accélération des agressions qu'il subit. Ce document est en outre une sélection qui ne rend pas compte de l'exhaustivité des activités de l'IGN. Cet Atlas est un premier jalon. Il a vocation à devenir un rendez-vous annuel s'enrichissant des projets d'appui aux politiques publiques de l'institut et des innovations.

L'ARTIFICIALISATION DES SOLS

RENCONTRE AVEC…
Karine Hurel, géographe et cartographe, déléguée générale adjointe à la Fédération nationale des agences d'urbanisme

Nous avons besoin de changer nos imaginaires sur le sol.

Intimement liée à la nécessité de développement et d'aménagement des territoires, l'artificialisation des sols menée pour bâtir les villes a aussi des conséquences dommageables sur l'environnement. La réglementation impose désormais de laisser sa chance à la nature et de renaturer les espaces qui peuvent l'être. Une action qui, pour Karine Hurel, demande aussi de faire évoluer nos perceptions.

Conséquence directe de l'étalement urbain, le phénomène d'artificialisation des sols grignote peu à peu nos espaces naturels au profit d'un usage fonctionnel d'habitat ou de transport. Si ce phénomène est aujourd'hui bien identifié, ses conséquences multiples sont mal évaluées et touchent autant la qualité des sols que la biodiversité, le réchauffement climatique ou l'aggravation des catastrophes naturelles, notamment provoquées par l'imperméabilisation des surfaces. Pour Karine Hurel, *« l'artificialisation est un processus qui détruit tout ou partie des fonctionnalités d'un sol, qu'elles soient biologiques, hydriques ou climatiques. Le sol a de multiples fonctions dont on prend petit à petit conscience et la loi climat et résilience contribue à ce qu'on les préserve »*.

CHANGER NOTRE VISION DE L'HABITAT

Le sujet n'est pas vraiment nouveau mais la prise de conscience pour limiter le phénomène d'urbanisation s'est clairement accélérée dans le courant des années 2000, avec l'adoption de la loi solidarité et renouvellement urbain, et surtout en 2021 avec la loi climat et résilience issue des travaux de la convention citoyenne pour le climat. Malgré tout, entre 20 000 et 30 000 hectares continuent à être artificialisés chaque année en France*. Un mouvement qui augmente presque quatre fois plus vite que la population. Il devient donc urgent d'agir. *« On ne peut pas tout arrêter, ni obliger les gens à habiter là où ils ne veulent pas aller. Mais on peut contribuer à changer les consciences et les modes de vie. Par exemple, il existe souvent une inadéquation entre les logements actuels et la forme familiale. Les familles sont de plus en plus petites. On vit de plus en plus seuls, parfois dans de grands logements inadaptés. Il faut donc repenser notre habitat, changer nos imaginaires sur la ville. Redensifier les espaces urbains pour permettre d'économiser les surfaces. »*

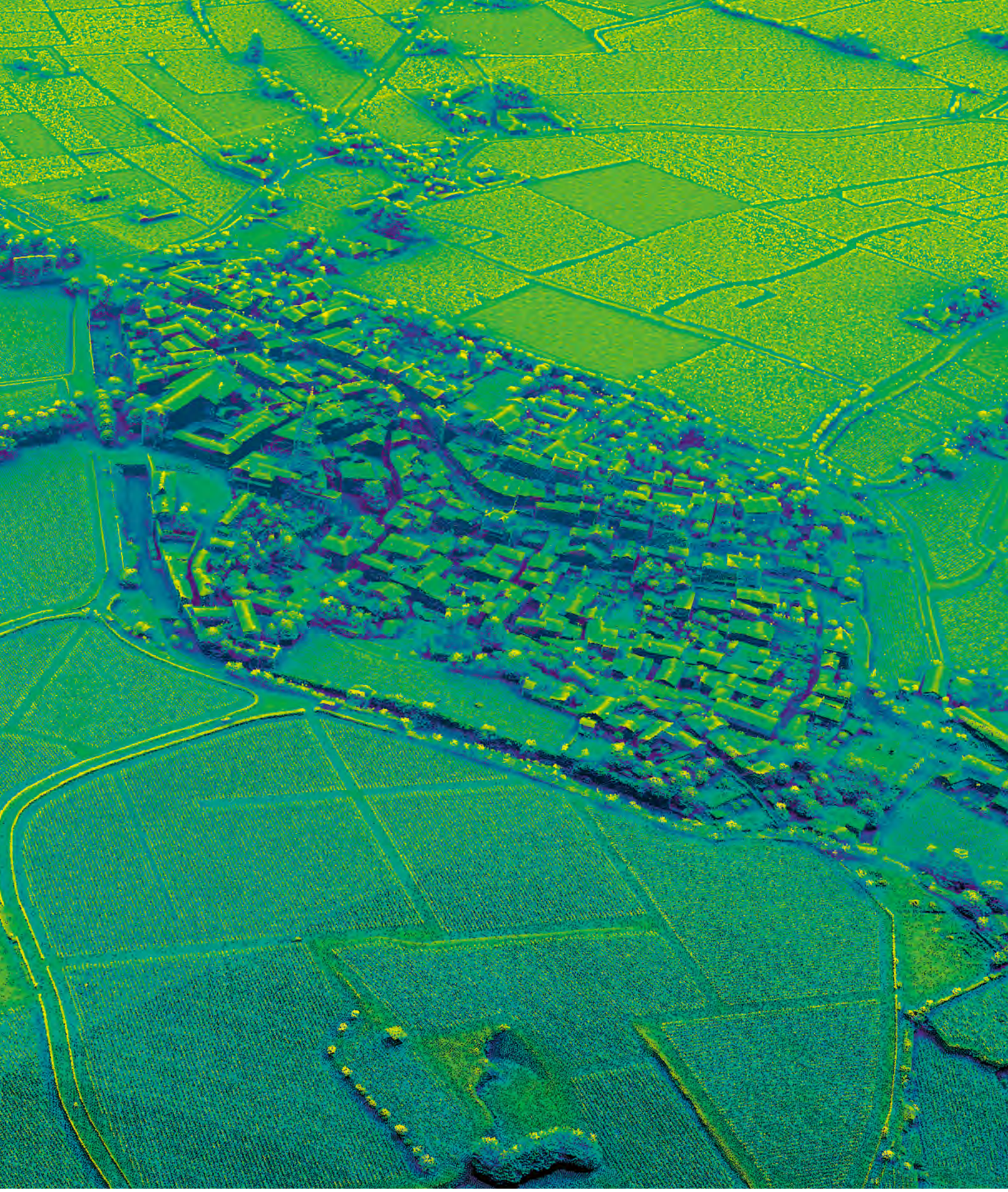
OBJECTIF : ENRAYER L'ACCÉLÉRATION DE L'URBANISATION

Impulsé en 2018 par le plan biodiversité proposé par le ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, l'objectif « zéro artificialisation nette » (ZAN) répond précisément à cette volonté de modifier les règles d'urbanisme. *« On ne va pas tout stopper, mais on va ralentir. On va également chercher à compenser en renaturant des espaces artificialisés qui pourront l'être, comme les friches laissées à l'abandon »*, précise Karine Hurel. L'objectif est de faire en sorte que chaque territoire regarde sa propre tendance à artificialiser et se mette en ordre de marche pour la diviser par deux d'ici à 2030 et parvenir à l'absence d'artificialisation nette en 2050. En gardant à l'esprit que tout le monde ne part pas sur une même base. Certains ont déjà produit des efforts. D'autres non. Tous devront pourtant viser le même objectif. *« Les territoires semblent globalement partants. La bataille portera surtout sur la manière dont on va organiser et mesurer ces trajectoires. D'où la nécessité d'avoir un référentiel commun et des données interopérables afin que chacun parte sur les mêmes critères d'évaluation. »*

LE RETOUR À LA TERRE

Pour Karine Hurel, la réglementation est nécessaire, mais pas suffisante. Elle doit aussi s'accompagner d'un changement de nos perceptions. *« Cela peut paraître trivial, mais il est pour autant indispensable que nous redécouvrions notre environnement avec la diversité de ses fonctions. On a besoin de changer nos imaginaires sur le sol, par exemple. On ne le voit plus. Il semble ne pas exister. Or, il a pourtant de multiples fonctions, une épaisseur, une qualité, il accueille une formidable biodiversité… Il faut le remettre au centre de nos représentations. Se rendre compte qu'il y a des choses en dessous »*, rappelle-t-elle. Une fois n'est pas coutume, il faut donc aussi apprendre à regarder vers le bas. ●

* ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, ecologie.gouv.fr



LiDAR HD : VERS UNE NOUVELLE CARTOGRAPHIE 3D DU PAYS
LIEU : SAINT-ÉMILION
Date : 2022

Le programme national LiDAR HD prévoit la mise en place d'ici à 2026 d'une cartographie 3D du territoire d'une précision jamais atteinte à l'échelle de la France. Il mobilise pour cela une technologie de pointe : le LiDAR haute densité (cible visée : dix points par mètre carré en moyenne).
Par sa capacité à décrire finement le sol, même sous couvert végétal, le chevelu hydrographique – fleuves, rivières, etc. –

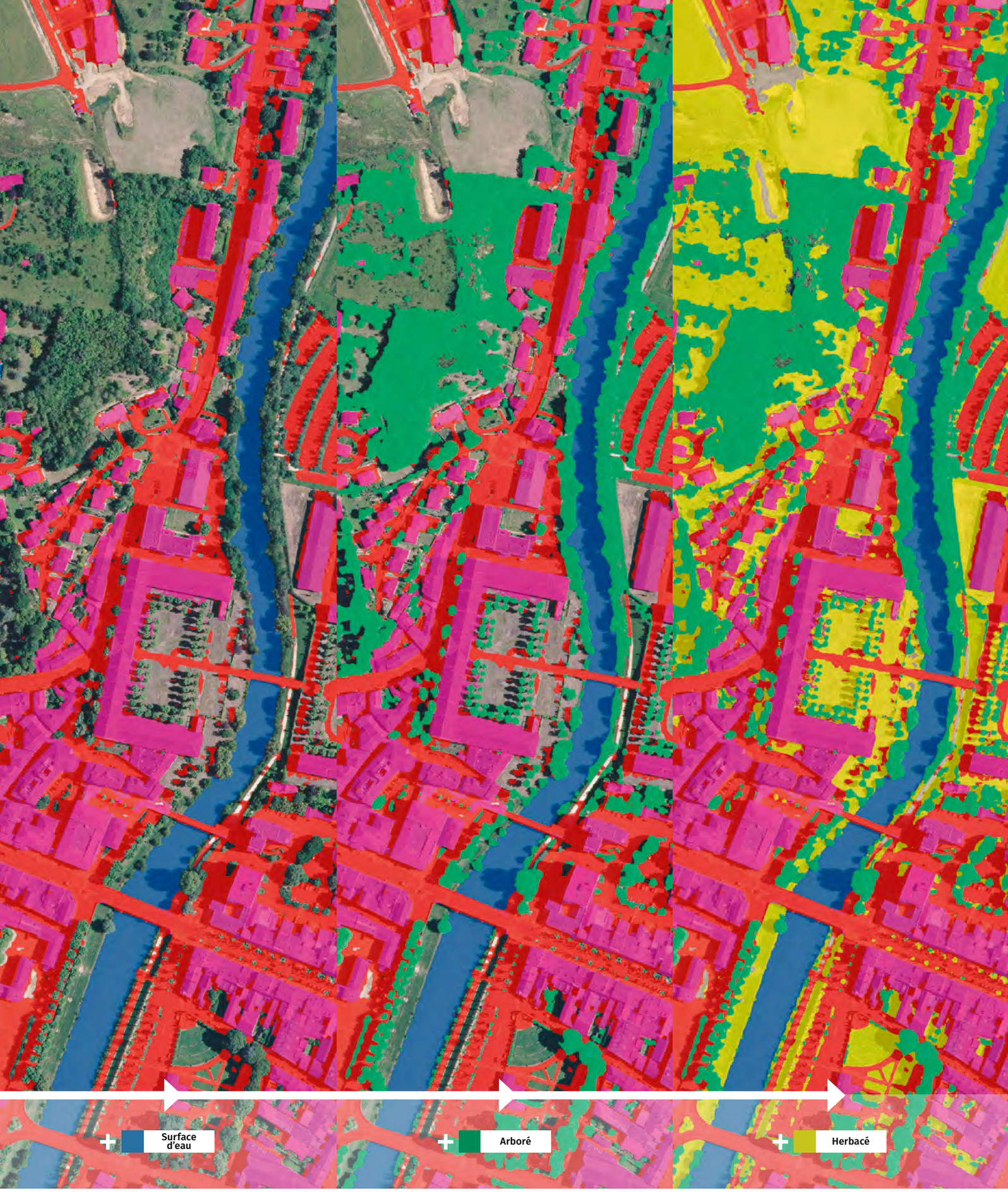
et les différents étages de la végétation, cette technologie est un puissant outil d'analyse et de suivi des évolutions du territoire. Elle répond ainsi aux besoins d'un large spectre de politiques publiques comportant une dimension spatiale : prévention des risques naturels, connaissance de la ressource forestière, gestion des parcelles agricoles, aménagement du territoire, préservation de la biodiversité, sécurité intérieure, transition énergétique, etc.

LIEU : PORT DE MARSEILLE
Date : 2022

DÉTECTION AUTOMATIQUE PAR INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (IA)
LIEU : AUCH
Date : 2019

Les modèles IA entraînés en amont permettent de détecter automatiquement la couverture du sol à partir des images aériennes, on parle de carte de prédiction.

Les informations sur la couverture du sol sont associées par la suite à d'autres bases de données géographiques IGN : base de données topographiques (BD TOPO), base de données forêt (BD Forêt), Registre parcellaire graphique (RPG). Ces bases de données servent à produire une première version d'occupation du sol, issue d'un traitement 100 % automatique.



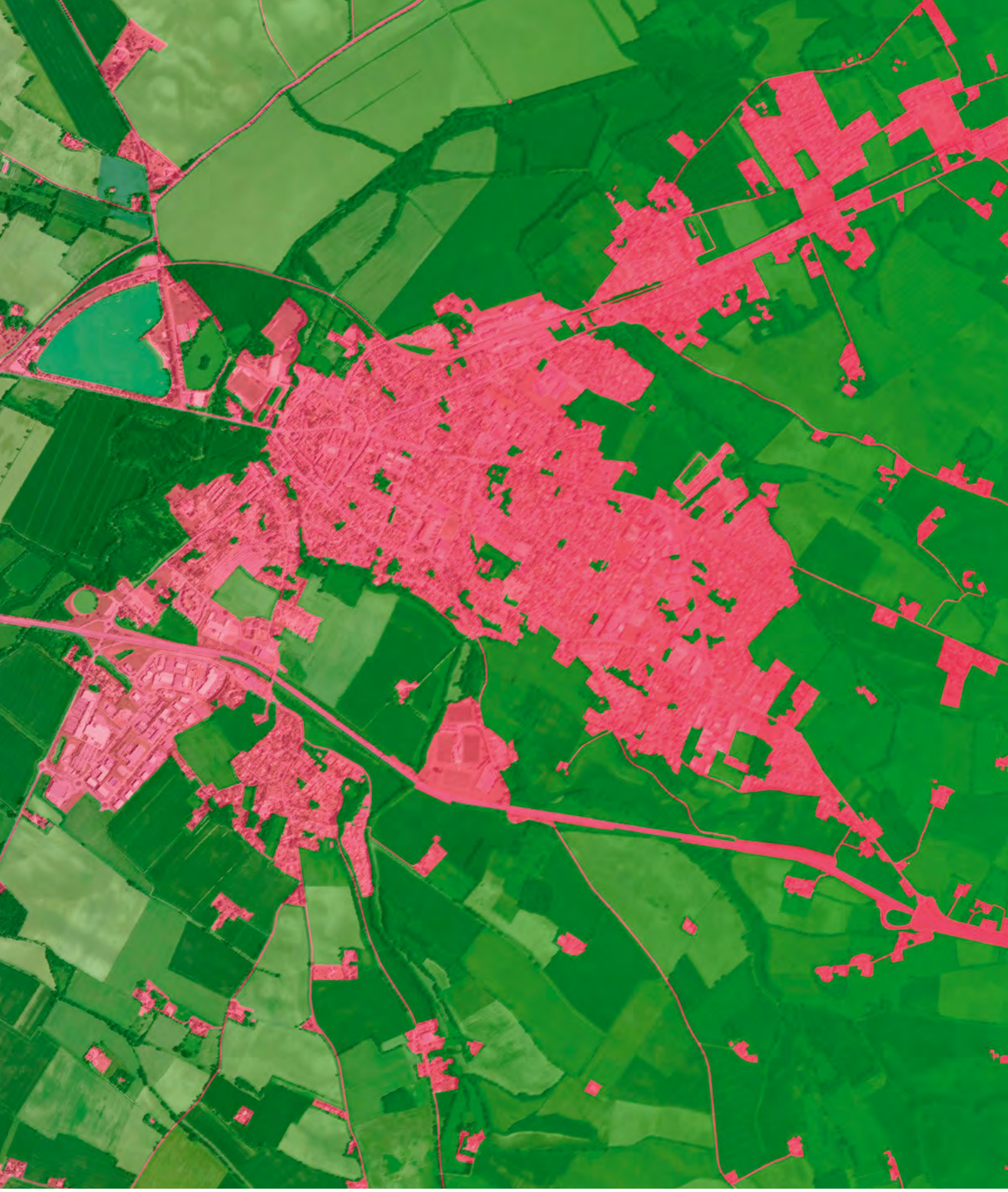
Enrichissement et correction par des photo-interprètes.

Ce premier jeu de données «tout automatique» fait l'objet d'un contrôle et de correction par photo-interprétation. À la fin de cette étape, l'occupation des sols devient complète et prête à être exploitée.

DONNÉES D'OCCUPATION DU SOL, DES RESSOURCES EN OPEN DATA
LIEU : EAUZE
Date : 2019

Au-delà du produit final que sont les données d'occupation du sol, l'IGN met à disposition en open data toutes les ressources qui contribuent au processus automatisé. Depuis le site geoservices.ign.fr chacun peut accéder :

- aux annotations [données permettant d'entraîner les modèles *deep learning* d'intelligence artificielle (IA)] ;
- aux jeux de données *deep learning* ;
- aux modèles IA et codes informatiques associés ;
- aux cartes de prédiction par *deep learning.*

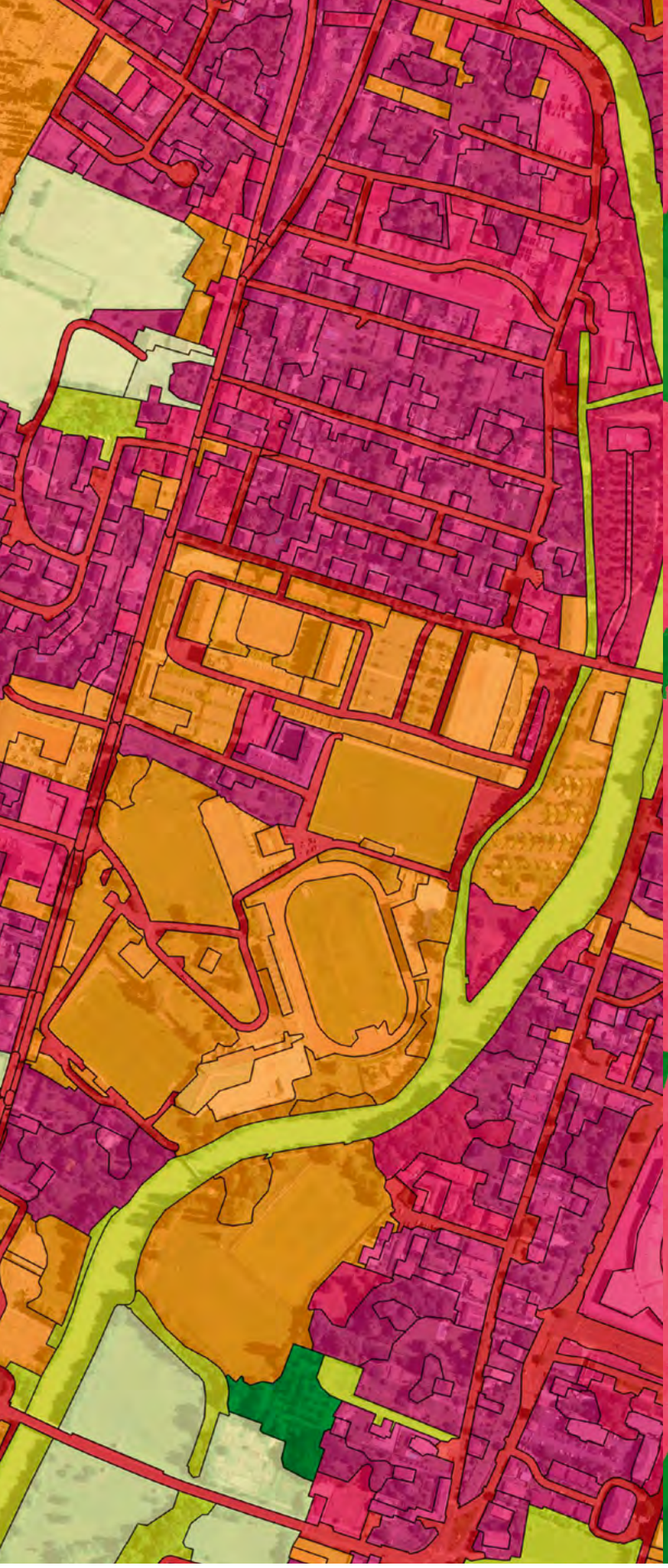


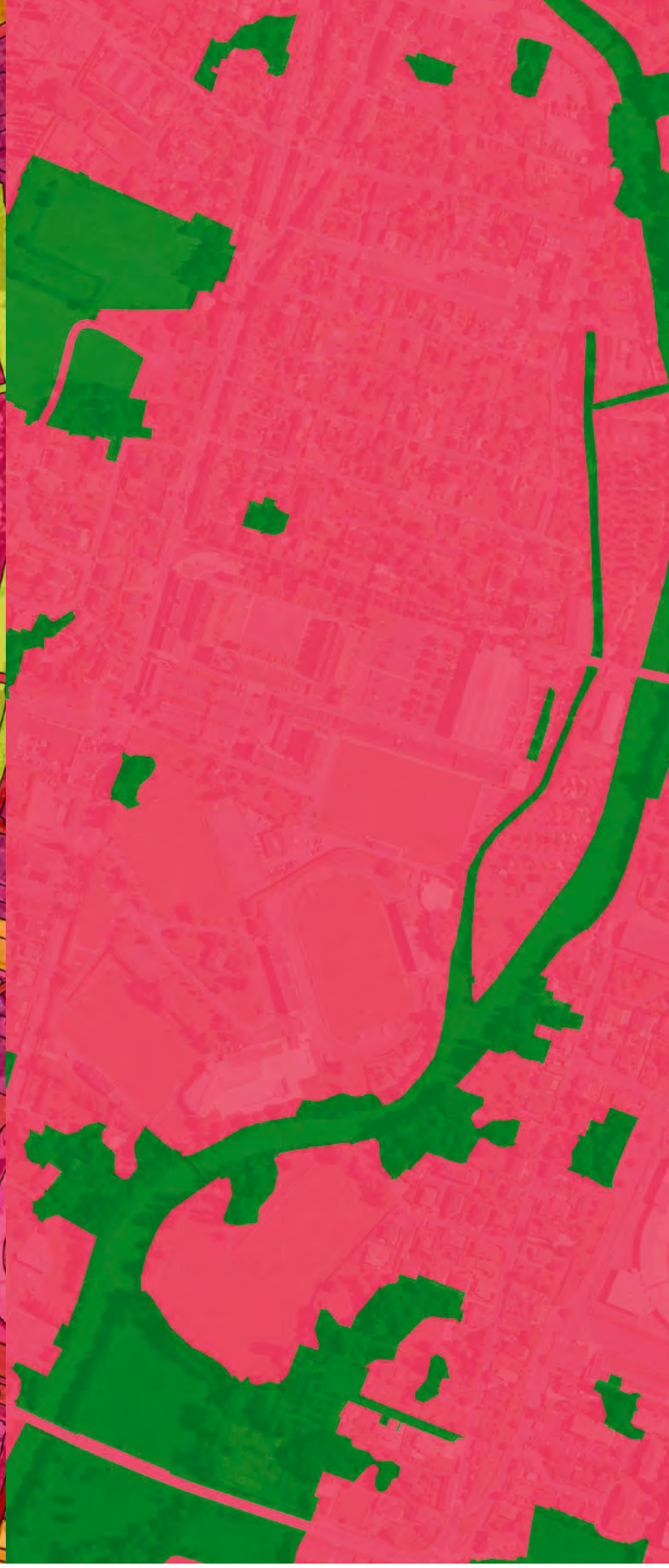
Avec la mise à disposition de ces ressources, l'IGN propose aux experts en intelligence artificielle et aux communautés techniques du secteur de l'information géographique (collectivités territoriales, communautés ouvertes, start-up) d'enrichir ces données (thèmes, classes, maille). Cela leur offre aussi les ressources de *deep learning* nécessaires à l'entraînement de leurs propres modèles.

Artificialisé
Non artificialisé

MESURE DE L'ARTIFICIALISATION DES SOLS
LIEU : AUCH
Date : 2019

Dans le cadre de l'Observatoire de l'artificialisation des sols de la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (DGALN), l'IGN, en collaboration avec le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) et l'Institut national de la recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAe), produit un référentiel de données géographiques pour décrire l'occupation et l'usage des sols. Ce programme ambitieux, mené en concertation avec les territoires, répond à l'objectif à terme de « zéro artificialisation nette » (ZAN) de la loi climat et résilience, et permet d'observer finement les territoires et leurs évolutions en fournissant des informations et chiffres clés sur l'artificialisation constatée. La couverture du territoire métropolitain et des départements et régions d'outre-mer (DROM) sera réalisée d'ici à 2024 avec la production de deux millésimes par département.





Couverture du sol

- CS1.1.1.1 - Zones bâties
- CS1.1.1.2 - Zones non bâties
- CS1.1.2.1 - Zones à matériaux minéraux
- CS1.1.2.2 - Zones à autres matériaux
- CS1.2.1 - Sols nus
- CS1.2.2 - Surfaces d'eau
- CS1.2.3 - Névés et glaciers
- CS2.1.1.1 - Peuplements de feuillus
- CS2.1.1.2 - Peuplements de conifères
- CS2.1.1.3 - Peuplements mixtes
- CS2.1.2 - Formations arbustives
- CS2.1.3 - Autres formations ligneuses
- CS2.2.1 - Formations herbacées
- CS2.2.2 - Autres formations non ligneuses

Usage du sol

- US1.1 - Agricole
- US1.2 - Sylviculture
- US1.3 - Activité d'extraction
- US1.4 - Aquaculture et pêche
- US1.5 - Autre production primaire
- US2 - Production secondaire
- US235 - Usage mixte
- US3 - Production tertiaire
- US4.1.1 - Transport routier
- US4.1.2 - Transport ferré
- US4.1.3 - Transport aérien
- US4.1.4 - Transport par voie navigable
- US4.1.5 - Autres réseaux de transport
- US4.2 - Services logistiques
- US4.3 - Réseaux d'utilité publique
- US5 - Usage résidentiel
- US6.1 - Zones en transition
- US6.2 - Zones abandonnées
- US6.3 - Sans usage
- US6.4 - Usage inconnu

- Artificialisé
- Non artificialisé

Mesurer « comment la ville avance »

La sobriété foncière est devenue une priorité nationale. Elle repose aujourd'hui sur l'observation, la planification et l'encadrement de la croissance urbaine sur tout le territoire. Une démarche qui demande de disposer de mesures fiables et durables si on veut atteindre à terme les objectifs de « zéro artificialisation nette » (ZAN). Le référentiel d'occupation du sol à grande échelle (OCS GE) mené par l'IGN pour la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (DGALN) porte cette ambition. Et bien d'autres.

La ville avance. En France comme un peu partout en Europe, et malgré un cadre réglementaire de plus en plus contraignant, le rythme d'extension urbaine ne cesse d'accélérer, continuant à tisser sa toile et à renforcer ses besoins en matière d'infrastructures gourmandes en espaces naturels. Les conséquences sont connues : augmentation des risques notamment liés aux inondations, chute de la biodiversité, accroissement des températures dans les zones bétonnées et hausse de l'empreinte carbone induit par l'usage excessif de la voiture individuelle. Le rythme actuel d'extension de l'artificialisation des sols ne semble plus compatible avec un mode de vie durable. Et l'ambition nationale, fixée en 2018 par le plan biodiversité, de stopper toute artificialisation nette des sols d'ici à 2050 semble difficile à tenir sans un cadre d'actions précis.

SE DONNER UN CADRE

Comme on a l'habitude de le dire, pour savoir où aller, il faut déjà savoir d'où l'on vient. La loi climat et résilience de 2020 fixe les typologies d'espaces qui doivent être prises en compte dans le cadre de l'inventaire des espaces artificialisés. Connaître le type de sol ne suffit cependant pas. Il faut aussi un outil de référence nationale qui permette de mesurer la surface d'occupation des sols et leur évolution dans le temps. C'est la raison d'être du référentiel d'occupation du sol à grande échelle (OCS GE), qui fournit un inventaire de données homogènes et pérennes sur l'ensemble du territoire métropolitain et des départements et régions d'outre-mer.

CROISER LES COMPÉTENCES, CUMULER LES DONNÉES

Ces données sont produites par l'IGN à partir des prises de vues aériennes croisées, le cas échéant, avec des données issues de référentiels nationaux ou locaux comme les bases de données forêt, les données foncières à usage résidentiel, secondaire ou tertiaire, issues du Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) et celles liées aux aides agricoles (Registre parcellaire graphique).

COMPRENDRE L'OCCUPATION DU SOL

L'objectif de ce recueil est d'obtenir une cartographie générale de tout le territoire permettant d'identifier la couverture du sol d'une part et l'usage qui en est fait d'autre part. Une fois croisées, ces deux informations déchiffrent le territoire et, *in fine,* quantifient l'artificialisation des sols. L'IGN couvrant un tiers du territoire chaque année en vue aérienne, l'objectif est de collecter d'ici à 2024 un référentiel de données exhaustif pour visualiser le flux d'artificialisation du territoire avec précision. Par rapport aux données qui existent à l'initiative des collectivités, ce référentiel apportera une harmonisation et une régularité nouvelles, se conformant aux travaux du Conseil national de l'information géolocalisée (CNIG). Et de faire de l'échéance 2030 un premier rendez-vous sur l'état d'artificialisation du sol.

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (IA) : UN GAIN DE TEMPS ET D'ARGENT

Pour y parvenir, les relevés photographiques effectués par l'IGN sont combinés à d'autres données : les modèles numériques de terrain (MNT) et les modèles numériques de surface (MNS), les annotations, etc. pour interpréter automatiquement les images et distinguer ce qui tient lieu d'habitations, de zones imperméables, d'espaces agricoles ou d'espèces végétales comme les feuillus ou les conifères. En tout, 15 classes

de couverture du sol sont référencées par l'intelligence artificielle. Ces méthodes s'appuient désormais largement sur la capacité apprenante de l'IA pour accélérer l'interprétation des données, phase la plus coûteuse en termes de temps et d'argent.

L'EXPERTISE HUMAINE POUR LA PRÉCISION

Produit sur le département pilote du Gers, pour lequel l'IGN avait déjà un premier jeu de prises de vues aériennes, cette technologie de *machine learning*, associée à des traitements automatiques, a prouvé son efficacité. Elle a aussi démontré que l'expertise humaine restait indispensable quand il s'agit de qualifier l'usage et certaines finesses du terrain comme les délimitations entre les jardins résidentiels et les bordures de champs. À ce jour, le processus IA atteint 83 % de bonne classification, et les traitements automatiques associés permettent au final de ne pas retoucher 94 % de la surface. Ce qui est d'autant plus remarquable que ce procédé repose précisément sur une technologie qui apprend de ses erreurs et devrait donc améliorer à l'avenir cette performance.

INNOVER ENSEMBLE

Reste que les jeux de données interprétées dans le cadre de l'OCS GE ne sont pas une finalité mais servent également à nourrir le besoin de connaissance de tous, notamment les enjeux spécifiques des collectivités territoriales. Beaucoup de données collectées et issues des processus IA ne sont pour l'instant pas utilisées et restent ouvertes à l'analyse. L'IGN produit des modèles génériques et des cartes de prédiction sur la base de ces processus inédits. Ils doivent permettre aux communautés de chercheurs, aux start-up et aux acteurs des territoires de se saisir de cette opportunité pour explorer des solutions innovantes à toutes les échelles. Une promesse de géo-communs. •

→ La sobriété foncière sera un enjeu central de la planification écologique.

+ L'Observatoire de l'artificialisation des sols

Votre Terre
vue d'en haut

Promouvoir la sobriété foncière, c'est avant tout pour chaque collectivité maîtriser l'extension de son urbanisation. Encore faut-il disposer de données fiables, évolutives et partagées pour pouvoir fixer sa politique territoriale et ses plans d'urbanisme en cohérence avec les objectifs nationaux. L'observatoire national de l'artificialisation des sols mis en place par la DGALN, qui exige un état des lieux annuel de la consommation d'espaces dans les territoires, porte cette ambition.
Cet observatoire s'appuie sur une plateforme web, ouverte en juillet 2019, qui donne un accès aux données relatives à l'occupation des sols collectées dans le cadre de l'OCS GE et à la progression du phénomène soit par conséquent, à l'extension des zones urbaines qui en découle.
Depuis 2009, une carte dynamique permet d'accéder aux données d'occupation relatives au territoire de son choix jusqu'à l'échelle de la commune et de les comparer aux évolutions de la démographie, à la densité des logements ou aux tendances nationales, par exemple. Au-delà de son caractère réglementaire, cet observatoire a surtout une ambition de transparence et d'émulation des territoires derrière un référentiel commun.

UNE FORÊT EN MUTATION

RENCONTRE AVEC…
Manuel Fulchiron, directeur adjoint à la direction des opérations et des territoires, responsable opérationnel forêt de l'IGN

Le paysage forestier français va fortement évoluer.

Les forêts, ce sont des arbres, des sols, une flore et une faune qui constituent un écosystème riche et complexe. Cet équilibre est aujourd'hui bousculé. En cause, des sécheresses plus fréquentes, des incendies et des maladies qui frappent les arbres. Or, les forêts « produisent » des services économiques, sociaux et écologiques à préserver. Pour Manuel Fulchiron, il est important de mieux connaître ces espaces pour aider la forêt à être plus résiliente et à conserver un écosystème fonctionnel.

Il y a différentes manières de considérer une forêt. Elle est d'abord un bien commun dans lequel on aime à se balader. Un objet social important qui est aussi partie intégrante de l'identité d'un territoire. C'est également un objet économique de par l'exploitation de bois et d'autres biomatériaux comme la résine ou le liège. C'est enfin un espace qui rend des services environnementaux tels que la captation du carbone ou la préservation de la biodiversité. La forêt est, à ce titre, pour l'un et l'autre, la deuxième ressource en France après les océans. Indéniablement, elle rend des services. Encore faut-il savoir les concilier. Pour Manuel Fulchiron, *« cela nécessite de bâtir des compromis. Pour cela, il faut connaître le plus finement possible ce qu'on y trouve, ce qu'il s'y passe et comment ces espaces vivants évoluent dans le temps ».*

L'ARBRE QUI CACHE LA FORÊT

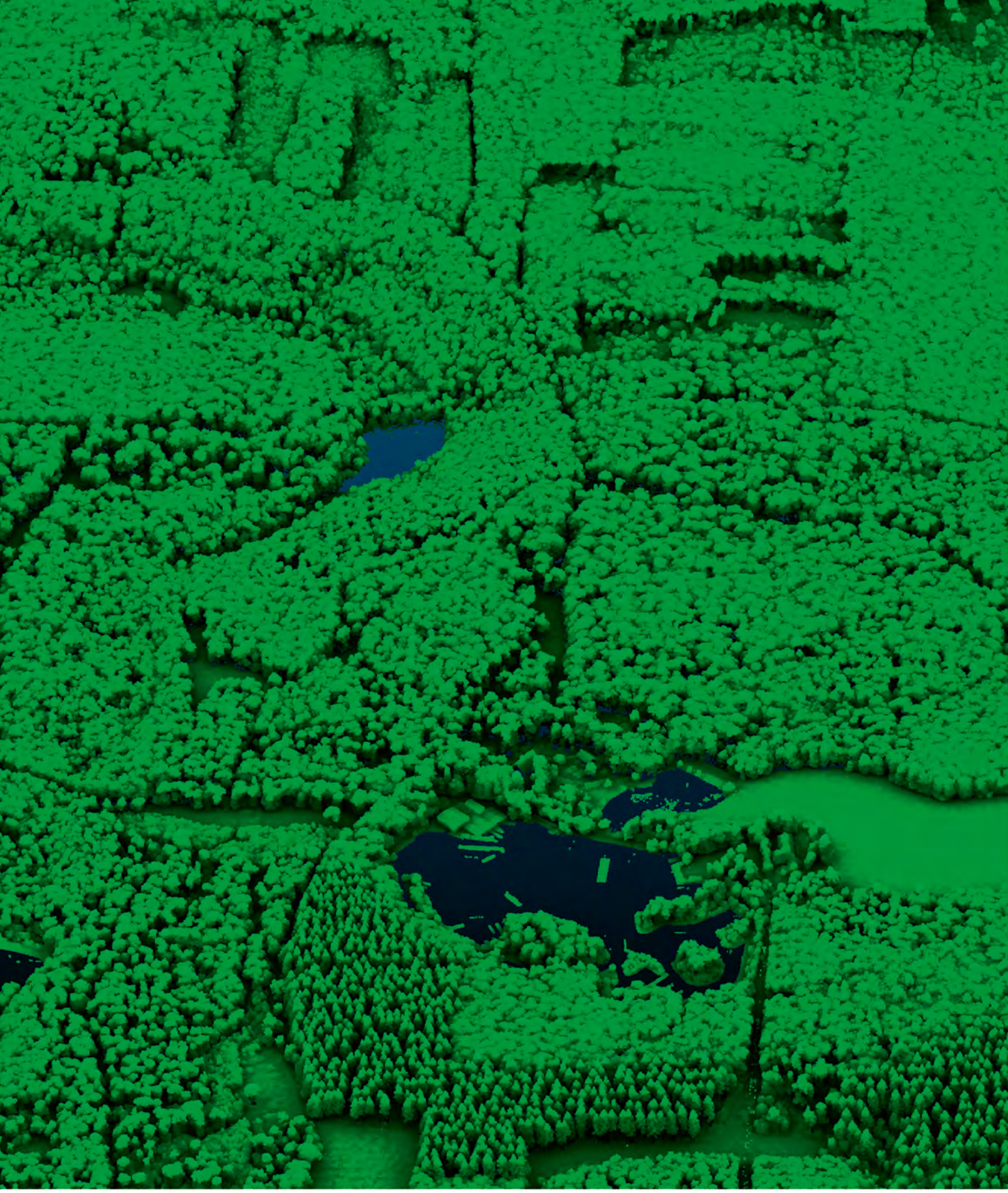
Depuis plus d'un siècle, la superficie forestière augmente. Avec 10 millions d'hectares recensés en 1908, elle couvrait 19 % du territoire. Elle en couvre désormais 31 % avec 17 millions d'hectares. Derrière ces chiffres encourageants se dissimule une perspective plus noire. *« On s'aperçoit depuis quelques années que la forêt augmente moins vite en volume »,* précise Manuel Fulchiron. En cause, notamment, la vitalité des arbres qui se détériore. Entre les incendies, la succession des sécheresses qui freinent la croissance des individus, et les bioagresseurs, qui corrompent leur santé, les massifs forestiers sont sous pression. *« Les parasites qui attaquent les arbres sont connus. Un arbre en bonne santé arrive facilement à se défendre. Mais quand les arbres ont trop chaud, sont trop secs, les parasites finissent par pulluler. On parle d'ailleurs de tempête silencieuse, qui met à terre un grand nombre d'arbres sans qu'on entende de grand bruit, comparé à une tempête ou un ouragan. »*

UNE ÉVOLUTION INÉVITABLE DES FORÊTS

Épicéas, frênes, sapins ou encore châtaigniers sont des exemples d'essences aujourd'hui concernées par le phénomène. Or la santé des arbres est cruciale pour assurer la réserve de biodiversité, mais aussi pour lutter contre le réchauffement climatique. La forêt française absorbe 83 millions de tonnes de CO_2 chaque année. Alors pour subsister, elle doit s'adapter. Selon Manuel Fulchiron, *« les essences forestières migrent lentement et on ne peut pas savoir avec certitude comment va évoluer la météo. Cependant, selon les prévisions d'organismes scientifiques comme le Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), il est raisonnable de penser qu'il va y avoir une forte modification du paysage forestier français et de la composition des forêts à l'horizon 2080-2100 ».*

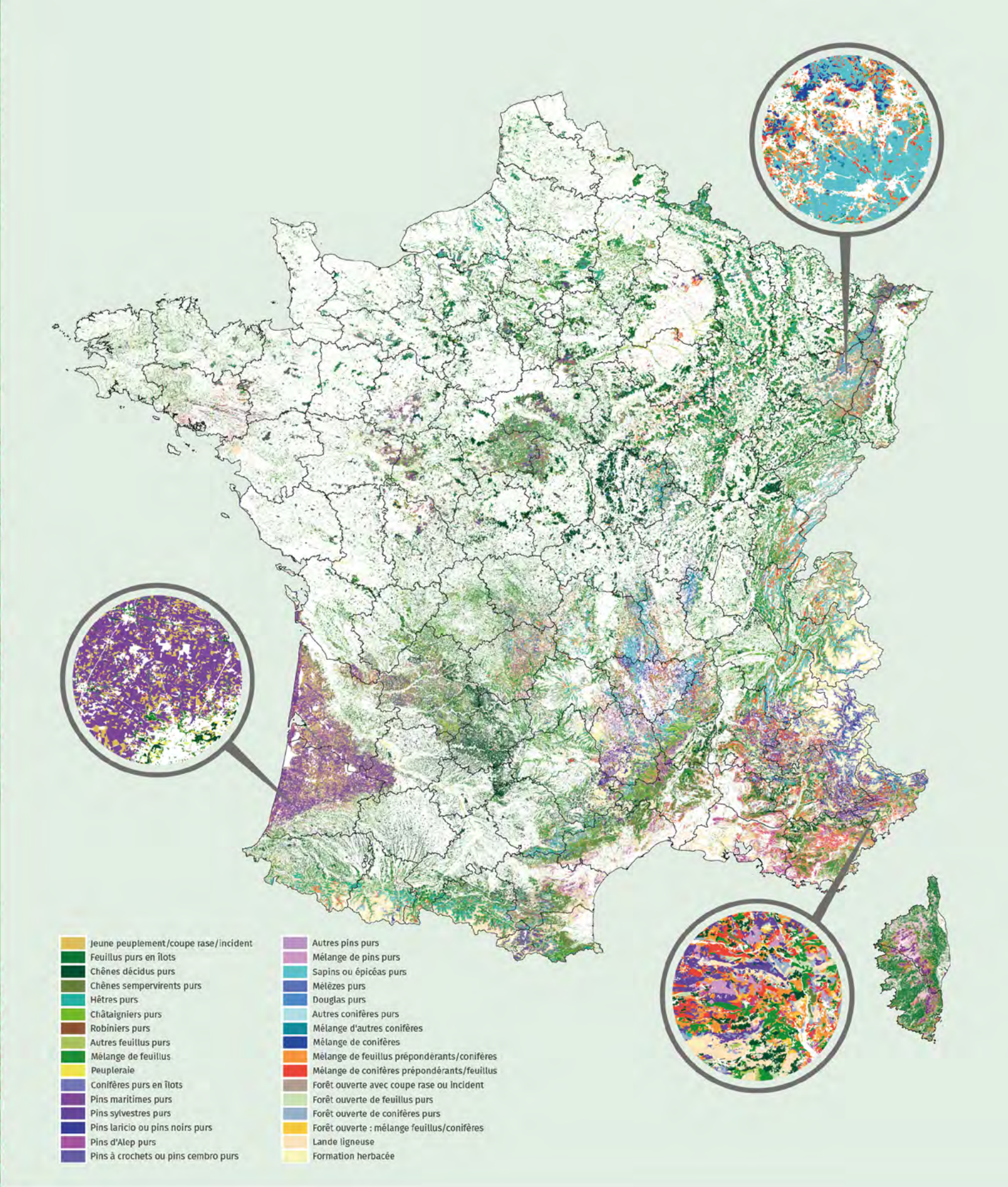
BÂTIR UNE FORÊT RÉSILIENTE

Il est donc pertinent pour les gestionnaires forestiers, toujours selon Manuel Fulchiron, de définir localement des orientations de gestion pour pallier le fait que des espèces d'arbres ne sont ou ne seront plus adaptées aux conditions climatiques et environnementales. En parallèle, il est nécessaire de suivre l'évolution des massifs et de leur fonctionnement dans un contexte environnemental changeant. En 2021, les Assises de la forêt ont mobilisé toutes les parties prenantes pour « construire » la forêt de demain. *« L'IGN a été conforté dans son rôle d'informateur objectif et d'aide à la décision en matière de politiques publiques »*, en particulier par la mise en place de l'Observatoire national de la forêt et du bois, précise, pour conclure, Manuel Fulchiron. ●



LiDAR HD : POUR UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DE LA RESSOURCE FORESTIÈRE
LIEU : FORÊT DE CHAMBARAN
Date : 2022

La technologie LiDAR utilisée pour cartographier la France en 3D permet de décrire finement le sol y compris le couvert végétal et les différents étages de végétation.

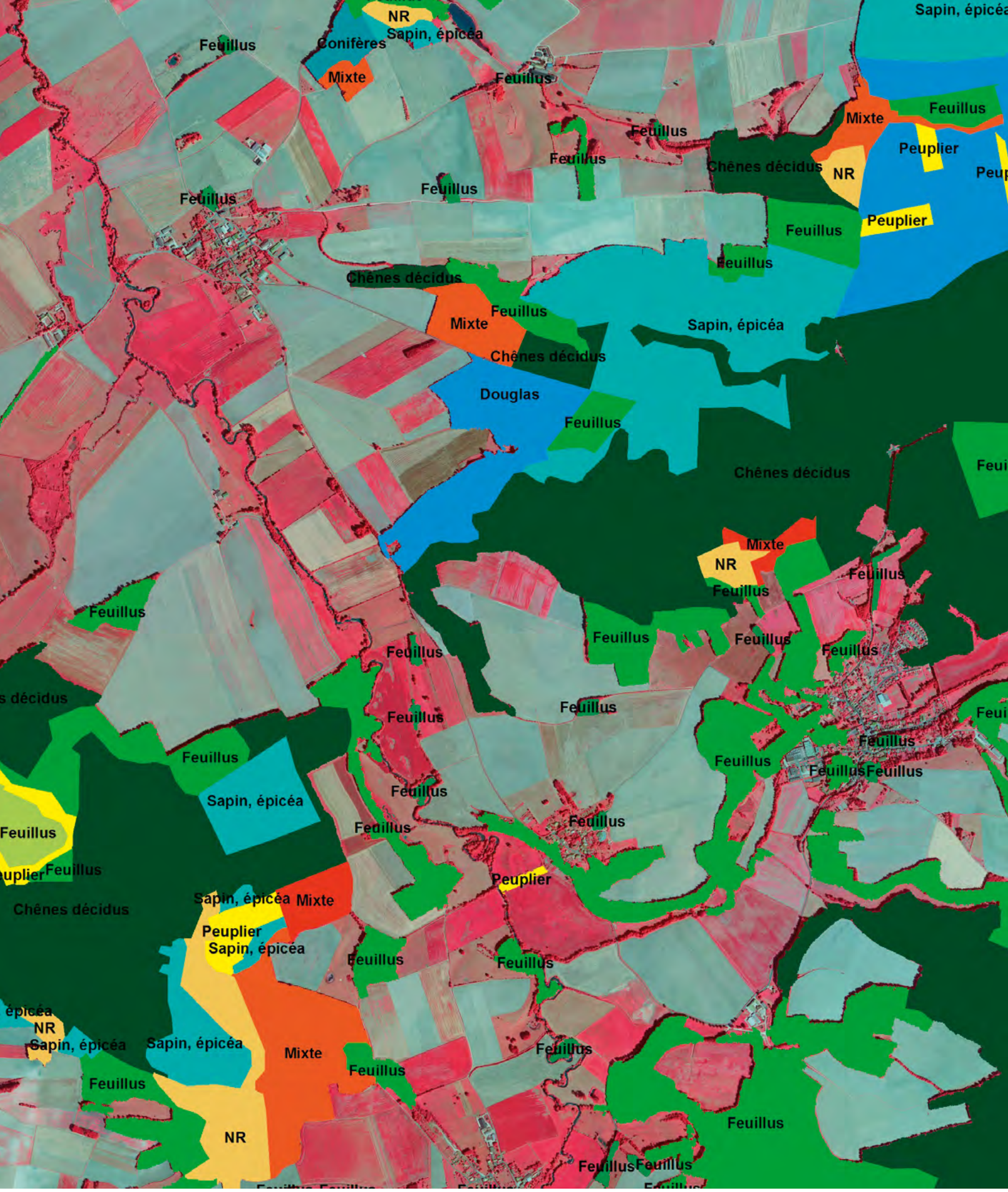


LA BASE DE DONNÉES FORÊT : UNE CARTE FORESTIÈRE D'UNE GRANDE RICHESSE
Date : 2018

L'IGN établit une base de données géographiques de référence pour l'espace forestier et les milieux semi-naturels : la BD Forêt. Cette base de données décrit en détails les formations végétales forestières. Produite par emprises départementales à partir d'une photo-interprétation d'images infrarouge couleur (IRC), elle est complétée par un passage sur le terrain. La BD Forêt doit être mise à jour, en s'appuyant notamment sur la technologie de l'intelligence artificielle.

PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE EN INFRAROUGE COULEUR

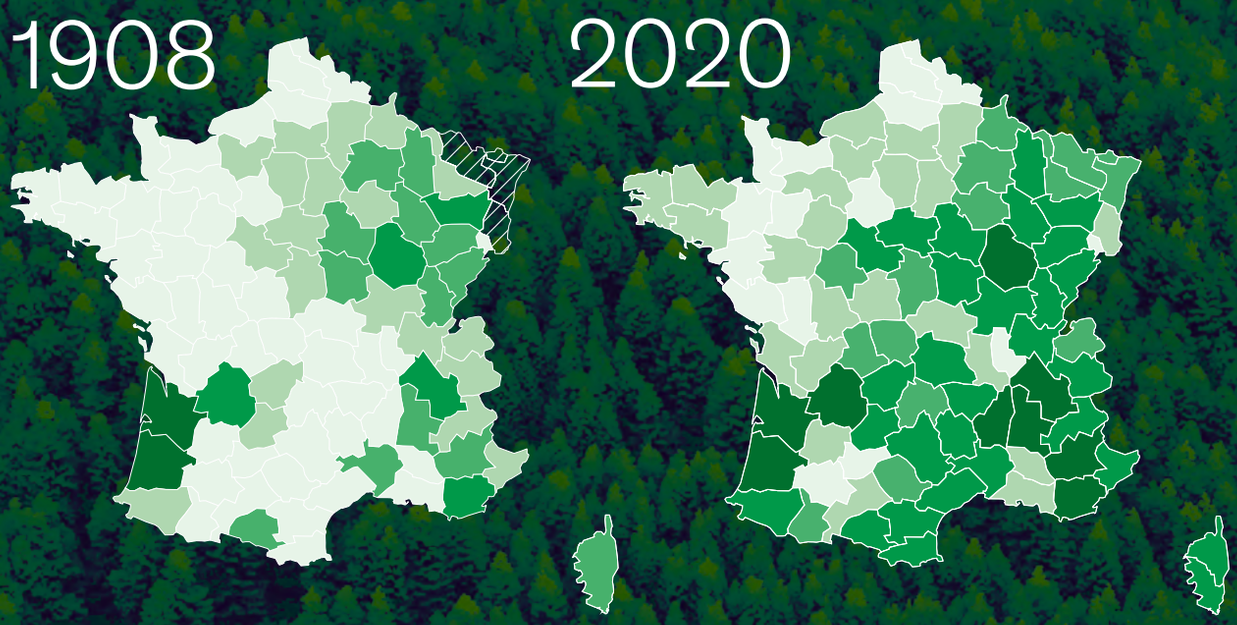
Les orthophotographies ou orthoimages sont des prises de vues, ici aériennes, de la surface terrestre. Ces photographies sont rectifiées géométriquement, égalisées radiométriquement et géoréférencées. La photographie aérienne par infrarouge couleur superpose une image infrarouge à une orthophotographie, en utilisant un décalage sur le code couleur afin de rendre visible les rayonnements du proche infrarouge réfléchis par les végétaux (longueurs d'onde comprises entre 700 et 900 nanomètres). L'étude des images infrarouge couleur (IRC) donne des indications relatives à la végétation arborée (espèces, état sanitaire, etc.) ou aux cultures.



BASE DE DONNÉES FORÊT SUR FOND D'IMAGE INFRAROUGE COULEUR
LIEU : DÉPARTEMENT DE LA MARNE

Les photos IRC peuvent être croisées avec la BD Forêt afin de déterminer les différentes essences d'arbres sur un territoire.

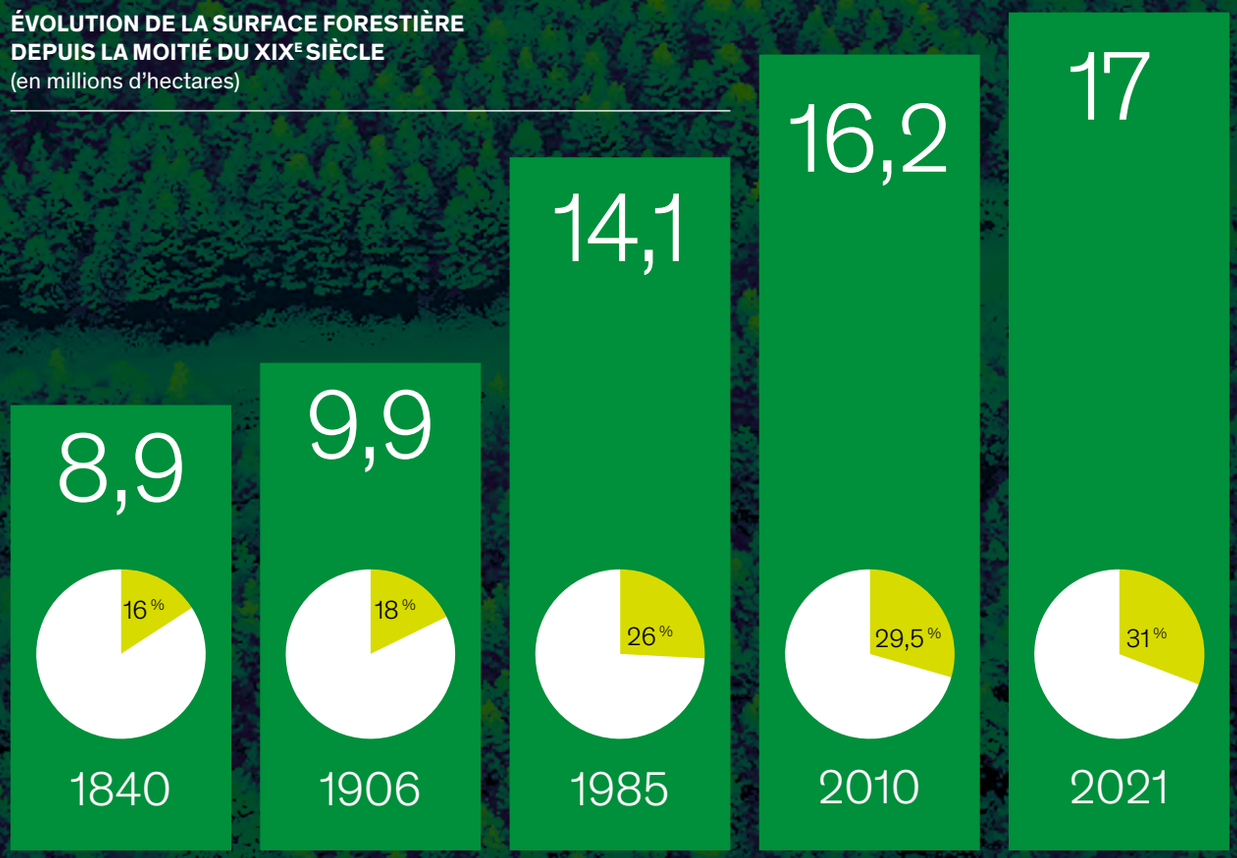
LA SUPERFICIE FORESTIÈRE



Depuis plus d'un siècle, la superficie forestière métropolitaine augmente. En 1908, la forêt française couvrait **19 % du territoire** avec près de 10 millions d'hectares. Elle en couvre désormais **31 % avec 17,0 millions d'hectares**. Depuis 1985, où la forêt représentait alors 14,1 millions d'hectares, l'accroissement est toujours soutenu, à hauteur de près de 80 000 hectares par an. **L'extension se fait notamment en Bretagne et dans la zone méditerranéenne**.

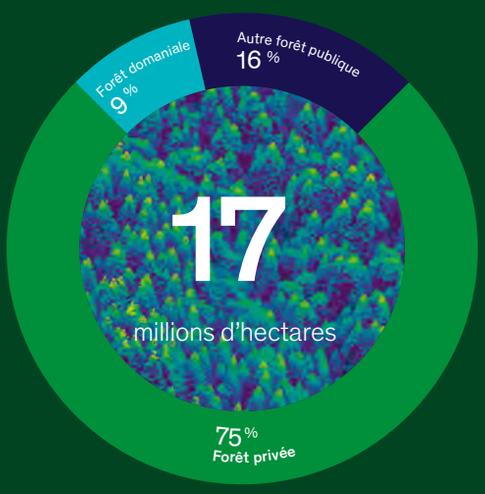
- Moins de 100 000 ha
- Entre 100 000 et 150 000 ha
- Entre 150 000 et 200 000 ha
- Entre 200 000 et 300 000 ha
- 300 000 ha et plus
- Départements hors France en 1908

ÉVOLUTION DE LA SURFACE FORESTIÈRE DEPUIS LA MOITIÉ DU XIXE SIÈCLE
(en millions d'hectares)

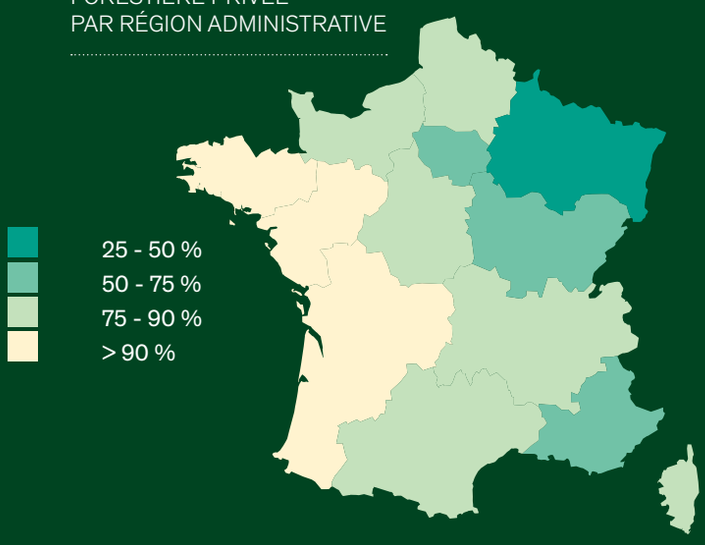


LA PROPRIÉTÉ FORESTIÈRE

Les trois quarts de la forêt française métropolitaine (12,7 millions d'hectares) appartiennent à des propriétaires privés. La forêt publique représente donc un quart des forêts métropolitaines. Elle se répartit entre les forêts domaniales (1,5 million d'hectares) et les autres forêts publiques (2,8 millions d'hectares), essentiellement des forêts communales.



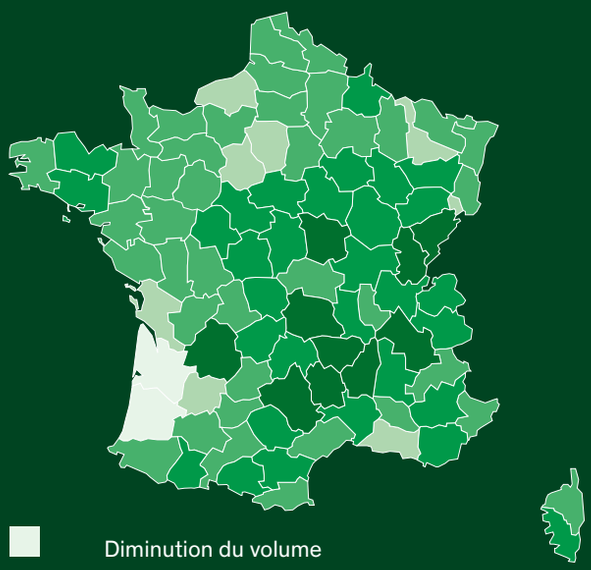
PART DE LA SURFACE FORESTIÈRE PRIVÉE PAR RÉGION ADMINISTRATIVE



LES PRÉLÈVEMENTS DE BOIS

En dix ans, le volume de bois coupé en forêt a augmenté de 18 % : **les prélèvements étaient de 42,4 millions de mètres cubes (Mm³/an) sur la période 2005-2013, pour 50,1 Mm³/an sur la période 2011-2019**. Il n'est néanmoins pas possible de quantifier de manière précise la part liée aux coupes sanitaires.
En moyenne, chaque année, 24,2 Mm³ de feuillus et 25,9 Mm³ de conifères sont coupés en forêt.
Les chênes (rouvre, pédonculé et pubescent) constituent 14 % de l'ensemble des prélèvements en métropole. L'essence la plus prélevée est le pin maritime (6,5 Mm³/an) suivie par l'épicéa commun (6,3 Mm³/an). C'est en Nouvelle-Aquitaine que les prélèvements sont les plus importants (22 % des prélèvements nationaux).

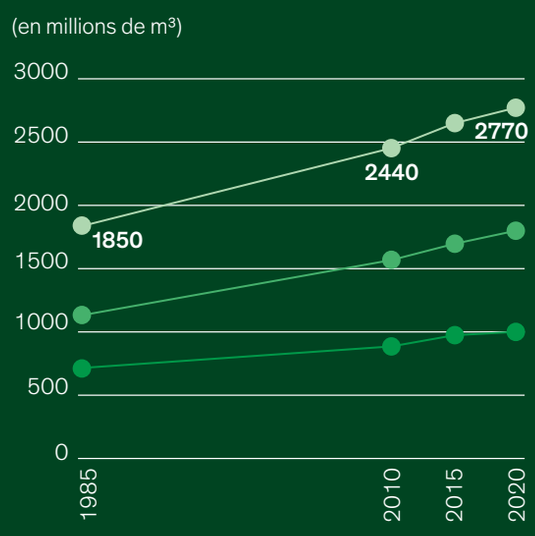
ÉVOLUTION DU VOLUME DE LA FORÊT DE PRODUCTION ENTRE 1985 ET 2020



Diminution du volume

Augmentation du volume :
- 0 à 3 millions de m³
- 3 à 10 millions de m³
- 10 à 20 millions de m³
- > 20 millions de m³

ÉVOLUTION DU VOLUME DE BOIS TOTAL, DE FEUILLUS ET DE CONIFÈRES, DURANT LES TRENTE DERNIÈRES ANNÉES

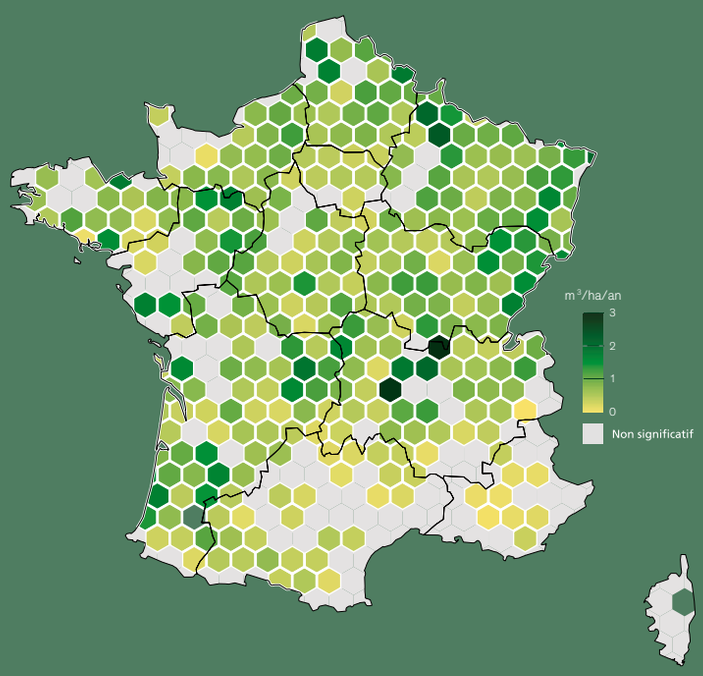


Volume :
- Total
- Feuillus
- Résineux

LA RESSOURCE EN BOIS

Le volume de bois sur pied à l'hectare représente 2,8 milliards de m^3 et est en moyenne de 174 m^3 à l'hectare. Il est plus élevé en forêt publique (198 m^3/ha) qu'en forêt privée (166 m^3/ha). **Ce stock de bois sur pied connaît une très forte progression de presque 50 % en une trentaine d'années**, passant de 1,8 milliard de m^3 sur pied en 1985 à 2,8 milliards de m^3 aujourd'hui. Cependant, cette progression a tendance à s'amenuiser depuis peu du fait d'une production biologique plus faible, de prélèvements et d'une mortalité en augmentation.

RÉPARTITION DES PRÉLÈVEMENTS DE BOIS SUR LA PÉRIODE 2011-2019



LA FORÊT, PUITS DE CARBONE, RÉSERVOIR DE BIODIVERSITÉ

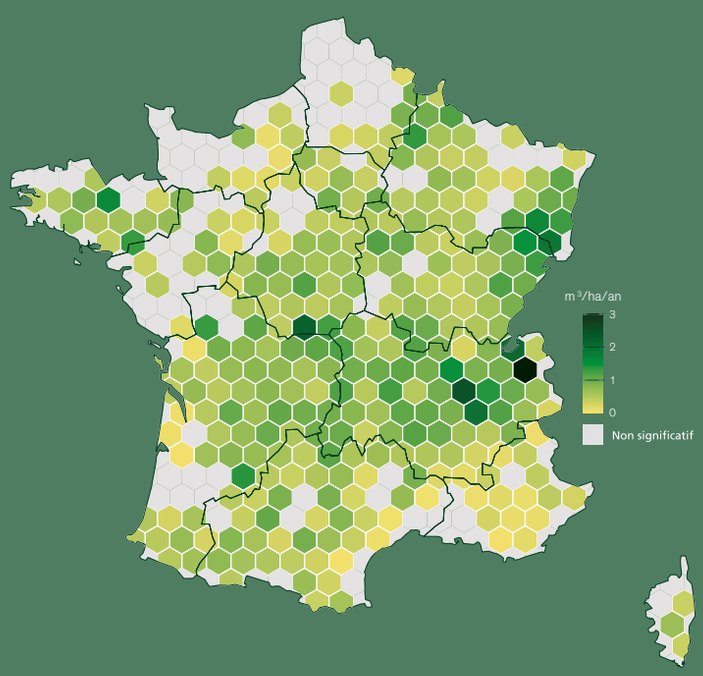
La croissance des arbres sur la période 2011-2019 s'est ralentie (– 3 %) par rapport à la période 2005-2013 du fait des conditions climatiques difficiles pour les arbres (successions de sécheresse) et du développement de bioagresseurs. La forêt est le premier puits de carbone terrestre de France. Sa capacité est fonction de la croissance des arbres mais aussi de leur mortalité.

La mortalité tend à augmenter ces dernières années : **elle était de 7,4 Mm³/an sur la période 2005-2013 et est passée à 10 Mm³/an** sur la période 2011-2019. Cette hausse de 35 % est notamment due aux crises sanitaires liées à des conditions climatiques à la fois difficiles pour les arbres (sécheresses) et propices aux bioagresseurs (insectes, champignons, bactéries) propres à chaque espèce d'arbres.

La mortalité annuelle représente en moyenne **0,4 % du volume total de bois vivant sur pied**. Elle affecte les essences et les régions de façon très différente.

Le bois mort sur pied et les chablis représentent **120 millions de mètres cubes**. La présence de bois mort en forêt est aussi une condition de survie pour de nombreuses espèces essentielles au bon fonctionnement de ces écosystèmes.

RÉPARTITION DE LA MORTALITÉ SUR LA PÉRIODE 2011-2019



Source pour les données Forêt : *Le Mémento de l'inventaire forestier* – édition 2021

FOCUS SUR LE CHÂTAIGNER

C'est l'essence qui, en proportion et en valeur absolues, présente le plus de signes de dépérissement :

→ le plus fort taux d'arbres morts : **15 %** ;

→ le plus grand stock d'arbres morts sur pied : **23 millions de m³, soit 21 % du volume national** ;

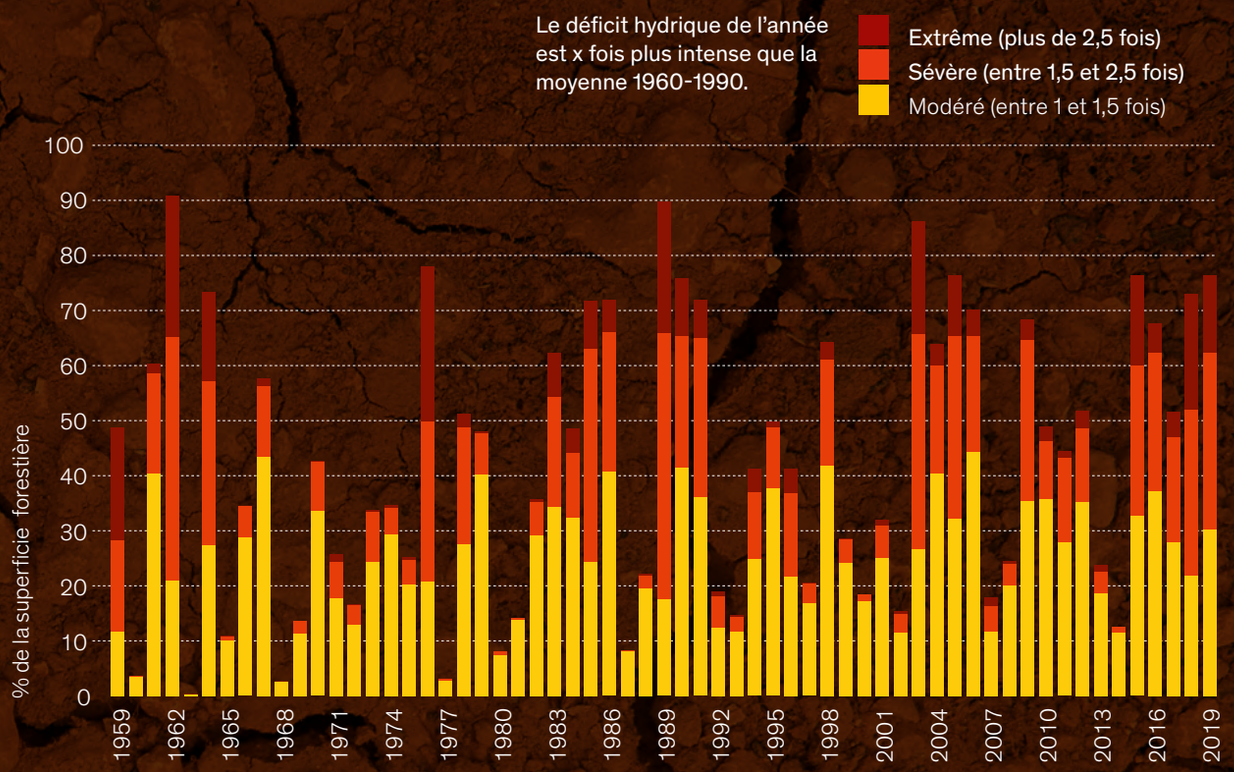
→ la plus forte mortalité annuelle moyenne : **1,3 million de m³/an, soit 15 % de la mortalité nationale toutes essences confondues** ;

→ une présence importante de branches mortes : **plus de 9 % des tiges et du volume de l'essence présentent une mortalité de branches supérieure à 25 %.**

Pour info :
Le châtaignier est touché par différentes maladies exotiques, dont le chancre et l'encre depuis plus de soixante-dix ans.

SÉCHERESSE

La succession de plusieurs années sèches, au moins localement, avec des températures extrêmes a nettement mis à mal des espèces d'arbres ces dernières années, en particulier lorsqu'elles sont hors de leur optimum stationnel.



Source : *L'IF - Santé des forêts* n° 47 (novembre 2021) - Analyse des principales données sanitaires

De l'inventaire forestier à la modélisation de la forêt

La forêt française va faire face à des bouleversements importants dans sa composition en essences et la répartition géographique de celles-ci. Les contextes climatiques et sanitaires qui affectent actuellement certaines forêts (dépérissement dû aux épisodes répétés de sécheresse, d'incendies, ou la crise des scolytes) placent la question de l'adaptation des forêts au changement climatique au centre des discussions concernant les stratégies à adopter (renouvellement forestier, ressources forestières, zones à protéger, etc.).

L'inventaire forestier a fêté ses 60 ans. Cet exercice statistique de grande ampleur permet de surveiller de près ces évolutions sur l'ensemble du territoire métropolitain, et de fournir des informations objectives pour préparer la forêt de demain.

La forêt évolue. Sous le double effet du réchauffement climatique et de maladies émergentes, les arbres de la forêt française connaissent aujourd'hui une surmortalité. En dix ans, on observe par exemple à 35 % la mortalité supplémentaire des individus. Cependant, la surface forestière continue de s'accroître, pour atteindre quasiment un tiers du territoire métropolitain. Les prélèvements de bois ont par ailleurs progressé de 18 % en volume, pour satisfaire les besoins en bois d'œuvre, bois d'industrie et bois énergie, tous en hausse, en cohérence avec la transition écologique de l'économie. Le bilan des flux (différence de volume entre accroissement et prélèvements plus mortalité) reste positif, mais il est moins excédentaire qu'auparavant.

SURVEILLER D'UN ŒIL NEUTRE

Dans ce contexte, observer en continu l'évolution des massifs forestiers est essentiel. Afin de fournir une information à la fois fidèle à la réalité du terrain et indiscutable, l'IGN met en œuvre un protocole statistique scientifiquement validé par le Comité national de l'information statistique (Cnis). Ce label garantit à l'ensemble des utilisateurs de ces données une qualité et une fiabilité sur lesquelles ils peuvent baser leurs réflexions. La politique forestière et la gestion forestière opérationnelle doivent prendre en compte un ensemble d'objectifs qui peuvent parfois apparaître difficiles à concilier. Il est donc crucial de disposer de données impartiales. Une impartialité inscrite dans les missions d'observation de l'IGN.

MESURER ET INFORMER

L'inventaire forestier assure la collecte d'information sur l'ensemble de la forêt française, qu'elle soit publique (25 %) ou privée (75 %). Les informations recueillies intègrent au fur et à mesure les préoccupations et les questions nouvelles vis-à-vis des massifs forestiers ainsi que les besoins et les usages exprimés par les politiques publiques. Cette connaissance part nécessairement de mesures de terrain. Quotidiennement, des agents se déplacent pour prendre des mesures sur les arbres, sur près de 15 000 placettes par an, mais aussi sur la nature des sols, la flore, les essences présentes, les bois morts, l'accroissement des individus, la répartition des espèces, des habitats naturels, etc. Plusieurs centaines de

données sont collectées, apportant des informations sur la ressource en bois, la biodiversité, l'écosystème forestier ou encore la santé des espèces. Trois millions de mesures sont ainsi recueillies chaque année et permettent notamment de suivre l'évolution qualitative et quantitative des écosystèmes forestiers. Ces informations ouvertes, publiées également sous forme de *Mémento* comprenant des cartes accessibles à tous, nourrissent la recherche scientifique et l'action de nos partenaires.

SUIVRE L'ÉVOLUTION DE LA BIODIVERSITÉ ET DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS

Cette observation est complétée par celle du programme de suivi temporel des habitats forestiers, utilisé depuis 2012, notamment par le ministère chargé de l'écologie. Ce programme assure l'identification des groupements végétaux potentiels de la forêt française (les « habitats ») et rend possible, par croisement avec d'autres données, le calcul d'indicateurs d'état de conservation. Six à sept mille nouvelles placettes sont visitées chaque année et plus de 60 000 données géolocalisées d'occurrences d'habitats naturels forestiers ont aujourd'hui été recensées. En 2018, grâce au suivi temporel, l'IGN a pu répondre aux exigences fixées par la directive communautaire habitat-faune-flore, adoptée en 1992, en mesurant l'état de conservation des habitats forestiers dans les quatre zones biogéographiques métropolitaines.

LE PATRIMOINE CARTOGRAPHIQUE À LA RESCOUSSE

La connaissance de l'évolution des massifs forestiers s'enrichit également par le travail de vectorisation de la couche forêt des cartes d'état-major établies durant la première moitié du XIXe siècle, à une période où la surface forestière française était au plus bas. Cette vectorisation rend désormais possible le traitement par logiciel de systèmes d'information géographique et la comparaison avec les données plus récentes. Un rapprochement qui révèle la manière dont les surfaces forestières ont évolué depuis près de deux cents ans. Une information précieuse pour visualiser les forêts récentes, celles qui ont disparu et celles qui sont anciennes. Une partie de ces forêts anciennes peu touchées par l'homme abritent des écosystèmes rares, et parfois proches de l'état des forêts primaires (aujourd'hui inexistantes en France métropolitaine). Elles revêtent un intérêt environnemental et de stockage du carbone exceptionnel justifiant des recherches poussées par des experts de l'IGN.

MODÉLISATION ET NOUVELLES DONNÉES POUR RÉPONDRE AUX QUESTIONNEMENTS ÉMERGENTS

Dans un contexte environnemental et socio-économique évolutif, élaborer les politiques publiques requiert des informations nouvelles, plus réactives, capables de faire des projections en fonction de plusieurs hypothèses. Fort de ses capacités de recherche, notamment dans les laboratoires de l'École nationale des sciences géographiques (ENSG-Géomatique), et de décennies d'expériences et de données, l'IGN adapte ses méthodes, autant sur le terrain qu'en traitement de données aériennes. Deux exemples récents permettent d'illustrer ce dynamisme. Le premier a trait au renouvellement de la forêt. Afin de disposer d'un diagnostic fiable et total, l'IGN va relever à compter de 2023 des données relatives au nombre de jeunes pousses et de traces de consommation par la faune. Le deuxième exemple concerne l'exploitation du LiDAR HD pour la connaissance de la forêt. Cette technologie va permettre de disposer d'un modèle numérique de terrain en très haute définition et d'un modèle numérique de surface (la hauteur du couvert forestier). Cela donnera accès, sans délai, à une précision fortement améliorée des résultats de l'inventaire statistique des forêts, et à terme (travaux de recherche en cours) à de nouvelles méthodes plus réactives, faisant appel à la modélisation, en croisant données de terrain diverses, LiDAR et images aériennes au sein de modèles mathématiques complexes.

L'IMPORTANCE DE PRODUIRE DES RÉFÉRENCES NATIONALES ET INTERNATIONALES FIABLES

Face à l'ampleur des effets du changement climatique dans tous les secteurs – économiques, sociaux et environnementaux – de notre société, disposer d'analyses solides et fiables pour alimenter le débat national ou international est essentiel. En 2021, l'IGN a contribué, avec des partenaires comme l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe), l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), le ministère chargé de la forêt et le Groupement d'intérêt public ECOFOR, à porter à la connaissance de tous des indicateurs de gestion durable. Ces indicateurs, au format encadré au niveau européen, offrent à tout un chacun la possibilité de suivre l'état des forêts françaises et permettent de suivre les grands débats internationaux sur la place de la forêt dans les politiques publiques. ●

+ L'Observatoire national de la forêt et du bois

Un lieu de partage pour la filière et son avenir

Décidé à l'issue des Assises de la forêt et du bois qui se sont tenues d'octobre 2021 à mars 2022, l'Observatoire national de la forêt et du bois doit permettre à l'ensemble des parties prenantes (ministères, acteurs de la filière, ONG, scientifiques, etc.) de partager une compréhension commune de la forêt et de son évolution.

Souhaité comme une véritable agora de la forêt et du bois, cet observatoire est en cours de conception par l'ensemble des acteurs de la filière forêt-bois, à la fois coproducteurs et utilisateurs. Dans un contexte de pressions multiples sur la forêt (climat, maladies, incendies) et d'attentes fortes (économiques, environnementales, sociales), l'observatoire permettra de partager informations et diagnostics. Il sera aussi le lieu où seront identifiés les besoins nouveaux en la matière, besoins qui pourront être traités collectivement, notamment par des modélisations innovantes mobilisant de nouvelles données comme le LiDAR HD.

LA BIODIVERSITÉ ET SES REFUGES À LA LOUPE

©N.Boulain

RENCONTRE AVEC…
Laurent Poncet, directeur du Centre d'expertise et de données sur le patrimoine naturel unité PatriNat MNHN-OFB-CNRS

La biodiversité est sous pression.

Les habitats naturels se dégradent et les espèces disparaissent à une vitesse encore jamais constatée. Elle est pourtant indispensable pour l'Homme, qui ne peut s'extraire de la nature. Pour Laurent Poncet, ce déséquilibre progressif peut amener à des points de rupture dans le fonctionnement des écosystèmes. Il est important de changer notre rapport à la nature, et cela passe par des évolutions importantes de nos pratiques.

La biodiversité est souvent vue sous le seul angle de la diversité des espèces. Une approche qui selon Laurent Poncet en donne une représentation « tronquée ». Car la considérer par la seule « comptabilité » des espèces ne permet pas de prendre en compte la complexité du fonctionnement des écosystèmes. *« La biodiversité est un système à trois dimensions : la diversité des espèces, la diversité génétique et la diversité des écosystèmes. »* Ces niveaux d'organisation sont interdépendants, *« il existe une variabilité des espèces parce qu'il existe une variété génétique »,* précise Laurent Poncet.

BIODIVERSITÉ : UNE NOTION RÉCENTE

Même si la notion de diversité des espèces est fortement éclairée par les travaux de Charles Darwin dès le milieu du XIXe siècle, le terme même de « biodiversité » est une notion assez récente, utilisée pour la première fois dans les années 1980 par le biologiste américain Walter G. Rosen, puis « démocratisée » plus largement en 1992, lors du sommet de la Terre de Rio de Janeiro, qui fut le point de départ de multiples politiques nationales en sa faveur. Ce mot est donc apparu au grand public en même temps que la prise de conscience que la conservation de la nature était une préoccupation majeure pour l'avenir de l'humanité.

DISPARITION DES ESPÈCES : UN POINT DE NON-RETOUR ?

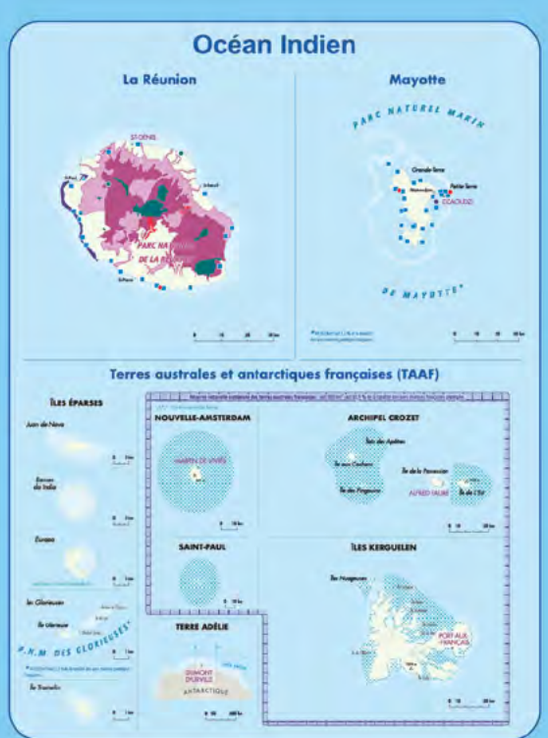
Trente ans plus tard, le constat fait par Laurent Poncet est assez mitigé. *« Les derniers indicateurs, produits en utilisant les données des programmes participatifs Vigie-Nature, montrent que près de 30 % des populations d'oiseaux des milieux agricoles ont disparu. C'est la même tendance chez la chauve-souris. Des études sur les évolutions des insectes dans d'autres pays européens montrent des baisses jusqu'à 70 %. Il est important de rappeler qu'il y a déjà eu dans le passé des évolutions – y compris des crises très importantes – de la biodiversité. Ce qui change, c'est la rapidité, l'étendue spatiale et l'intensité du phénomène qui est plusieurs centaines de fois plus importante. Les systèmes n'ont pas la capacité de s'adapter aussi vite. »*

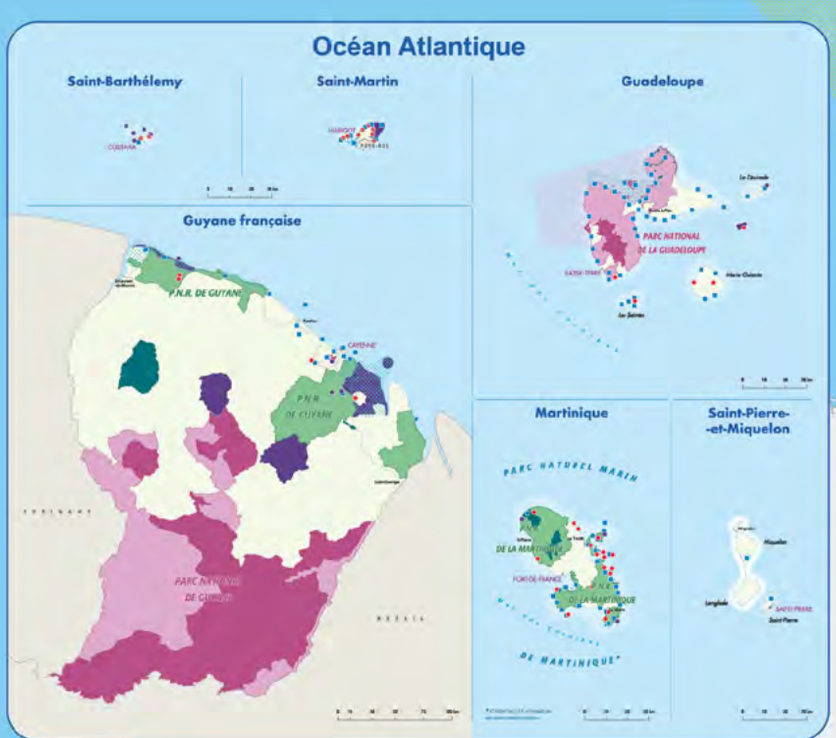
RETOUR À LA RAISON

Les solutions pour retrouver un équilibre existent et sont mises en exergue par les travaux de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) [équivalent du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour la biodiversité]. Il convient d'intervenir pour une baisse « forte » des cinq pressions majeures qui pèsent sur la biodiversité : la destruction des habitats, la surexploitation, le changement climatique, les pollutions et les espèces introduites. *« Les leviers d'action sont assez simples sur le papier, mais plus compliqués à mettre en œuvre dans la société. Ils ont tous un point commun : changer nos pratiques individuelles et collectives. Concrètement, manger moins de viande, utiliser moins d'énergie dans notre quotidien, organiser des systèmes de production « locaux », développer l'agroécologie, stopper l'artificialisation des sols, créer des aires protégées, etc. et ce ne sont que quelques exemples. Le système est complexe et les solutions isolées ne suffisent pas. C'est l'ensemble concerté des réponses qui permet de trouver une solution globale à un phénomène comme la dégradation des écosystèmes. »*

UN DEVOIR DE CHANGEMENT ET DE SENSIBILISATION

Dans ce contexte, pour Laurent Poncet, les suivis scientifiques offrent d'objectiver la situation et de garantir des éléments factuels et neutres pour accompagner les politiques publiques. *« Cela permet d'évaluer les réponses que l'on apporte. Il faut continuer à observer et décrire. Expliquer ces changements, informer ou associer le citoyen dans le cadre des sciences participatives pour permettre une meilleure compréhension de la situation par le plus grand nombre. D'autant plus que la France, avec ses territoires d'outre-mer et sa surface maritime, a une responsabilité particulière sur plus de 10 % de la biodiversité mondiale. »* ●

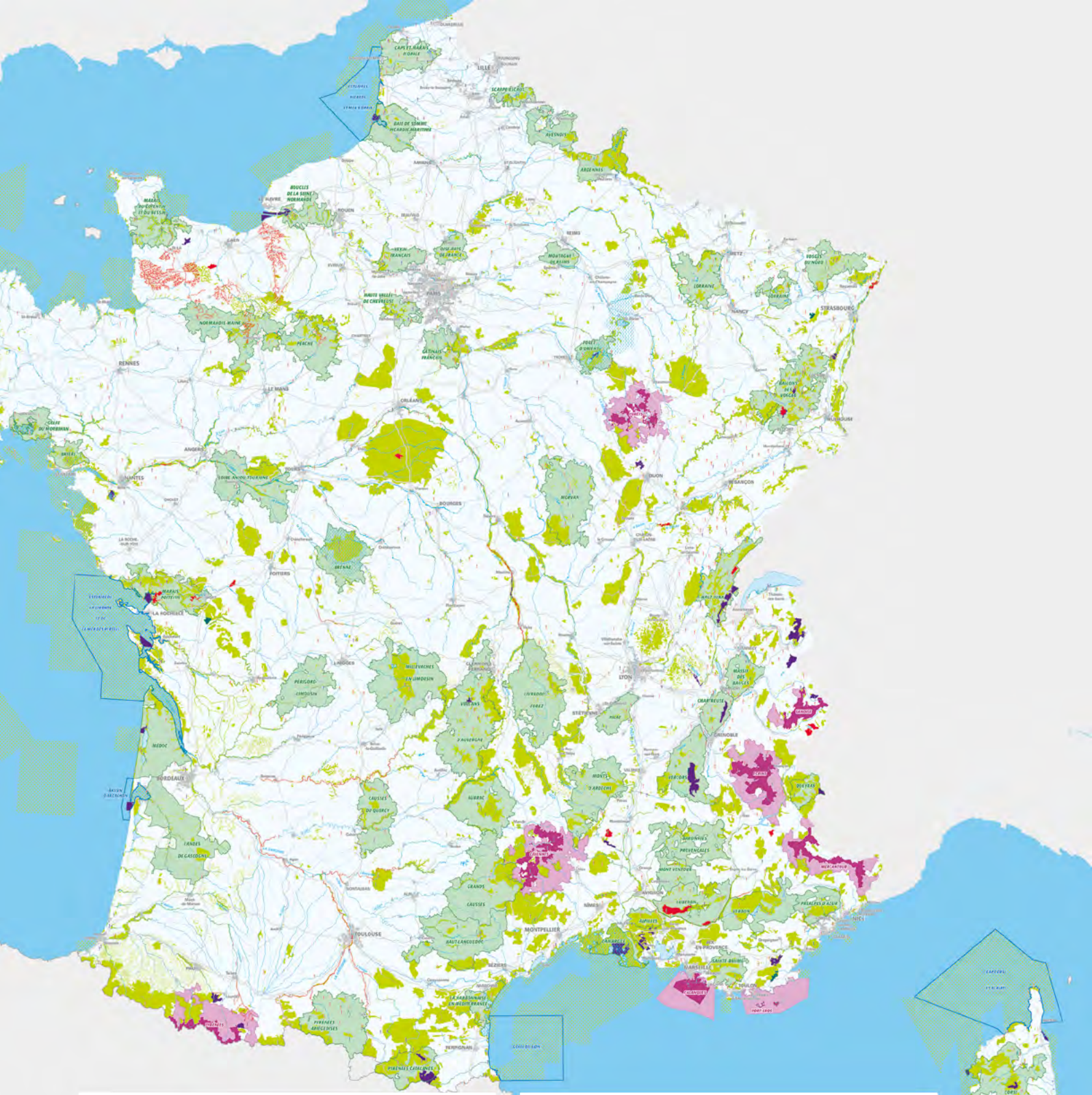




PANORAMA DE LA BIODIVERSITÉ ET DES AIRES PROTÉGÉES

LIEU : FRANCE MÉTROPOLITAINE ET OUTRE-MER
Date : 2020

Conçue en partenariat avec l'Office français de la biodiversité (OFB) et le Museum national d'histoire naturelle (MNHN), la carte « Panorama de la biodiversité et des aires protégées », réalisée sur les fonds cartographiques de l'IGN avec les données de l'Inventaire national du patrimoine naturel (INPN), représente les réserves naturelles et biologiques, les parcs nationaux, régionaux et marins, les sites Natura 2000, Ramsar, etc.
Des fiches illustrées d'espèces représentatives d'un milieu, d'une région ou d'un statut de protection particulier invitent à découvrir les spécificités de l'amanite tue-mouches, le crabe enragé, le poisson-flûte à taches bleues, ou encore la matoutou falaise, une mygale endémique de Martinique.



Aires protégées par voie réglementaire

Arrêtés de protection de biotope et de géotope
Créées par arrêtés préfectoraux pour la conservation de l'habitat d'espèces protégées et du patrimoine paléontologique et géologique

Réserves naturelles
Espaces, terrestres ou marins, créés par décrets ministériels et soumis à un plan de gestion

Réserves biologiques
Espaces créés pour la protection de milieux naturels, principalement forestiers

Réserves nationales de chasse et de faune sauvage
Espaces créés par arrêté ministériel pour la protection d'espèces animales et la réalisation d'études scientifiques et techniques

Parcs nationaux - Zones cœur
Espaces protégés, terrestres ou marins, dont le patrimoine naturel, culturel et paysager est exceptionnel et qui bénéficient d'une protection stricte

Aires protégées de territoire ou contractuelles

Parcs nationaux - Aires d'adhésion et adjacentes
Territoires assurant la continuité écologique des zones cœur et gérés en application d'une charte

Parcs naturels régionaux
Territoires au patrimoine remarquable préservé et valorisé en application d'une charte

Parcs naturels marins
Espaces maritimes visant la connaissance du patrimoine marin, la protection et le développement durable du milieu marin en application d'un plan de gestion

Sites Natura 2000
Espaces naturels ou semi-naturels inscrits dans un réseau de l'Union européenne, ayant une grande valeur patrimoniale

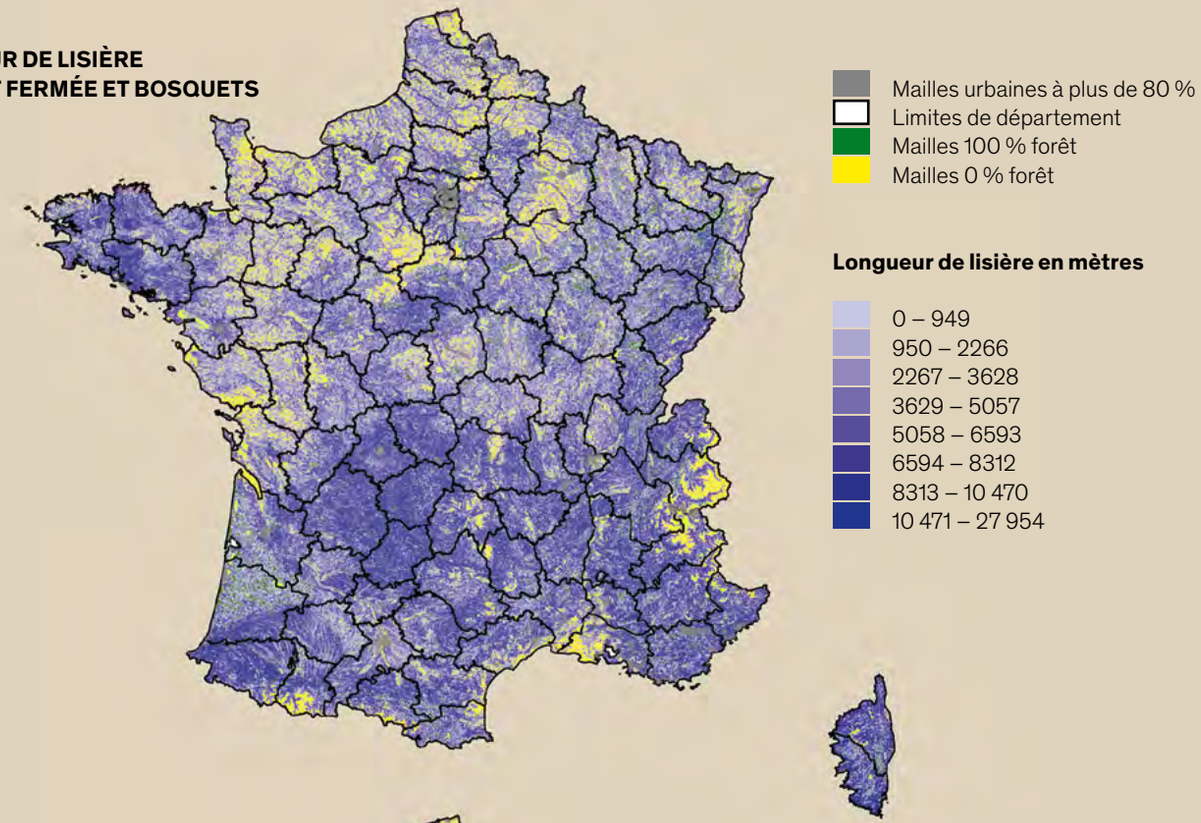
Sites de la convention Ramsar
Zones humides d'importance internationale

Aires protégées par acquisition des terrains

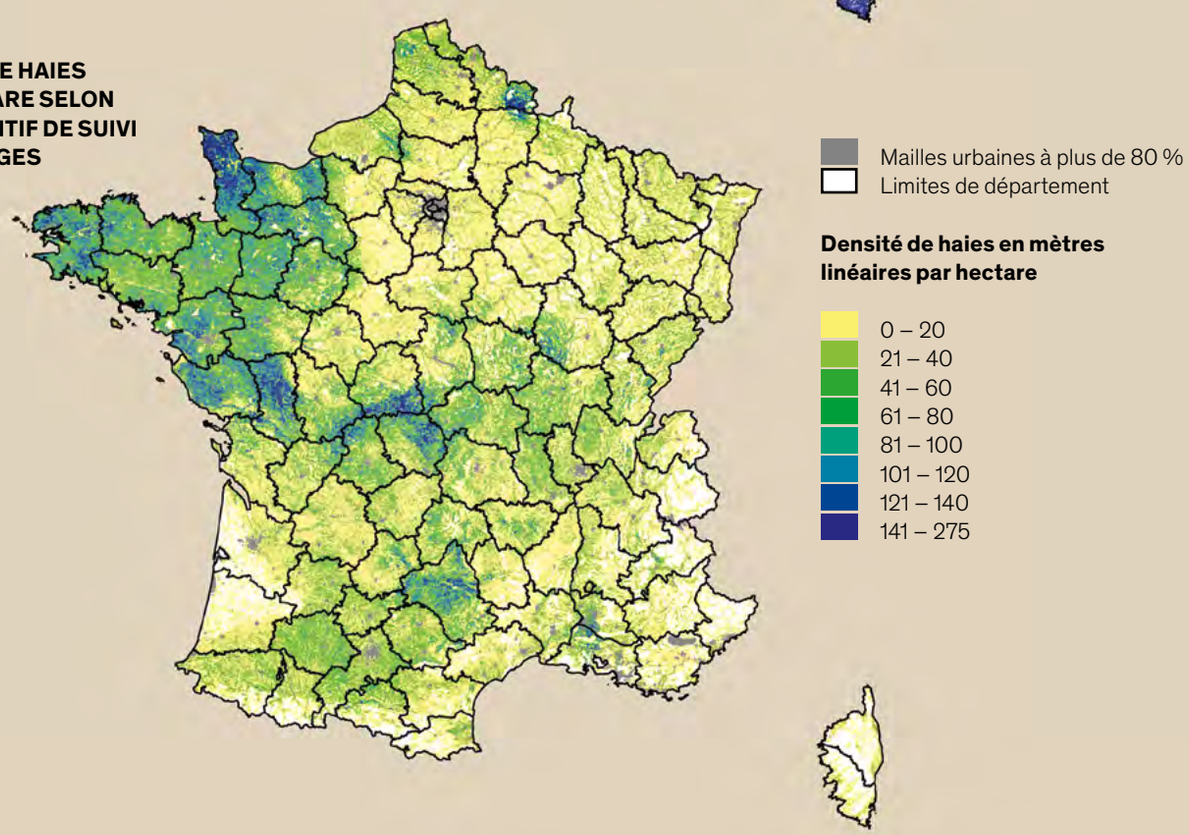
Terrains des conservatoires d'espaces naturels
Espaces acquis, ou gérés de façon pérenne, pour y assurer la protection d'espèces et d'habitats remarquables

Terrains du conservatoire du littoral et des rivages lacustres
Espaces côtiers ou lacustres, acquis pour la préservation de leur intégrité

LONGUEUR DE LISIÈRE DE FORÊT FERMÉE ET BOSQUETS

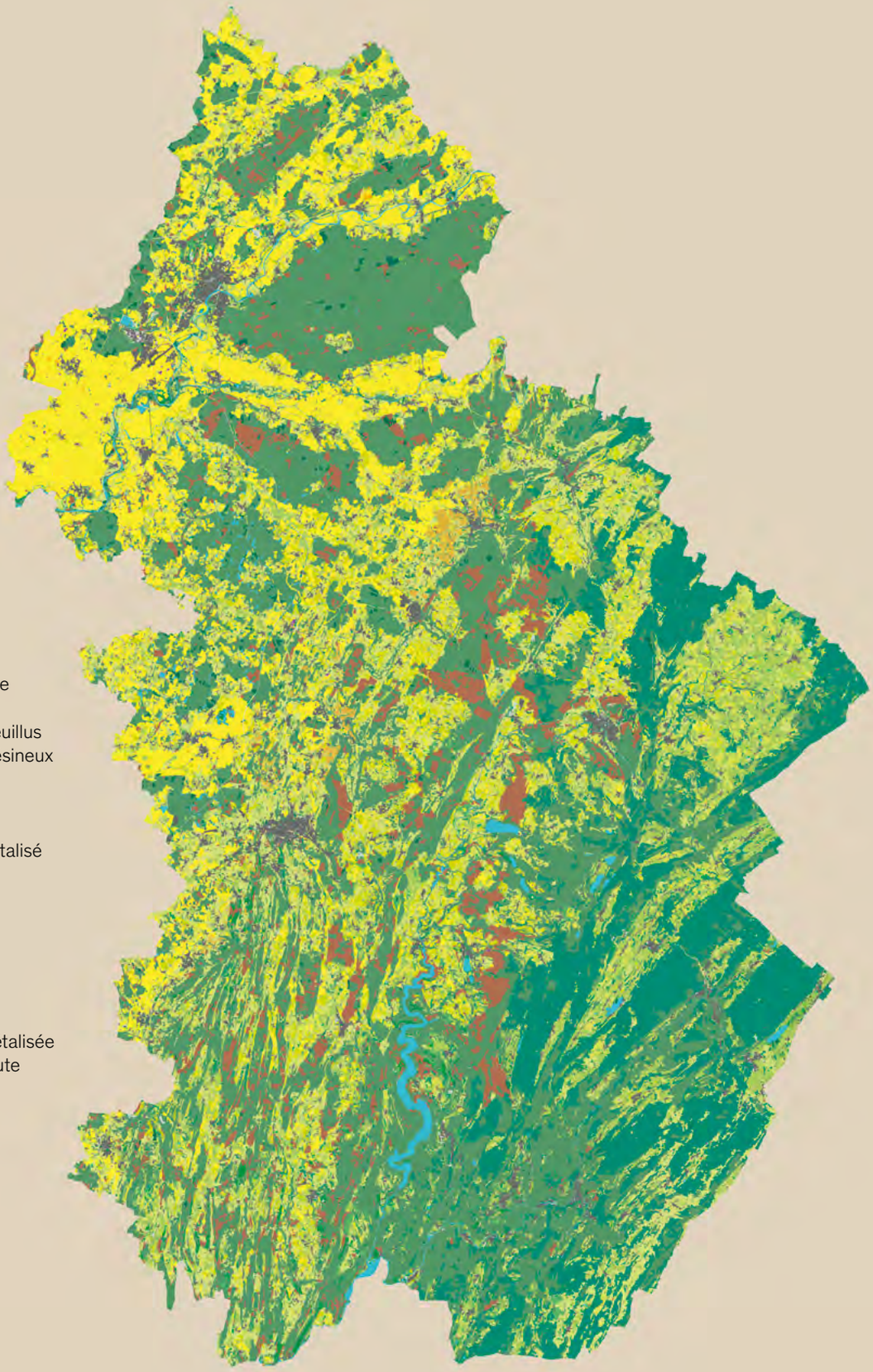


DENSITÉ DE HAIES PAR HECTARE SELON LE DISPOSITIF DE SUIVI DES BOCAGES



CARTES PRODUITES DANS LE CADRE DU DISPOSITIF DE SUIVI DES BOCAGES
Dates : 2005-2015

Depuis 2017, l'OFB et l'IGN associent leurs expertises sur les habitats et la biodiversité pour développer, sur le territoire métropolitain, la description des trames bocagères, des haies, et les caractériser à l'aide d'indicateurs. Chaque carte représente ici les données selon les mailles kilométriques de l'Inventaire national du patrimoine naturel, utilisées pour les rapportages Natura 2000. La longueur de lisière et la densité de haies sont deux paramètres qui peuvent être corrélés à certaines espèces animales liées aux milieux agricoles (oiseaux notamment). Ces informations sur les bocages et les haies aident à la mise en place des politiques publiques dans les domaines de l'agroécologie, l'agroforesterie et la préservation des continuités écologiques (des trames vertes et bleues). La première carte représente les longueurs de lisières de bosquets et de forêts fermées, en mètres linéaires par hectare, par maille à partir des données de la BD Forêt pour les forêts fermées et des données BD TOPO et RPG pour les bosquets. La seconde carte représente les longueurs de haies, en mètres linéaires par hectare, par maille selon le dispositif de suivi des bocages.



Physionomie de végétation

- Autre culture permanente
- Cultures annuelles
- Forêt mature naturelle feuillus
- Forêt mature naturelle résineux
- Forêt pionnière
- Fourré haut dense
- Fourré haut mixte
- Minéral non ou peu végétalisé
- Minéral végétalisé
- Pelouse
- Plantation forestière
- Prairie
- Prairie fauchée
- Prairie pâturée
- Prairie temporaire
- Surface en eau non végétalisée
- Végétation herbacée haute
- Verger
- Vigne

Autres occupations du sol

- Surfaces artificialisées
- Routes et voies ferrées

CARTE PRÉDICTIVE DES PHYSIONOMIES DE VÉGÉTATION PRODUITE DANS LE CADRE DU PROGRAMME CARHAB
Date : 2022

Cartographie décrivant les grands types de végétation susceptibles d'être présents sur des zones déterminées sur le département du Jura. Cette cartographie est produite à partir de la mobilisation de données existantes dans les bases de données IGN, topographiques, forêt et du Registre parcellaire graphique (BD TOPO, BD Forêt V2, RPG) servant de référence à l'instruction des aides de la politique agricole commune.
La cartographie est ensuite complétée par l'utilisation de modèles IA via la mobilisation de données de végétations fournies par le Conservatoire botanique national de Franche-Comté et une série temporelle d'images satellite Sentinel 3A.

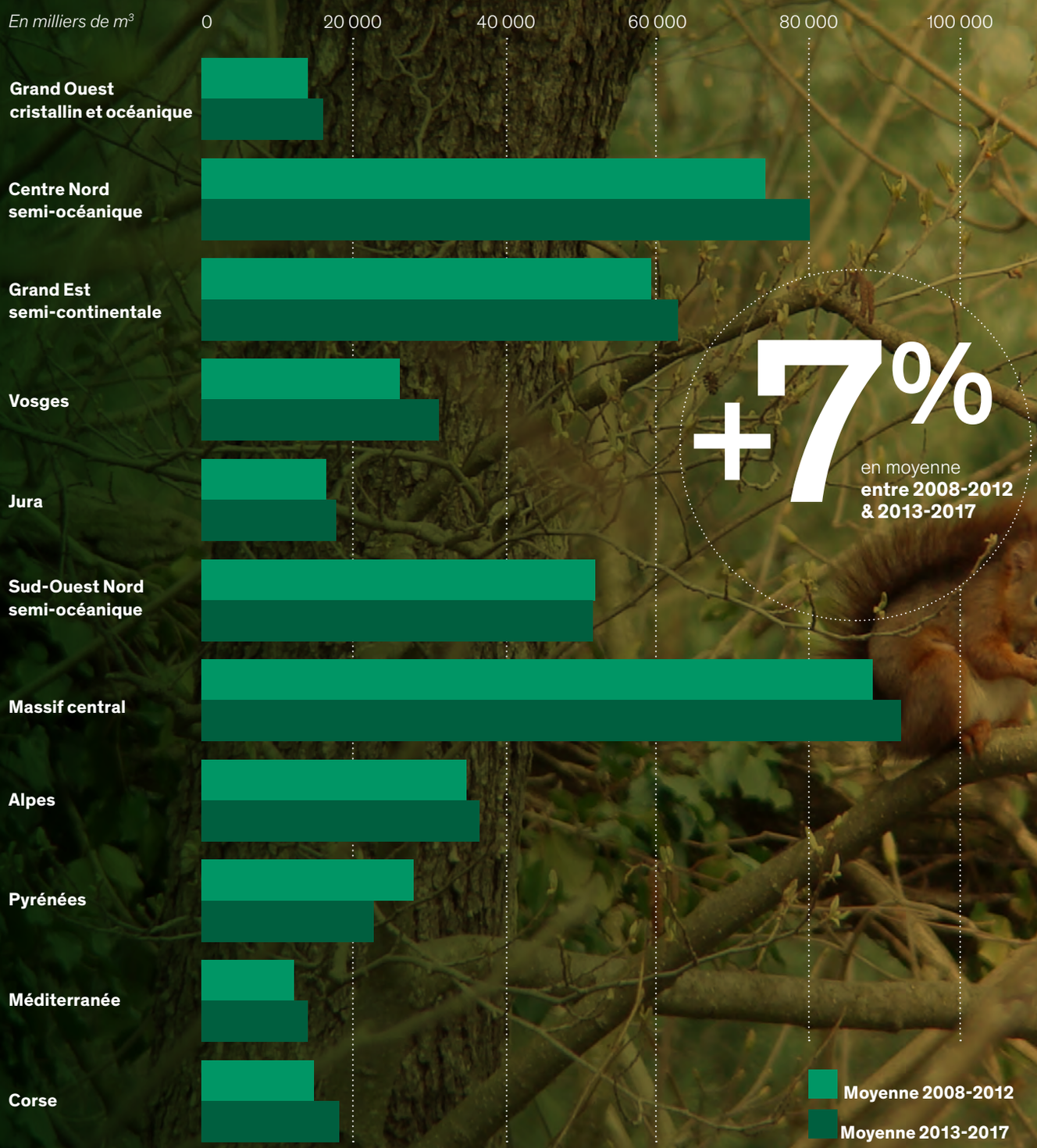
TOTAL DES VOLUMES DE TRÈS GROS BOIS, BOIS MORT DEBOUT ET BOIS MORT AU SOL PAR GRANDE RÉGION ÉCOLOGIQUE

Illustration des indicateurs produits par l'inventaire forestier national de l'IGN pour l'Observatoire national de la biodiversité (ONB) de l'Office français de la biodiversité (OFB). Ces indicateurs sont effectués chaque année. Ce graphique illustre le fait que la quantité de bois favorable à la biodiversité liée aux vieux arbres et bois mort augmente de 7 % entre les deux périodes 2008-2012 et 2013-2017.

Moyenne 2008-2012

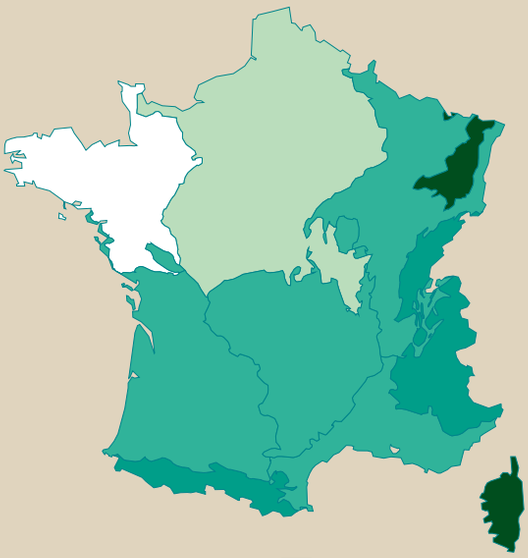
Moyenne 2013-2017

Bois favorables à la biodiversité = bois mort au sol, bois mort debout, très gros arbres vivants ; périmètre = forêts de production y compris peupleraies.



Visuel ONB.
Origine des données : IGN, inventaire national forestier
Traitements : IGN-INRAE-Ecofor, octobre 2021
© OFB, 2021

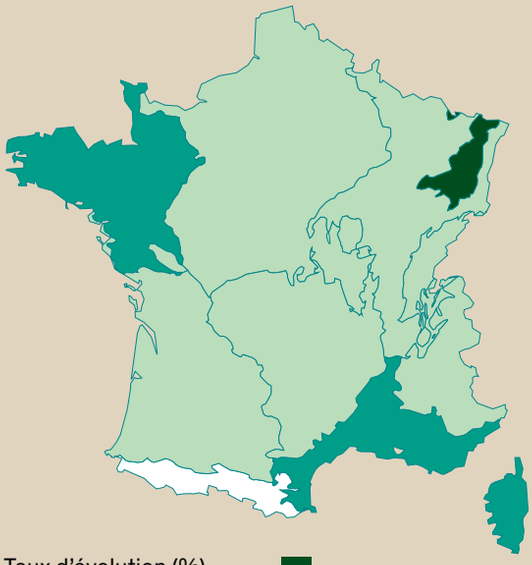
TAUX DE BOISEMENT PAR GRANDE RÉGION ÉCOLOGIQUE



Taux de boisement (%) en 2017

- plus de 60
- de 45 à 60
- de 30 à 45
- de 15 à 30
- moins de 15

TAUX D'ÉVOLUTION DU VOLUME DES BOIS FAVORABLES À LA BIODIVERSITÉ PAR GRANDE RÉGION ÉCOLOGIQUE



Taux d'évolution (%) entre les périodes 2008-2012 et 2013-2017

- plus de 20
- de 10 à 20
- de 0 à 10
- moins de 0

IGN. Inventaire forestier national
Fonds cartographiques : SDES
Réalisation : Antea Group
© SDES, 2021

LOCALISATION DES UNITÉS DE CONSERVATION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES DES ARBRES

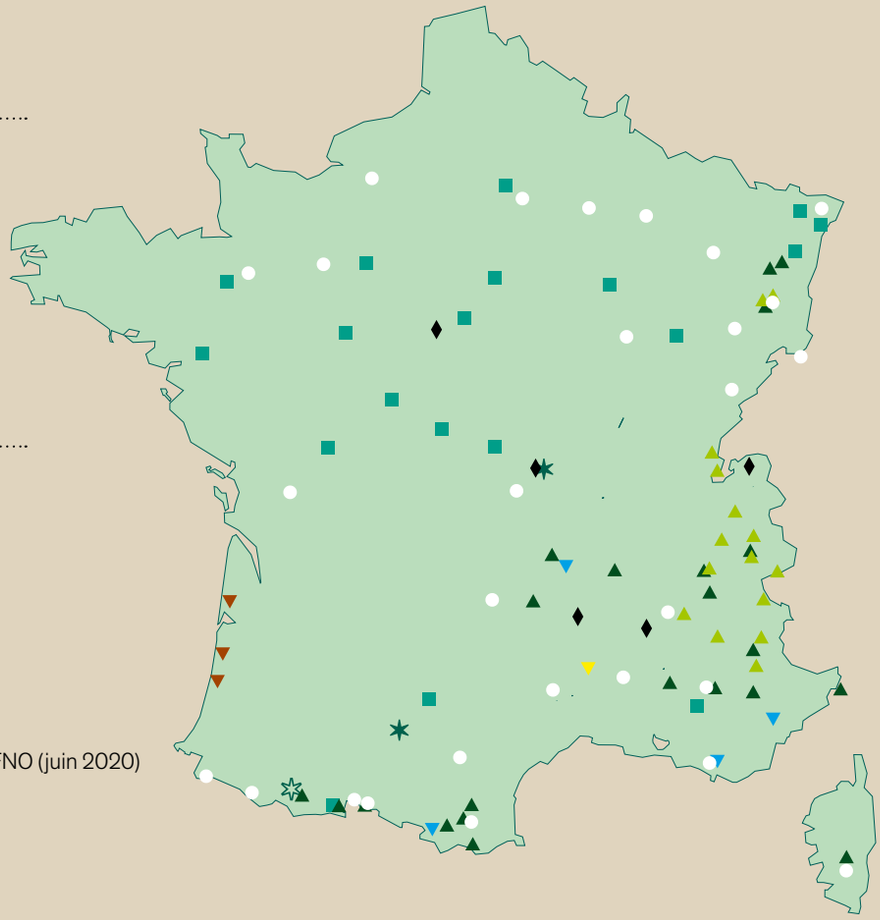
Arbres concernés en 2020

FEUILLUS

- Chêne sessile
- Hêtre
- Peuplier noir
- Orme lisse
- Orme de montagne

RÉSINEUX

- Sapin pectiné
- Épicéa commun
- Pin maritime
- Pin de Salzmann
- Pin sylvestre



Source : IGN, CRGF - INRAE, UR EFNO (juin 2020)
Fonds cartographiques : SDES
Réalisation : Antea Group
© SDES, 2021

Un poste de pilotage de la biodiversité nationale

Soumise aux pressions de l'activité humaine, touchée par les changements climatiques, la biodiversité décline et évolue. Par la cartographie, le recueil de données de terrain et des modèles prédictifs, l'IGN éclaire les politiques publiques sur ce que l'on nomme aujourd'hui « la crise de la biodiversité ».

Observer la biodiversité ou les pressions qui s'exercent sur elle, c'est faire face à une complexité où nombre de phénomènes sont liés. Par ailleurs, observer dans la durée pour comprendre s'avère crucial pour agir de manière éclairée. L'IGN est un acteur important et à vocation nationale. Il rend compte des pressions et de l'état de la biodiversité, notamment grâce à la description de l'occupation du sol, la constitution d'une couche d'information géographique des haies bocagères, l'inventaire permanent des forêts du point de vue de sa production de bois mais aussi de sa biodiversité ou de la cartographie des habitats naturels et semi-naturels.

SE METTRE EN ÉTAT DE MARCHE

Les programmes de l'IGN qui nourrissent cette connaissance impliquent, par conséquent, de multiples expertises croisées de l'institut et de ses partenaires traditionnels comme l'Office français de la biodiversité (OFB), le Muséum national d'histoire naturelle, le ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, pour construire des outils de mesure complémentaires et interopérables. L'ambition est de fournir aux acteurs de la protection, de la préservation et de la restauration des milieux, une information qui soit objective et suffisante pour permettre la prise de décision dans un contexte où les pressions sont fortes et les évolutions de la biodiversité nombreuses et préoccupantes. Beaucoup de projets menés par l'IGN entrent aujourd'hui en phase de production, après des étapes de recherches scientifiques et d'expérimentations poussées, et donnent corps à des outils opérationnels d'aide à la décision.

CARACTÉRISER LES HABITATS NATURELS FORESTIERS

Voulue par le ministère chargé de l'écologie depuis 2012, la description des habitats naturels présents en forêt offre une importante opportunité de connaissance de ces derniers. En effet, croisée avec les autres informations forestières collectées sur le terrain, cette description apporte une caractérisation fine du fonctionnement des forêts par type d'habitat naturel. Arrivé à une phase de maturité, le programme de suivi temporel des habitats forestiers permettra prochainement leur caractérisation sur l'ensemble du territoire métropolitain avec la production de cartes par grands types d'habitats forestiers et une analyse de leur état de conservation. Ainsi, l'État français pourra produire l'évaluation attendue dans le cadre de la directive européenne habitats-faune-flore.

PRÉSERVER LES CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES

Le dispositif de suivi des bocages, fruit d'un partenariat avec l'OFB, a pour objectif de créer une information géographique à l'échelle métropolitaine sur les réseaux de haies, de caractériser les territoires bocagers et de suivre l'évolution quantitative et qualitative des trames bocagères. Les haies et le bocage rendent de nombreux services « écosystémiques ». Parmi ceux-ci, les écosystèmes bocagers sont des réservoirs naturels importants pour la biodiversité, des espaces de préservation des zones humides ou encore des puits de carbone. Ce dispositif a permis, en outre, une première évaluation, menée avec l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe), de la biomasse bocagère dans 31 départements.

Plusieurs politiques publiques cherchent aujourd'hui à préserver les haies ou à en planter de nouvelles. On peut par exemple citer le programme « Plantons des haies ! » du ministère chargé de

l'agriculture qui a pour objectif de parvenir à la plantation de 7000 kilomètres de haies et d'alignements d'arbres intraparcellaires sur la période 2021-2022.

CONNAÎTRE LES HABITATS POUR SUIVRE LEUR ÉVOLUTION

Au-delà des données sur les habitats forestiers, l'IGN contribue également à l'observation de l'ensemble des types d'habitats naturels. Le programme CarHab a été mis en œuvre pour disposer d'un état zéro de la biodiversité végétale en France. Pourquoi ? Car la végétation est un véritable témoin des conditions environnementales et écologiques du milieu. Cet état zéro permettra un suivi des évolutions donnant ainsi accès à une connaissance fine des différents habitats naturels et semi-naturels qui composent les territoires métropolitain et d'outre-mer.
Cette description du territoire naturel résulte du croisement des données des physionomies des végétations (pelouses, fourrés, prairies, forêts, etc.) avec les données relatives au biotope, délimitant des zones de conditions écologiques du milieu homogènes (type de sols, paramètres climatiques, etc.) produites par le partenaire de l'IGN, EVS-ISTHME. Ces données sont effectuées à partir d'une approche prédictive, c'est-à-dire issue de modélisation – on parle de modèle prédictif car il identifie la classe la plus probable exprimée à partir des connaissances acquises via l'apprentissage et des variables prédictives.
Le croisement des données de physionomies et de biotopes permet d'en déduire, grâce à l'expertise des conservatoires botaniques nationaux, la cartographie des habitats naturels potentiellement présents dans des zones écologiquement homogènes.
Lancée de manière opérationnelle en 2020, la cartographie complète de la France à l'échelle 1 : 25 000 sera effective à l'horizon 2025.
Ces résultats fourniront les informations indispensables pour prendre les décisions nécessaires à la préservation des habitats à forts enjeux et de leur biodiversité aux niveaux national et local. Plusieurs usages potentiels sont déjà identifiés : suivi et évaluation de l'état de conservation des habitats naturels d'intérêt communautaire, aide à la décision dans le cadre de politiques publiques liées à la biodiversité et à l'aménagement du territoire : séquence « éviter-réduire-compenser » (ERC), aires protégées, zones à inventorier, etc.
Des réflexions sont en cours sur les modalités de mises à jour de la donnée, qui permettront de suivre les évolutions.
Le programme CarHab 2020-2025 est réalisé en partenariat avec le ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, l'OFB, PatriNat, les conservatoires botaniques nationaux, EVS-ISTHME, le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema), le Centre d'études spatiales de la biosphère (Cesbio). •

→ **Intervenir sur un élément du vivant a nécessairement des impacts sur le reste de l'écosystème, positifs comme négatifs.**

+ L'Observatoire national de la biodiversité

Rendre public pour alerter

Né d'un engagement du Grenelle de l'environnement, l'Observatoire national de la biodiversité (ONB) est un projet multipartenarial porté par l'Office Français de la Biodiversité (OFB), dont l'objectif est de mettre à la disposition de tous des informations précises et documentées sur l'état de la biodiversité en France et son évolution. L'ONB développe des indicateurs sur les grands enjeux relatifs aux milieux, aux espèces, aux politiques menées ou aux pressions qui s'exercent sur la biodiversité. Pour ce faire, l'ONB s'appuie sur des sources de données diversifiées, documentées sur l'état de la biodiversité, sur les pressions qu'elle subit ainsi que sur les actions menées pour sa préservation.

L'IGN participe au collège d'experts sur la thématique de la forêt, en actualisant régulièrement quatre indicateurs :
- le taux de boisement en métropole ;
- le taux de prélèvement de la production forestière ;
- le volume des très gros arbres et des bois morts en forêt ;
- la surface forestière protégée en métropole.

Plusieurs indicateurs supplémentaires devraient compléter ce jeu de donnée, notamment sur l'abondance des populations d'essences forestières ou sur les plantations d'essences.

L'ÉROSION DES CÔTES

RENCONTRE AVEC…
François Sabatier, maître de conférence à Aix-Marseille Université, CEREGE UMR 7330, directeur du département géographie-aménagement-environnement à Aix-Marseille Université et directeur adjoint de l'institut Océan

L'érosion des côtes est un phénomène ancien mesuré depuis plusieurs décennies.

Cependant, les chercheurs anticipent une accélération qui posera des problèmes grandissants en termes d'occupation des bords de mer. Pour François Sabatier, il s'agit d'un enjeu de taille dans un pays touristique comme la France.

L'observation du trait de côte, cette ligne qui sépare le milieu continental du milieu marin, permet de surveiller l'érosion du littoral : *« C'est un concept plus qu'une réalité puisque c'est une limite mouvante,* note François Sabatier. *De manière synthétique, dans notre communauté scientifique, nous utilisons deux indicateurs : le jet de rive ou ressac en mer Méditerranée et le pied de dune sur la côte atlantique, la Manche et la mer du Nord puisque la marée fait varier le niveau de la mer. »*

LE TRAIT DE CÔTE, INDICATEUR D'ÉROSION

Ce qui caractérise le trait de côte, c'est sa variabilité temporelle : il évolue au fil des saisons, sous l'influence des événements météorologiques ponctuels, comme les tempêtes, et se modifie sur le long terme sous l'effet du vent, des vagues et des courants qui déplacent le sable et les sédiments vers le large ou plus loin le long du rivage. *« Nous suivons son évolution depuis cent cinquante ans et le constat est le même quel que soit l'indicateur utilisé : les variations sont souvent de plus en plus importantes, avec des vitesses de recul de l'ordre de trois mètres par an par endroits… et pouvant aller jusqu'à huit ou dix mètres dans certains cas comme en Camargue. Aucune région côtière française n'est épargnée. »*

UNE TENDANCE ÉROSIVE À LA HAUSSE

Jusqu'à présent, cette érosion n'était pas directement et essentiellement liée à la montée des eaux : *« Nous sommes au début de ce phénomène, qui va inévitablement amplifier la tendance, mais nous ne savons pas encore dans quelle proportion... Nous constatons déjà que nous avons bâti trop près du littoral, nous pouvons donc anticiper un nombre croissant d'unités urbaines menacées. »* En Méditerranée, il faut dire que le trait de côte reculait déjà au XXe siècle alors que l'élévation du niveau de la mer était de un à deux millimètres par an. Un chiffre passé à trois millimètres aujourd'hui…

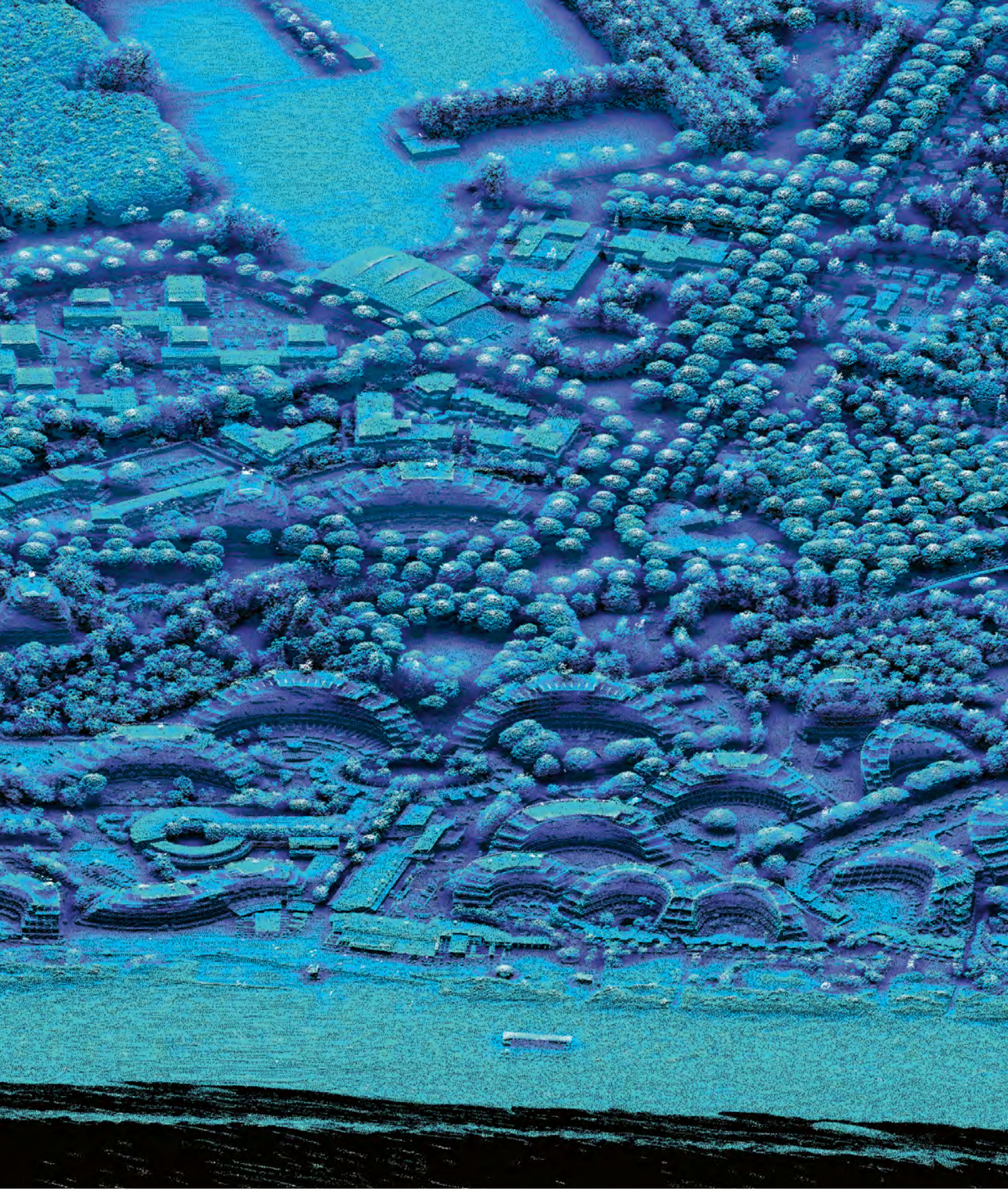
LA NÉCESSITÉ D'ADAPTER NOS PRATIQUES D'AMÉNAGEMENT

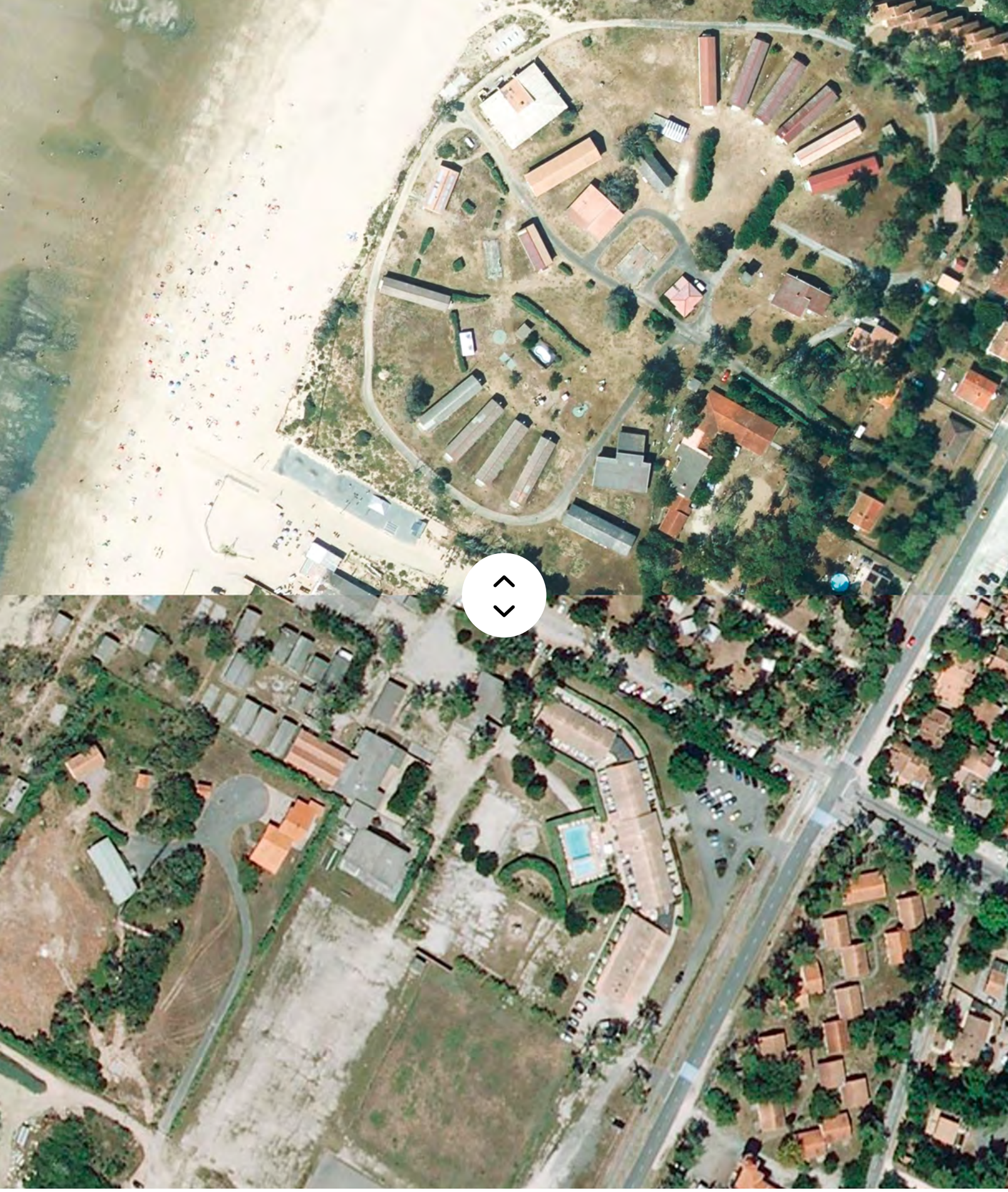
« L'économie du tourisme estival a produit des implantations très près des côtes, poursuit François Sabatier. *Nous devons changer de paradigme : les plages seront de plus en plus étroites et les submersions marines de plus en plus fréquentes… »* En Hollande, par exemple, où la réponse est longtemps passée par la construction de digues, de nouvelles solutions basées sur la nature sont en cours de définition. Ou comment faire corps avec la nature plutôt que de chercher à la contrôler et à s'y opposer : *« Nous n'avons d'autres choix que de modifier nos pratiques de fréquentation et d'urbanisation des littoraux, c'est l'un des grands enjeux d'aménagement du territoire. Cela passe par l'évacuation progressive des zones régulièrement envahies par la mer, d'une vingtaine à quelques centaines de mètres en fonction des endroits. »* •

« Nous constatons déjà que nous avons bâti trop près du littoral (…) »

UNE REPRÉSENTATION 3D POUR AIDER À LA DÉCISION
LIEU : LA GRANDE-MOTTE
Date : 2022

L'utilisation du LiDAR HD permet de modéliser et de visualiser le relief des côtes, les stocks de sable, de terre ou de roches pour les côtes basses et la physionomie des falaises. La précision des données LiDAR HD acquises par l'IGN (inférieures à dix centimètres en altimétrie et à cinquante centimètres en planimétrie) en fait une ressource extrêmement fiable pour alimenter la réflexion, aussi bien scientifique que politique, sur la gestion côtière.





SENSIBILISER GRÂCE AUX COMPARAISONS DU PORTAIL PUBLIC « REMONTER LE TEMPS »
LIEU : SOULAC-SUR-MER
Dates : Périodes 2006-2010 et 2021

Le portail Remonter le temps de l'IGN permet d'observer les évolutions du territoire français. Cartes de Cassini (XVIIIe siècle), cartes de l'état-major (milieu du XIXe siècle), SCAN Historique® (1950), plans IGN actuels, mais aussi photos aériennes du milieu du XXe siècle, du début et de la fin des années 2000 ainsi que des images actuelles sont autant de points de comparaison possibles. Le choix du mode de juxtaposition (vertical, horizontal, double affichage, etc.), de la taille et de l'échelle d'impression sont à la main de l'utilisateur pour comparer de la manière qu'il juge la plus pertinente.

Après

Avant

LIEU : ANSE DES SALINES – MARTINIQUE
Dates : 1951-2017

○ **Avant**

□ **Après**

ÉVOLUTION DU LITTORAL ENTRE L'ÎLE D'OLÉRON ET LE CONTINENT
LIEU : PRESQU'ÎLE D'OLÉRON
Date : Millésime de l'ortho-photo 2018

Pour suivre l'évolution du trait de côte, il faut comparer des cartographies à différentes époques. Ainsi, la représentation des données de deux décennies différentes, coproduites par l'IGN, l'Histollitt® et la Limite terre-mer, met en évidence les tendances pendant cette période sur une zone donnée : érosion, stabilité ou accrétion. Cela permet également de visualiser l'amélioration continue de la précision des données produites, avec un détail plus fin pour la Limite terre-mer, nécessaire à une meilleure compréhension des phénomènes.

Limite terre-mer
France (2010-2020)

Trait de côte Histolitt
(2003-2006)

17 668 KM

C'EST LA LONGUEUR DE CÔTE EN FRANCE MÉTROPOLITAINE

11 941 KM

C'EST LA LONGUEUR DE CÔTE NATURELLE EN FRANCE

5 727 KM

C'EST LA LONGUEUR DE CÔTE ARTIFICIELLE DE LA FRANCE MÉTROPOLITAINE

2 199 KM

C'EST LA LONGUEUR DE CÔTE NATURELLE SABLEUSE

1 042 KM

DE CÔTE NATURELLE EN GRAVIERS, GALETS, CAILLOUX

Source : IGN

Anticiper le recul des littoraux pour soutenir la décision publique

Comment s'adapter à un phénomène que l'on ne peut pas éviter ? L'érosion des côtes fait partie des grands sujets d'étude de l'IGN, qui observe et détecte les changements via des outils de surveillance de plus en plus pointus. Objectif : fournir des données d'appui aux politiques publiques dans le champ de l'aménagement du territoire et de la préservation des littoraux.

Accentuée par la montée des eaux qui fait mécaniquement reculer le trait de côte, l'érosion du littoral fait l'objet d'une attention croissante afin d'en anticiper les évolutions et les impacts concrets. Donnée de référence créée au début des années 2000, Histolitt a laissé place en 2021 à un nouveau référentiel : la Limite terre-mer, produite par l'IGN et le Service hydrographique et océanographique de la Marine (Shom) en partenariat avec l'Office français de la biodiversité (OFB) et la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (DGALN) du ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires. Avec une précision de l'ordre de cinq mètres, la Limite terre-mer se définit par la limite haute du rivage, c'est-à-dire la hauteur du niveau de la mer lors des grandes marées de coefficient 120, dans des conditions météorologiques normales.

LA LIMITE TERRE-MER, UN CALCUL PLUS PRÉCIS DES ASPÉRITÉS DU RIVAGE

Grâce à un détourage rigoureux jusqu'au fond des baies, des estuaires et des lagunes, la Limite terre-mer 2021 fixe à 17 668 kilomètres la longueur totale des côtes métropolitaines, soit quelque 3000 kilomètres de plus que le dernier relevé Histolitt. Attention aux erreurs d'interprétation : cette hausse n'est pas corrélée à une progression du littoral ! Elle résulte d'une meilleure prise en compte des détails du paysage. D'ailleurs, l'érosion d'une plage initialement droite vers une forme en arc de cercle ajouterait de la distance, alors qu'il s'agit bien d'un recul du trait de côte… Cette limite ne peut donc pas être comparée aux précédents relevés et le nombre de kilomètres ne peut servir d'indicateur par lui-même. C'est la tendance géométrique entre deux relevés qui fournira des indications sur la vulnérabilité de tel ou tel rivage.

UNE RÉFÉRENCE POUR LA PROTECTION DU BORD DE MER

Élément de référence pour la fixation d'autres limites, la Limite terre-mer doit permettre de disposer d'un repère afin de fixer les contours administratifs pour, par exemple, la prise d'arrêtés, la matérialisation du domaine public maritime ou la délimitation des aires marines protégées. Elle peut également servir aux travaux d'identification des espaces fragilisés et des zones à risque dans le cadre de la politique de gestion du littoral. Réalisé entre 2019 et 2021 en France métropolitaine, le projet pourrait être étendu aux départements ultramarins, et de nouvelles campagnes de levés pourraient être déployées à des fins de comparaison entre deux périodes.

L'IGN, MEMBRE DU RÉSEAU NATIONAL DES OBSERVATOIRES DU TRAIT DE CÔTE

La gestion des littoraux, dont la dégradation entraîne des conséquences de plus en plus visibles sur les activités humaines, mobilise un nombre croissant d'intervenants aux niveaux national et local. En 2012, dans le cadre de la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, un réseau national des observatoires du trait de côte a été mis en place pour mieux anticiper les évolutions du littoral et faciliter l'adaptation des territoires. Animée par la DGALN, cette communauté rassemble les observatoires locaux et des organismes de l'État, dont l'IGN fait partie aux côtés de l'OFB, du Shom ou de l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer). L'indicateur national de l'érosion côtière a été créé dans ce cadre sur la base des relevés réalisés par l'IGN. •

Les autres outils d'observation du littoral

Si la Limite terre-mer constitue la donnée « socle » permettant d'approcher finement la limite entre la terre et la mer, d'autres techniques apportent différents éléments d'analyse pour interpréter au mieux l'évolution du trait de côte :

- **L'orthophotographie littorale :** acquisition de photos aériennes à marée basse par beau temps lors des très grandes marées. C'est un outil très dépendant des conditions météorologiques qui fournit des informations sur le sol recouvert à marée haute. Il est utile à plusieurs partenaires comme le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) qui produit l'indicateur national de l'érosion côtière.
- **Litto3D® :** modèle numérique de terrain terre-mer produit par l'IGN et le Shom. L'IGN réalise le relevé terrestre (de la mer jusqu'à une altimétrie minimale de dix mètres et au moins deux kilomètres à l'intérieur des terres) et le Shom pilote la partie maritime (au moins jusqu'à une profondeur de dix mètres sous la mer). Litto3D® fusionne les données pour fournir une continuité entre la partie immergée et émergée.

La gestion des littoraux, dont la dégradation entraîne des conséquences de plus en plus visibles sur les activités humaines, mobilise un nombre croissant d'intervenants aux niveaux national et local.

Vers un Observatoire national du littoral

Afin d'améliorer la connaissance du littoral et de donner aux décideurs nationaux et locaux les outils pour orienter les choix d'aménagement, l'IGN travaille en collaboration avec d'autres institutions pour allier les compétences de chacun.

La loi climat et résilience a notamment donné plus de compétences aux collectivités sur l'information publique concernant la thématique de l'érosion côtière.

Pour les accompagner dans ce travail, et pour mieux appréhender une problématique qui s'intensifie, les services de l'État contribuent à l'amélioration continue du suivi de l'évolution côtière.

Ainsi, l'IGN et le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) ont souhaité poursuivre leur collaboration pour allier leurs expertises en production et analyse de données. Cela passe notamment par des travaux de convergence sur l'analyse d'images satellites pour suivre en continu l'évolution du littoral. Le recours à ces images permet en effet d'avoir des données plus régulières, d'une qualité suffisante pour pouvoir mener des analyses d'érosion.

Cette volonté commune aux deux établissements doit permettre de faire évoluer les pratiques de suivi pour apporter des éléments de connaissance actualisés régulièrement et des outils de prise de décision notamment en matière de protection et d'aménagement du littoral, de protection environnemental et de gestion des risques.

LES ÉPISODES NATURELS EXTRÊMES

RENCONTRE AVEC…
Marie Carrega, adjointe au secrétaire général de l'ONERC, Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

Le territoire français est exposé à de multiples risques naturels : hausse des températures moyennes et des extrêmes, changement du régime de précipitation avec des pluies plus abondantes au nord en hiver et de fortes sécheresses au sud en été. Pour Marie Carrega, mieux vaut s'y préparer.

Ces événements extrêmes, plus fréquents et plus intenses, vont bouleverser durablement les activités humaines. Résultat : le risque incendie remonte vers le nord, la fonte des glaciers perturbe le cycle de l'eau, les pluies diluviennes provoquent des inondations… sans compter la montée du niveau de la mer qui accélère l'érosion des côtes et le risque de submersion marine. Le tableau n'est pas réjouissant, c'est pourtant celui qui se dessine : les répercussions du dérèglement climatique s'invitent dans notre quotidien.

AGIR SUR LA CAUSE

Que faire ? *« Nous pouvons agir sur la cause pour limiter le réchauffement en diminuant les émissions de gaz à effet de serre,* explique Marie Carrega. *Malheureusement, même si nous arrivons à stabiliser les températures, certaines modifications vont continuer : l'excès de chaleur dans le système climatique est principalement capté par les océans. La hausse du niveau des mers est un phénomène lent et irréversible qui durera plusieurs centaines d'années… »* Nous pouvons également agir sur l'aménagement du territoire : *« Les épisodes extrêmes ont des conséquences plus graves sur un sol urbain imperméabilisé que sur un sol perméable naturel qui permet une infiltration à la parcelle. »*

ADAPTER NOS MODES DE VIE

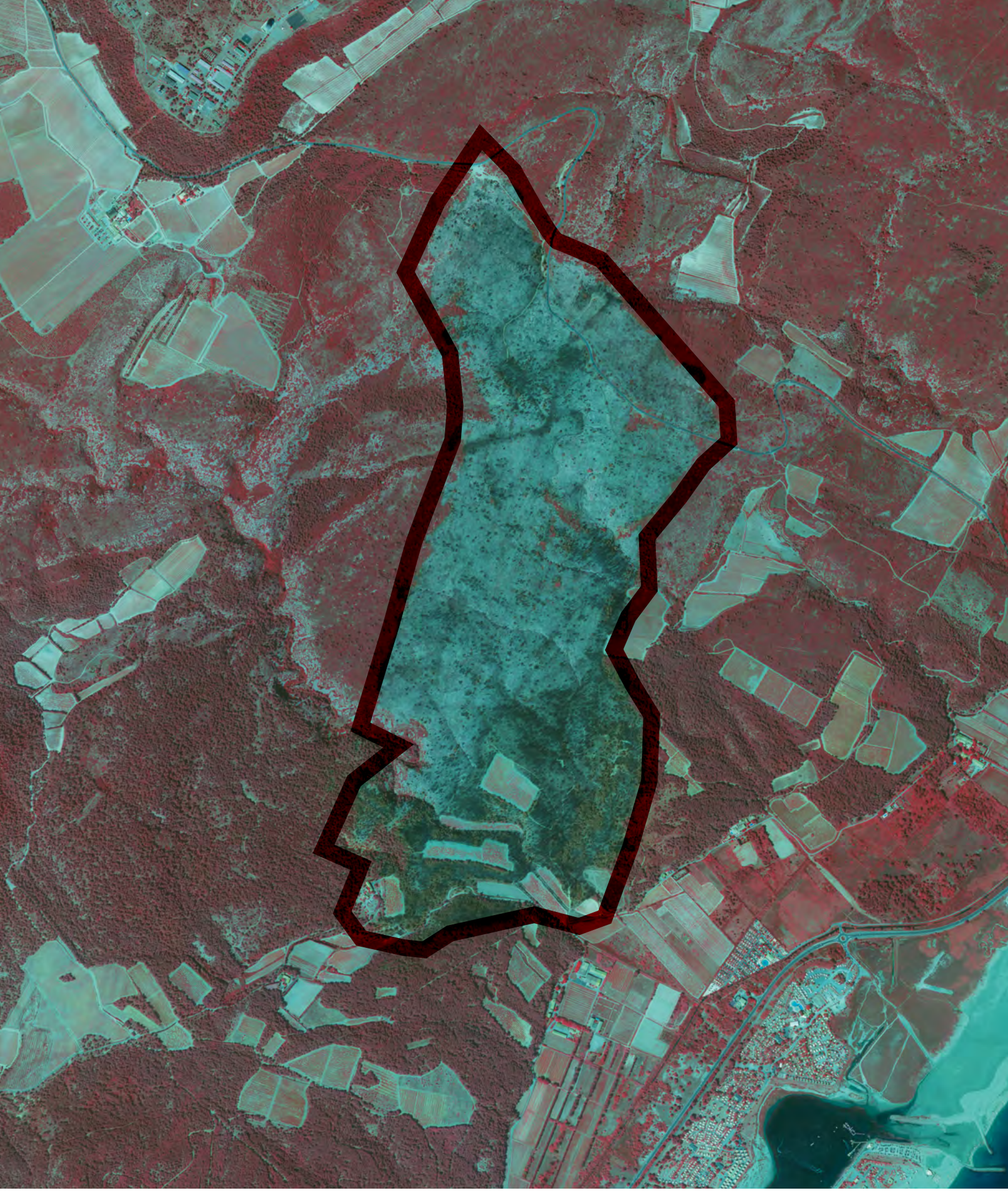
Changer nos habitudes donc. Désurbaniser parfois, mais surtout revoir nos modes de vie dans un environnement plus chaud et plus fréquemment le théâtre d'événements extrêmes. *« Le tourisme sera particulièrement touché, avec une réorientation des flux touristiques vers des zones estivales moins caniculaires, comme la Bretagne et la Normandie, et un manque d'enneigement qui posera un problème de pérennité pour les stations de sport d'hiver. »* En fin de compte, tous les secteurs économiques devront s'adapter, au premier rang desquels l'agriculture, gagnée de plein fouet par la raréfaction des ressources en eau et la hausse des températures.

MIEUX COMPRENDRE ET SE PRÉPARER

L'amélioration de la connaissance est un levier essentiel pour mieux anticiper les phénomènes extrêmes : *« Nous devons continuer les recherches pour améliorer la précision de la prévision, en termes d'intensité et de ciblage géographique,* insiste Marie Carrega. *Ce qui nous permettra d'agir sur notre niveau de préparation et de développer une culture du risque à hauteur des enjeux. »* Cela passe aussi par un effort de sensibilisation du grand public à l'augmentation des dangers météorologiques. Pour acquérir ensemble les bons réflexes et être capables de réagir vite : *« Le niveau de risque est grandissant, notre vigilance doit l'être aussi ! »* ●

ÉVALUER LES DÉGÂTS AVEC L'IMAGERIE AÉRIENNE
LIEU : NARBONNE
Dates : 2018-2021

Lors d'incendies de forêts, les photographies aériennes et les photos infrarouge couleur réalisées par l'IGN permettent d'évaluer les dégâts et les surfaces détruites par les feux. En 2021, plus de 170 hectares de forêts et de landes de la région de Narbonne ont brûlé.



← **Avant**

→ **Après**

IMAGERIE AÉRIENNE D'URGENCE
LIEU : NEMOURS
Date : 2016

En cas de crues, l'IGN photographie en urgence les zones inondées et livre rapidement les données traitées au Service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision des inondations (Schapi). Ces images permettent de comparer les modèles de prévision et les surfaces réellement inondées. Les données acquises pendant l'événement analysent également l'étendue des dégâts.

↑ **Avant**

↓ **Après**

IMAGERIE SATELLITAIRE D'URGENCE
LIEU : SAINT-MARTIN
Date : 2017

Lors de l'ouragan Irma de 2017, le Centre national d'études spatiales (CNES) a activé les satellites Pléiades pour acquérir au plus tôt des images. L'IGN leur a appliqué un traitement orthophotographique de manière à les rendre superposables aux vues aériennes de l'institut et les a transmises aux gestionnaires publics de crise. Dans les jours qui ont suivi la catastrophe, la rapidité de mise à disposition des prises de vues a également facilité l'aide immédiate aux victimes.
Les images ont été intégrées au Géoportail avec des fonctions de comparaison avant/après.

↑ **Avant**

↓ **Après**

IMAGERIE AÉRIENNE D'URGENCE
LIEU : ROQUEBILLIÈRE
Dates : 5 juillet 2017-5 octobre 2020

Après le passage de la tempête Alex qui a durement frappé en octobre 2020 le département des Alpes-Maritimes, l'IGN a effectué en urgence plus de 2000 photographies aériennes des zones sinistrées (précision de 5 à 15 centimètres) ainsi que des données LiDAR. Réalisées à la demande de la Direction départementale des territoires et de la mer (DDTM 06) et de l'Office national des forêts (ONF), ces images aériennes constituent une aide précieuse pour l'évaluation des dégâts, puis pour la reconstruction.

← **Avant**

→ **Après**

Mobilisation générale pour la prévention des risques

Inondations, tempêtes, tremblements de terre, feux de forêts… avec une augmentation des risques de catastrophe naturelle, le rôle de vigie de l'IGN va croissant : l'institut met ses compétences, ses moyens d'observation et sa réactivité au service de la surveillance du territoire. En France, le risque d'inondation – première menace naturelle par l'importance des dommages provoqués – fait l'objet d'un suivi 24 h/24.

Janvier 2021, les pluies incessantes qui s'abattent sur le sud-ouest de la France font sortir plusieurs cours d'eau de leur lit : la Garonne, la Midouze, la Dordogne, la Vézère, le Gers… Une crue historique et atypique qui échappe aux prédictions et entraîne des dégâts considérables. Pour comprendre ce qui se joue, le Service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision des inondations (Schapi) alerte l'IGN. Plus précisément : le Service de l'imagerie et de l'aéronautique (SIA), doté d'une flotte de quatre avions photographes. Le SIA travaille avec le Schapi depuis 2012 et réalise des photos aériennes au moment des pics de crue. Avec deux engagements : survoler la zone dans un délai maximum de douze heures après avoir été alerté et fournir les orthophotographies (documents cartographiques réalisés à partir des photos) dans les vingt-quatre heures suivant la prise de vue.

PARTICIPER À LA SURVEILLANCE ET À LA PRÉVENTION

Ces missions d'urgence permettent de cartographier l'emprise de la crue et d'apporter la « vérité terrain » pour étalonner le modèle de prédiction du Schapi : le fameux système de vigilance en temps réel « Vigicrues », qui surveille une centaine de cours d'eau à risque. Son objectif : « prévoir la crue pour anticiper la crise ». Cette carte des zones d'inondation potentielle résulte de modélisations qui décrivent les inondations et leurs conséquences et se basent sur les images de crues précédentes acquises par l'IGN. Début 2021, l'analyse des zones inondées dans le Sud-Ouest a permis aux pouvoirs publics de mieux comprendre les circonstances des débordements et de mieux dimensionner les ouvrages de protection pouvant empêcher leur récurrence.

CONTRIBUER À LA GESTION DE CRISE ET À LA RECONSTRUCTION

Les prises de vues de l'IGN sont également utiles pour dresser un état des lieux, organiser les secours et identifier les besoins les plus urgents. En 2020, à la suite des ravages de la tempête Alex, l'IGN a fourni 2000 photographies haute résolution de la vallée de la Vésubie et de la Roya, trois jours après la catastrophe, à la demande de la Direction départementale des territoires et de la mer des Alpes-Maritimes (DDTM 06). Dans un premier temps, ces images ont permis d'identifier les réseaux routiers praticables et d'adapter les capacités d'intervention de première urgence pour accéder aux zones sinistrées. Elles ont ensuite été utilisées pour évaluer précisément les dégâts, prioriser les actions en fonction des dommages occasionnés et organiser la reconstruction. De la même manière, après le passage de l'ouragan Irma en 2017 aux Antilles, la rapidité de mise à disposition des images capturées à Saint-Martin et à Saint-Barthélemy a facilité la mise en place d'une aide d'urgence aux victimes, dont plusieurs milliers de sans-abri pris en charge par la Croix-Rouge dans les heures qui ont suivi.

IDENTIFIER LES OUTILS LES PLUS ADAPTÉS EN FONCTION DES BESOINS

D'autres techniques sont également employées pour fournir des outils d'aide à la décision en situation d'urgence. Par exemple, les relevés LiDAR. Ils fournissent des données altimétriques de grande précision générant une véritable maquette 3D des territoires, qui va prendre désormais une ampleur nationale avec le projet LiDAR HD. Après deux campagnes de relevés LiDAR réalisées en partenariat avec la Direction générale

En 2020, à la suite des ravages de la tempête Alex, l'IGN a fourni 2000 photographies haute résolution de la vallée de la Vésubie et de la Roya, trois jours après la catastrophe (...)

de la prévention des risques (DGPR) entre 2011 et 2019, un nouveau projet a été initié à la fin 2019 pour contribuer notamment à la prévention des catastrophes naturelles à l'échelle de la France. L'arc méditerranéen, première phase de ce projet de par son degré d'exposition aux événements extrêmes, sera couvert en 2022. Ces données sont particulièrement utiles aux Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (Dreal) qui actualisent les informations liées aux inondations sur leur territoire, comme les directives inondations, les plans de prévention des risques ou la cartographie des zones inondables.

DÉTECTER LES SIGNAUX FAIBLES

Autre outil d'observation : les prises de vues par satellite. Si elles s'avèrent moins adaptées aux crues par leur manque de réactivité, les images satellitaires sont en revanche utiles à la suite d'incendies de forêts pour cartographier les zones touchées et la manière dont le feu s'est propagé. Le cas des incendies exceptionnels de juillet 2022 dans le massif landais illustre bien les nouvelles approches plus réactives que l'IGN veut privilégier. Le feu n'était pas totalement éteint alors que, grâce aux données de son inventaire forestier national et à des modèles d'estimation de volume de bois développés avec ses partenaires, il a été possible à l'IGN de fournir aux ministères et à la filière de premières estimations des dégâts. L'institut a également recours aux capteurs des stations GNSS permanentes (Global Navigation Satellite System) qui détectent les anomalies à la surface de la Terre. Ce fut le cas à Mayotte en 2018 : le réseau géodésique a permis de repérer des mouvements anormaux et d'identifier l'origine des déformations qui ne semblaient pas s'apparenter à un tremblement de terre. Et pour cause, les scientifiques ont conclu à la naissance d'un nouveau volcan sous-marin… par 3500 mètres de fond à 50 kilomètres des côtes !

ACCÉLÉRER LA PHASE D'ANALYSE

Pour identifier rapidement les écarts entre deux périodes de relevés, l'IGN explore le potentiel des technologies d'intelligence artificielle. Objectif : faciliter le travail d'analyse des experts en utilisant la puissance des nouvelles technologies pour détecter les zones où les paysages évoluent rapidement ou anormalement et méritent une attention particulière. Une autre manière de gagner encore en réactivité. •

+ Projet Méditerranée

Pour mieux prévoir les épisodes de pluie intense

Face à la multiplication des « épisodes cévenols », ces précipitations brèves et intenses qui provoquent des inondations dévastatrices sur l'arc méditerranéen, un projet a été lancé en 2020 afin d'en anticiper la survenue. Mené dans le cadre d'une collaboration entre l'IGN, l'université de Montpellier, l'École nationale supérieure de techniques avancées Bretagne (ENSTA), Météo-France et le port de Sète, le projet Méditerranée prévoit d'équiper les navires circulant dans la zone de récepteurs GNSS *(global navigation satellite systems).* Objectif : calculer le taux d'humidité afin d'améliorer la prévision des orages violents, causés par la rencontre des masses d'air chaud et humide en provenance de la mer avec l'air froid des massifs montagneux. Un premier bateau a été équipé au début 2022.

PARTIE 2

LES CAPACITÉS D'OBSERVATION...

00:00:00

Révolution numérique et défis environnementaux ont conduit l'IGN à se doter d'une nouvelle « boussole » pour fixer le sens de sa mission dans les années à venir. La gestion de bouleversements environnementaux de plus en plus violents va induire de surveiller de façon plus fréquente l'évolution de certains éléments du territoire. Cela induit pour l'IGN de faire évoluer ses capacités d'une logique de description du territoire vers une logique d'observation en (quasi) continu ou très fréquente.

Les thématiques actuelles relèvent de commanditaires publics. Carte de l'évolution de l'artificialisation des sols, suivi de l'état des forêts, observation de l'érosion des reliefs et en particulier du trait de côte, cartographie prédictive des zones de biodiversité à protéger, l'IGN est à l'œuvre pour montrer les changements d'un territoire en permanente évolution. En devenant dynamique la carte devient un outil de la planification écologique.

Mais pour que la carte déploie tout son pouvoir de médiation, réponde au besoin de pilotage des politiques publiques et mette en capacité les citoyens de modifier leurs comportements, l'IGN doit opérer les virages technologiques structurants vers l'observation en continu.

Il s'agit pour l'institut :

- **de mobiliser diverses sources de données pour enrichir la description de l'anthropocène.** À travers une mission « mixte technologique », l'IGN investigue les nouvelles possibilités d'acquisition et de combinaison de données à mobiliser en fonction des besoins (prises de vues aériennes, observations satellites, levés terrains, acquisitions LiDAR et radar aéroportées). Concernant les techniques d'acquisition, l'IGN renforce son expertise en matière de géolocalisation (positionnement d'objets type « GPS ») afin de mieux prévenir et gérer les risques induits par les changements environnementaux (glissements de terrain, déformation des bâtiments) ;
- **de traiter rapidement ces données afin de montrer les phénomènes dans le bon timing.** L'institut a fait le choix de s'investir dans le déploiement de l'intelligence artificielle (*deep learning* ou apprentissage profond) pour automatiser ses chaînes de production initiales et accélérer le traitement des images (reconnaissance automatique des objets du terrain). Utilisé à bon escient, l'apprentissage machine peut jouer un rôle majeur dans l'élaboration de réponses à la transition écologique ;
- **de montrer ces données sous des formes adaptées à la prise de décision publique et accessibles à tous.** La mobilisation des techniques de datavisualisation va permettre à l'IGN, qui s'est saisi du sujet, d'adapter la mise en forme des données à l'utilisateur et à ses besoins. Il s'agit de démultiplier le pouvoir de médiation des cartes de l'anthropocène.

L'ensemble de ces évolutions permettront de réaliser des projets structurants pour la planification écologique. La constitution d'un jumeau numérique de la France en est un exemple. Nouvelles acquisitions de données (LiDAR HD), réplique précise de la réalité terrain via la géolocalisation et la combinaison de données (notamment pour les mises à jour), méthodes de traitement automatiques des nuages de points et utilisation des bonnes méthodes de datavisualisation des données 3D sont autant d'innovations technologiques de pointe que l'IGN apprend à maîtriser pour déployer ces nouvelles manières de décrire le territoire.

... DE L'IGN

00:00:00

ACQUÉRIR

Le cartographe est d'abord un arpenteur du monde. Mais il a progressivement remplacé son propre pas par celui de puissantes machines qu'il pilote. Aujourd'hui, satellites, avions, drones équipés d'appareils photo, radar, LiDAR embrassent le monde avec une résolution et une fréquence toujours plus grandes. L'acquisition reste la première étape de la production de la donnée géographique, la récolte du terrain.

Multiplier les sources de données pour piloter les transitions

Observateur du territoire national en continu, l'IGN recentre ses activités autour de la production et de la valorisation des cartes de l'anthropocène, portant sur les principaux enjeux écologiques auxquels la France fait face. Cette évolution passe par l'utilisation et la combinaison de multiples méthodes d'acquisition de données, capables de contribuer à la compréhension de phénomènes complexes et instables. Vues aériennes et satellites, LiDAR, radar, drones … tout doit être mobilisé !

Les cartes de l'anthropocène proposent de suivre à intervalles réguliers l'évolution des impacts du dérèglement climatique et de l'artificialisation des sols sur le territoire : état de santé des forêts, érosion du relief et des cours d'eau, perte de biodiversité, etc. Cet engagement passe par une transformation de sa stratégie d'acquisition de données, basée sur une plus grande variété de sources d'information et une exploitation combinée de multiples outils technologiques. En faisant évoluer la nature et le rythme de mise à jour des données, l'IGN fournira des informations plus précises, répondant plus spécifiquement aux attentes des différentes politiques publiques, telles que la protection du littoral ou la prévention des incendies.

Pour accompagner la transition, une mission « Mixte technologique » a été lancée au sein de l'institut afin de faire l'inventaire des besoins exprimés sur les enjeux clés (ville, biodiversité, transition énergétique, forêt, agriculture, bâtiment, infrastructure, sécurité, etc.) et d'identifier les nouvelles méthodes d'acquisition de données adaptées.

LA RÉVOLUTION LiDAR HD EST EN MARCHE

Un exemple représentatif de ces nouvelles méthodes : la production d'un modèle en trois dimensions de la France grâce aux relevés LiDAR HD. HD pour haute densité, soit dix points par mètre carré ! Un véritable coup d'accélérateur : là où il fallait des levés terrain directs (GPS transporté dans un sac à dos) ou des prises de vues aériennes hivernales (lorsque le sol est visible en l'absence de feuillages), les relevés aéroportés LiDAR HD permettent de cartographier le sol et le sursol pour constituer des modèles numériques de surface très fins.

Avec le LiDAR HD, l'IGN offrira de larges opportunités d'innovation pour répondre aux besoins de politiques publiques : état des lieux du risque inondation pour diminuer la vulnérabilité des territoires exposés, appui au contrôle des aides dans le cadre de la politique agricole commune, aide au contrôle des certificats d'économie d'énergie, etc. Entamées en 2021, les acquisitions se poursuivront jusqu'en 2025 et donneront

lieu à une mise à disposition progressive des représentations 3D du territoire en open data.

L'ARTICULATION DES MÉTHODES D'ACQUISITION DE DONNÉES EN FONCTION DES BESOINS

Vient ensuite la question de la complémentarité des méthodes d'acquisition de données : observation satellite, prises de vues aériennes, relevés LiDAR, levés terrestres, véhicules d'acquisition de données, etc. Entre l'aérien et le satellite pour commencer : dans un contexte d'amélioration des sources satellitaires, si les niveaux de résolution des données acquises par les satellites nouvelle génération permettent de compléter les prises de vues aériennes, il sera question de tirer le meilleur des deux mondes, entre une résolution plus fine et une couverture plus fréquente, ainsi qu'entre une couverture du territoire uniforme et une couverture différenciée.

D'autres complémentarités peuvent être exploitées. Entre l'imagerie aérienne et l'imagerie terrestre (par les véhicules d'acquisition d'imagerie 3D) pour dresser la cartographie urbaine la plus complète possible. Avec le LiDAR HD également, qui va apporter de précieuses données en complément des levées terrestres nécessaires aux inventaires forestiers réalisés tous les ans par l'IGN. Sans compter le potentiel des drones, qui, si la réglementation en matière de survol s'assouplit, pourraient compléter localement les acquisitions aériennes et terrestres, en zones urbaines en particulier.

LA COORDINATION AVEC LES ACTEURS DU TERRITOIRE ET DE L'INNOVATION

Si l'aspect méthodologique est un critère majeur et structurant des activités de collecte d'information, l'agrégation de données produites par d'autres acteurs de l'observation des territoires est également une priorité. Qu'il s'agisse du Service hydrographique et océanographique de la Marine (Shom), du Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema), de l'Office national des forêts (ONF) ou des collectivités territoriales, il est essentiel de coordonner les activités d'acquisition de données dans un effort collectif, afin de dégager des synergies d'action et d'éviter les redondances. L'IGN veut également dialoguer avec les acteurs de l'innovation : Centre national d'études spatiales (CNES), Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique (Inria), des industriels (Airbus, Thales), des start-up, etc.

UN JUMEAU NUMÉRIQUE POUR ANTICIPER LES ÉVÉNEMENTS CLIMATIQUES

La combinaison de différentes sources de données permettra à terme de produire un « jumeau numérique » du territoire national : une représentation topographique 3D du territoire et un environnement logiciel de navigation immersive. D'ici à 2030, cette France modélisée pourrait être utilisée pour réaliser des simulations de certains phénomènes (propagation de polluant, îlots de chaleur urbains, captation de CO_2 par la forêt, etc.). Ce chantier ambitieux implique aussi des transformations profondes des métiers et des compétences de l'IGN. Ainsi, l'institut entend accélérer l'intégration des expertises associées aux technologies d'aujourd'hui et de demain afin de préparer et d'anticiper les nouvelles méthodes liées à l'évolution des besoins. Pour demeurer l'acteur référent de la description de la Terre et de ses grands changements. •

Avec le LiDAR HD, l'IGN offrira de larges opportunités d'innovation pour répondre aux besoins de politiques publiques (...)

La géolocalisation aujourd'hui et demain, chantier discret mais essentiel

Indissociable de la cartographie, la géolocalisation est l'essence même du métier de l'IGN : l'institut mobilise de nombreux outils technologiques tout en étant architecte de certaines composantes, comme les référentiels géodésiques applicables en France métropolitaine et outre-mer. En 2021, une feuille de route dédiée à la géolocalisation a été formalisée afin d'identifier les innovations les plus prometteuses et de structurer la réponse de l'IGN aux besoins dans ce domaine.

Parmi les techniques d'acquisition de données géographiques, la géolocalisation est un domaine d'excellence essentiel aux activités de l'IGN et un thème de recherche fondamental pour les politiques publiques. Aujourd'hui basée sur des technologies de pointe, la géolocalisation a toujours fait partie du travail du cartographe, dont la mission consiste à « positionner les objets les uns par rapport aux autres dans un système de coordonnées ». Elle a progressivement pénétré de nombreux usages : militaires pour commencer, puis scientifiques, avec des applications métier pour les géomètres et topographes par exemple, et plus récemment pour la navigation routière et les smartphones. Et maintenant : les usages autonomes, l'internet des objets ou la réalité augmentée.
À l'ère de la dématérialisation, les données géolocalisées participent massivement à un « commun numérique » tant l'accès à ces données conditionne le développement de solutions et de services innovants. Parmi les grandes évolutions directement liées à la révolution numérique : la massification des données géolocalisées, la démocratisation des usages et l'hybridation de technologies multiples et hétérogènes, qui ont notamment accompagnées l'arrivée à pleine capacité, en 2020, du système européen Galileo et du système chinois BeiDou.

UN CHANTIER PROSPECTIF POUR FAIRE GRANDIR L'EXPERTISE DE L'INSTITUT

Quels seront les usages de demain ? Quels sont les nouveaux acteurs et les innovations en devenir ? À l'heure des grands bouleversements écologiques, l'IGN entend conforter la veille sur les nouvelles technologies de géolocalisation afin d'outiller toujours mieux les utilisateurs et les décideurs. Lancée en

La géolocalisation en bref

→ Outil militaire détourné en application civile, la géolocalisation se définit comme « la détermination des coordonnées géographiques d'un objet à la surface ou dans le voisinage de la Terre » dans un repère de référence. Avec l'avènement du GPS, apparaissent les trois composantes de la géolocalisation d'aujourd'hui : fournir une position, une datation (outil de synchronisation temporelle) et un moyen de navigation (position dynamique).

→ L'IGN est utilisateur de systèmes et de techniques de géolocalisation, et assure la cohérence géométrique, le géoréférencement et la qualification des données géolocalisées.

2021, la mission géolocalisation a réalisé un diagnostic des tendances et des opportunités et proposé une feuille de route technologique. Avec un objectif : structurer la connaissance et partager l'information au bénéfice de l'appui aux politiques publiques, en particulier sur les besoins émergents comme la mesure de l'impact du changement climatique et la prévention des risques (mouvements du sol, surveillance des glissements de terrain, déformation des ouvrages d'art).
Le chantier compte trois grandes étapes : le recensement des technologies (existantes et en développement), l'animation d'une communauté d'expertise interne (environ 10 % de l'effectif de l'institut) et une étude organisationnelle pour structurer les réseaux métier et gagner en efficacité.
Au bout du compte, il s'agit de construire une base de connaissances partagée et d'identifier les axes de développement les plus pertinents. Pour que l'IGN optimise son rôle au sein de l'écosystème de géolocalisation, où les acteurs – publics et privés – sont de plus en plus nombreux, agiles et innovants.

QUATRE DOMAINES PRIORITAIRES

Quatre grands domaines d'appui ont été identifiés et serviront de base pour choisir les technologies et les actions à engager en termes de structuration des données, de recherche et d'enseignement :

- **Espace civil :** soutien au programme spatial européen Galileo ;
- **Transport et mobilité :** appui à la constitution de référentiels dans une perspective de sécurité routière liée à l'efficacité des secours en milieu urbain et au développement de la navigation autonome ;
- **Défense :** soutien au traitement de l'imagerie spatiale ;
- **Prévention des risques de catastrophe naturelle :** améliorer la modélisation du réel grâce au géoréférencement maîtrisé et qualifié des données.

MOBILISER ET COMBINER DIFFÉRENTES SOURCES DE DONNÉES GÉOLOCALISÉES

Dans une démarche d'ouverture et d'interopérabilité, l'IGN a également vocation à renforcer son expertise en matière de gestion des données géolocalisées provenant de sources différentes. Le positionnement cinématique multisource apparaît comme l'enjeu le plus fort des cinq prochaines années, dans le contexte de l'évolution des usages de la localisation par satellite (capteurs multifréquences et multiconstellations à bas coûts, développement des technologies de « positionnement ponctuel précis » qui sera notamment disponible via le service de haute précision Galileo).

À l'horizon 2030, le développement de la géo-intelligence (l'alliance de l'analyse géographique et de la science des données) appliquée à l'observation en continu du territoire et la mise en œuvre de nouveaux services fondés sur une localisation toujours plus précise constituent les principaux enjeux.

Avec un besoin déjà identifié : augmenter la précision des données de géoréférencement. Pour disposer de référentiels à très grande échelle répondant notamment aux projets tels que le plan corps de rue simplifié (PCRS), qui permettra de déterminer avec précision (de l'ordre du décimètre) la localisation d'un réseau enterré (fibre optique, ligne à haute tension, gaz, etc.).

La feuille de route de l'IGN s'articule autour des trois composantes de la géolocalisation :

→ les référentiels géodésiques : systèmes de coordonnées de référence qui, au travers de la cohérence géométrique de leurs réalisations successives, permettent de déterminer de façon précise et non ambiguë la position absolue d'une information ou d'un objet sur la Terre ;

→ la métrologie des capteurs (caméras numériques, récepteurs et antennes GNSS *(global navigation satellite systems)*, centrales inertielles, etc.) ;

→ les données géolocalisées et les services qui concourent à la géolocalisation indirecte, qu'il s'agisse de l'apport de la cartographie à la navigation ou de géocodage effectué sur orthophotographie. Avec un focus sur la qualification des données acquises qui permet d'en estimer la précision.

À l'heure des grands bouleversements écologiques, l'IGN entend conforter la veille sur les nouvelles technologies de géolocalisation afin d'outiller toujours mieux les utilisateurs et les décideurs.

TRAITER

Il faut à la moisson de la donnée géographique brute un traitement pour la rendre lisible. L'artiste cartographe, mué en géomaticien, devient développeur d'intelligence artificielle et data scientist, pour transformer plus vite une donnée toujours plus massive et renouvelée en continu. Ce traitement, seconde étape de la production de la donnée géographique, prépare la donnée pour les systèmes d'information géographique, les sites web ou les plateformes numériques dédiées.

L'intelligence artificielle pour cartographier les changements rapides

Les phénomènes liés au réchauffement climatique mettent en œuvre des transformations du territoire profondes et visibles dans le temps. Pour répondre à l'accélération de ces phénomènes, l'IGN travaille sur l'automatisation et la généralisation de l'intelligence artificielle avec une double finalité : en tirer des enseignements pour accompagner la décision publique et partager cette donnée augmentée à l'ensemble de la société. Ce virage technologique s'appuie sur un plan de recrutement et de formation : de l'ingénieur à l'opérateur, tout le monde est concerné.

CARTOGRAPHIER PLUS FRÉQUEMMENT LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le changement climatique est une réalité, et ses conséquences sont chaque jour plus visibles. L'utilisation de la cartographie est clé pour comprendre le monde et faciliter la décision publique. Véritable base de connaissance, elle met en évidence non seulement les impacts à un instant T mais surtout elle permet de suivre les évolutions d'un territoire à différentes périodes. Un exemple : dans les bases de données réalisées sur les incendies de forêts, l'évolution est nette, les feux sont de plus en plus dévastateurs et de plus en plus longs.

Les besoins de cartes et de données se font plus pressants à mesure que les phénomènes climatiques majeurs (incendies, inondations, fragilisation des forêts, etc.) se répètent. Il devient ainsi nécessaire de renouveler plus fréquemment les cartes du territoire avec un degré de précision toujours plus fin.

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET LE *DEEP LEARNING* AU SERVICE DE LA CARTOGRAPHIE

Aujourd'hui, les méthodes traditionnelles de cartographie ne peuvent tenir à elles seules le rythme de l'évolution de ces besoins. Si l'on prend l'exemple de la cartographie de l'occupation des sols, il faut compter un délai d'environ 12 à 18 mois pour produire une surface équivalente à un département – prise de vue aérienne, étape de photo-interprétation comprise. L'IGN mise donc sur l'automatisation de ses processus de production sous la supervision de ses équipes techniques. Pour cela l'institut a désormais recours à l'intelligence artificielle (IA) pour reconnaître automatiquement différents objets (bâtiment, arbre, surface de bitume, etc.). Obtenues par analyse automatique d'images aériennes et satellitaires à l'aide de *deep learning* (apprentissage profond), et renforcées par le croisement de données multisources et de contrôles ou reprises manuelles, ces nouvelles productions permettent désormais d'envisager de cartographier l'occupation du sol métropolitain des départements et régions d'outre-mer (DOM-ROM) en seulement trois ans. Ces processus inédits ont déjà été déployés sur le Gers, premier département réalisé

Feuille de route intelligence artificielle

Les techniques d'intelligence artificielle (IA) ont bouleversé la plupart des domaines du traitement de l'information (traitement du langage, vision par ordinateur, etc.) et en particulier certains cœurs de métiers de l'IGN (télédétection, cartographie, etc.). Elles sont appelées à jouer un rôle incontournable dans les descriptions fines et régulières du territoire. Depuis des années, les équipes du pôle d'enseignement et de recherche de l'IGN, l'ENSG-Géomatique, participent à des travaux qui font référence dans ce domaine. Pour accompagner la montée en maturité et le déploiement à large échelle des technologies considérées, l'IGN a établi une feuille de route qui vise à :

- ➔ renforcer les capacités techniques en matière d'IA pour conduire les « grands projets » d'automatisation déjà initiés ;
- ➔ mener des expérimentations pour préparer la réponse à d'autres enjeux à venir ainsi que pour structurer des communs en matière d'IA ;
- ➔ participer aux communautés d'IA qui concourent au suivi des changements rapides du territoire liés à l'activité humaine (anthropocène).

La ligne de conduite retenue pour cette feuille de route est celle d'une démocratisation de l'IA au sein de l'institut et dans la société. En opposition à une logique technocratique de concentration d'un savoir établi chez quelques experts, il s'agit d'assurer la diffusion large de la capacité d'agir avec l'IA ainsi que de donner prise à la délibération en commun sur la façon de mobiliser et de développer ces techniques. À l'appui de la mise en œuvre de la feuille de route, l'IGN a lancé un plan de formation continue en interne ainsi qu'un plan de recrutement de spécialistes de l'IA afin de constituer un pool ayant une taille critique suffisante à l'échelle de l'État.

dans le cadre du dispositif national de mesure de l'artificialisation des sols. Si les processus de production sont inédits, l'approche l'est également puisque l'IGN met en open data toutes les ressources qui contribuent à entraîner les modèles. Une opportunité pour chacun de s'en saisir et de les enrichir.
Cette technique de *deep learning* est par ailleurs utilisée dans le cadre du programme national de cartographie 3D (LiDAR HD). Utile pour le contrôle de la classification de nuages de points, cette classification automatique catégorise les points en une dizaine de classes telles que les bâtiments, la végétation haute/moyenne/basse, l'eau, etc.
Les modèles ainsi créés offrent une description actualisée de l'état du sol et fournissent de nouveaux référentiels généralisés sur le territoire, qui s'avèrent nécessaires pour situer par exemple plus précisément les vagues de chaleur, déterminer les zones artificialisées ou évaluer la séquestration du carbone dans le sol.
Les premières productions IGN montrent la complémentarité entre l'automatisation et le travail des équipes de l'institut. L'IA ne va pas remplacer l'humain mais faire évoluer les métiers, de l'ingénieur à l'opérateur. C'est pourquoi la feuille de route IA *(cf. encadré)* met en avant un enjeu de démocratisation.
En complément des données d'occupation du sol à grande échelle (OCS GE), de nombreuses autres cartographies et données produites par l'IGN en collaboration avec ses partenaires sont disponibles. Parmi elles figure l'inventaire forestier qui recense en continu les ressources forestières nationales. La base de données sur les incendies de forêts en France (BDIFF) centralise les informations depuis 2006 ou encore tout le patrimoine photo et la cartographie accessible sur les sites remonterletemps.ign.fr et geoportail.gouv.fr.
Ces différentes bases de données sont complémentaires sur un même territoire et constituent ainsi une grande richesse pour comprendre l'évolution des territoires et éclairer l'action. •

Zoom sur le projet CONQueTh

Les impacts du climat
sur la croissance de trois essences de chêne

Le projet CONQueTh (capacité d'occupation du nord par les quercus thermophiles), initié par le Centre national de la propriété forestière (CNPF), s'est déroulé entre 2017 et 2021. Il a montré que la ressource en chênes pubescents, pédonculés et sessiles dans la région de la Loire a augmenté ces trente dernières années. Plus précisément, cette ressource est passée de 2,4 à 2,7 millions d'hectares, et de 318 à 482 millions de mètres cubes. Cette progression du volume observée dans cette étude est caractéristique de la situation métropolitaine. Elle s'explique par une augmentation de la maturité des peuplements (constitués d'arbres de plus gros diamètres qu'autrefois) et dans une moindre mesure, par une augmentation de la surface des forêts.

Cette progression globale cache toutefois des dynamiques différentes selon les trois essences. Les chênes sessiles et pédonculés baissent fortement en nombre de tiges et en volume dans les diamètres inférieurs à 17,5 centimètres, alors qu'ils augmentent dans les autres classes de diamètre. Le chêne pubescent, quant à lui, augmente dans toutes les classes de diamètre quelles que soient les variables observées (volume, nombre de tiges). On observe ainsi qu'en dix ans, le territoire occupé par le chêne pubescent semble en expansion dans le bassin ligérien tandis que le renouvellement des deux autres chênes diminue *(cf. cartes ci-contre).*

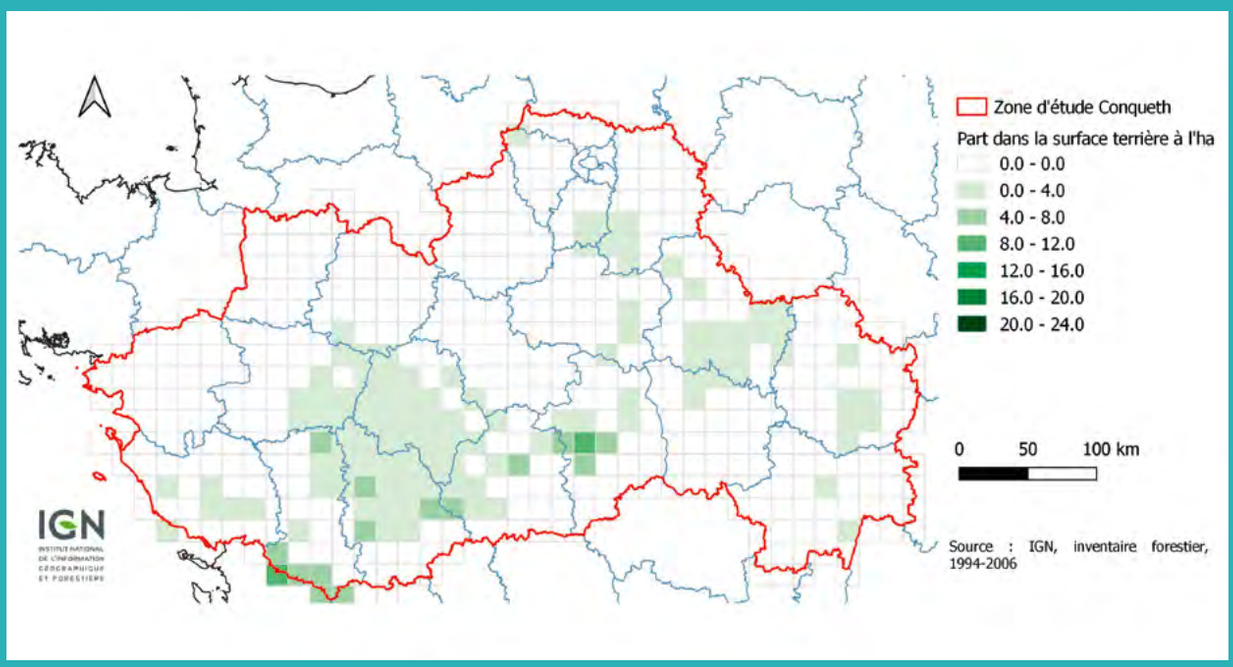
Plusieurs phénomènes concomitants peuvent expliquer ces évolutions. L'expansion forestière, à l'œuvre sur toutes les terres abandonnées du territoire métropolitain, contribue au développement des espèces pionnières comme le chêne pubescent ou le chêne pédonculé. Par ailleurs, la population importante de grands ongulés peut décourager localement les sylviculteurs d'investir pour renouveler les peuplements gérés de chênes sessiles et pédonculés dont les jeunes plants sont des mets de choix pour les cervidés.

Cependant, les évolutions climatiques ont également pu contribuer aux évolutions observées : à la faveur des modifications climatiques des dernières années, le chêne pubescent a pu gagner en compétitivité car sa croissance radiale est stable depuis 2006 alors que celle des chênes pédonculés et sessiles montre une légère diminution liée au climat. Cela pourrait être dû à une plus grande résistance à la sécheresse du chêne pubescent par rapport aux chênes sessiles et pédonculés. Cette résistance peut à la fois le favoriser dans sa phase d'installation sur de nouvelles terres et dans des peuplements mixtes dans lesquels il est déjà établi. Attention cependant, la croissance radiale des deux autres chênes est encore (pour l'instant ?) bien supérieure à celle du chêne pubescent.

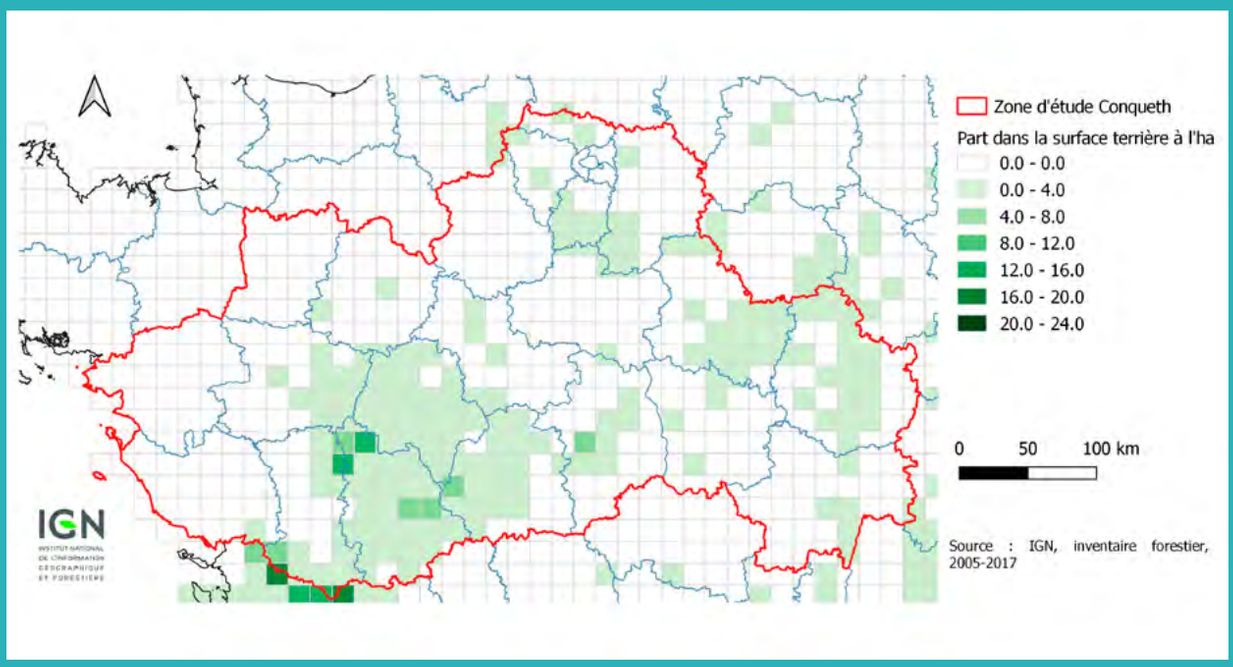
Plusieurs phénomènes concomitants peuvent expliquer ces évolutions :

- **l'expansion forestière,** à l'œuvre sur toutes les terres abandonnées du territoire métropolitain, contribue au développement des espèces pionnières comme le chêne pubescent ou le chêne pédonculé ;
- **la surpopulation du gibier** décourage les sylviculteurs à renouveler les peuplements gérés de chênes sessiles et pédonculés dont les jeunes plants sont des mets de choix pour les cervidés ;
- **les évolutions climatiques** des dernières années ont fait gagner en compétitivité au chêne pubescent car sa croissance radiale est stable depuis 2006 alors que celle des chênes pédonculés et sessiles montre une légère diminution liée au climat.

ÉVOLUTION DE LA POPULATION DU CHÊNE PUBESCENT EN RÉGION CENTRE VAL DE LOIRE.



Dates : 1994-2006



Dates : 2005-2017

RESTITUER

La carte est une représentation spatiale, souvent géométrique, et toujours une sémiologie graphique. Il faut en faciliter l'accessibilité aussi bien physique que cognitive. Propriété, gratuité, donnée ouverte, stockage, interface logicielle forment à cette ultime étape les enjeux de la disponibilité. Mais la carte est également intentionnelle, son pouvoir est celui de rendre intelligible un territoire, un phénomène : faire voir pour comprendre. La carte ne garde son pouvoir de médiation qu'au prix d'une restitution pertinente.

Géovisualisation : donner à voir pour faire comprendre et réagir

À travers les âges, la carte a prouvé son pouvoir de médiation, de lecture du monde et de guide. La géovisualisation, ensemble de techniques de visualisation interactive, permet à un utilisateur de voir des données géolocalisées 2D ou 3D de manière adaptée à ses besoins, à ses capacités perceptives et cognitives, et à son contexte d'usage. Et d'interagir avec cette information. Les Magellan d'aujourd'hui ont besoin de nouvelles boussoles pour agir dans les transitions.

Concilier la somme considérable de données géospatiales désormais à disposition et la nécessité de les rendre accessibles et compréhensibles, c'est tout l'enjeu de la géovisualisation. En tant qu'observateur du territoire en continu, l'IGN aura, dans les prochaines années, un rôle déterminant à jouer dans son déploiement à l'échelle nationale.

Comment donner accès au bon niveau d'information à un utilisateur ? Et comment optimiser pour cela l'ensemble des outils technologiques disponibles afin de rendre possible cette interaction ?

L'IGN entretient des référentiels de données régulièrement mis à jour dans différents domaines – forêt, biodiversité, occupation des sols, etc. –. Depuis une dizaine d'années, l'automatisation des processus par un recours de plus en plus ciblé à l'intelligence artificielle, et le travail partenarial avec d'autres acteurs – industriels, PME, associations, opérateurs publics – ont permis de changer d'échelle : l'information devient aide à la décision et au pilotage.

Les référentiels de données thématiques étant de natures, de localisations et de précisions différentes, le défi pour l'IGN est ainsi de les mettre en cohérence afin de les rendre accessibles en donnant accès au bon niveau d'information à un utilisateur dans un contexte donné. L'interaction entre Homme et machine doit venir, ensuite, faciliter la compréhension de ce qui est présenté.

L'UTILISATEUR AU CENTRE

Dans cette problématique, la question de l'utilisateur est centrale. Celui-ci peut avoir des difficultés de perception, ou de compréhension. Il peut aussi s'agir d'un groupe d'utilisateurs auquel le système de géovisualisation doit fournir les éléments communs, adaptés à chaque niveau de compétence et de responsabilité.

Par conséquent, les objectifs pour l'IGN, en matière de géovisualisation, sont, à court terme, de s'adapter de plus en plus finement à ce que perçoit et comprend l'utilisateur dans toute sa diversité, et de lui proposer une donnée disponible en temps réel.

Par ailleurs, selon l'équipe d'experts chargée de cadrer les axes d'innovation de l'institut dans ce domaine, un autre enjeu est de montrer les choses sans tromper. La mission historique de l'IGN de production de cartes a évolué et consiste aujourd'hui à agréger ces données cartographiques et à fédérer autour de cette donnée, en la rendant accessible et facilement utilisable. Or, toutes ces données n'étant pas directement superposables, il s'agit de « montrer le flou », afin de ne pas tromper l'utilisateur. Il y a ainsi, à travers la géovisualisation, un enjeu fort d'honnêteté de la représentation. De nombreuses recherches en cours travaillent sur ces aspects en lien avec la perception ou la sémiologie, qui vont à leur tour adresser des champs d'application très différents.

Enfin, l'interaction Homme-machine sera cruciale dans le déploiement de la géovisualisation à plus long terme : il s'agit de configurer au plus juste les systèmes pour répondre aux besoins de l'utilisateur, tout en apprenant de son comportement. Les travaux déjà menés dans ce sens sont ainsi revisités sous l'angle de l'optimisation de systèmes de géovisualisation et de contextes d'usages variés. •

Remonter le temps

L'ANTHROPOCÈNE SOUS VOS YEUX

Voir la dune du Pilat en 1950, le massif alpin au début du siècle, ou la cathédrale Notre-Dame de Paris arborant encore sa flèche, et pouvoir comparer les images aériennes d'hier et d'aujourd'hui, tout cela est désormais possible grâce au portail Remonter le temps qui propose un accès gratuit à quatre millions de cartes et de photos aériennes depuis 1950. Ce portail donne accès au territoire et à l'impact de l'anthropocène en quelques clics, ainsi qu'à une comparaison des images enrichissant la lecture et l'interprétation.

remonterletemps.ign.fr

MapStyle

LA SÉMIOLOGIE AU SERVICE DE LA CONCEPTION DE CARTES PERSONNALISÉES

La carte est dite efficace si le message souhaité par le cartographe est lisible et compréhensible par le public visé. En se basant sur son expertise en sémiologie cartographique, l'IGN a conçu un service innovant de visualisation de données, dit MapStyle, permettant de reproduire tout type de rendu cartographique via une modélisation avancée des styles : génération de motifs complexes (rochers, éboulis, glaciers, etc.), covisualisation hybride d'orthophotographies et de données vecteurs en faisant varier le niveau de photoréalisme, conception de cartes « à la manière de » permettant de reproduire des styles plus artistiques issus de cartes papier anciennes ou extrapolés dans des sensibilités plus modernes. Les utilisateurs ont ainsi accès à des moyens pour concevoir des styles cartographiques personnalisés et attractifs afin de coller au mieux à leurs attentes et à leurs goûts.

mapstyle.ign.fr

iTowns

VERS UN MÉTAVERS GÉOGRAPHIQUE

iTowns est une plateforme développée par l'IGN qui permet de visualiser des données géographiques 3D via le web. Initialement conçu comme un outil de visualisation de données images et LiDAR issues de la cartographie mobile, iTowns a évolué. La plateforme propose aujourd'hui de naviguer en immersion au sein d'un très grand volume de données 3D, à toutes les échelles, depuis l'espace jusqu'au sol. Parallèlement, des interfaces offrent des possibilités multiples de manipulation de ces données.

Moteur de visualisation 3D du Géoportail, iTowns propose régulièrement de nouvelles fonctions. En plus de la visualisation en 3D du territoire pour le grand public, il ouvre la voie au développement d'applications web à usage professionnel pour visualiser des données, les mesurer ou les analyser. Il s'adresse ainsi aux développeurs ayant une connaissance minimale dans le domaine de l'information géographique mais n'étant pas nécessairement des spécialistes de la 3D. Une brique utile dans le contexte d'ébullition autour des métavers.

geoservices.ign.fr

Macarte

CRÉER ET PUBLIER SES PROPRES CARTES

Le site Macarte offre la possibilité de créer sa propre carte en ligne à partir des fonds mis à disposition par l'IGN, sans installation d'un logiciel. Il est également possible d'y intégrer des éléments ou des données personnelles et de publier ces cartes dans un espace commun, via l'Atlas, selon différentes thématiques : éducation, climat, santé, etc.

macarte.ign.fr

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos remerciements aux collaborateurs de l'IGN et aux experts, partenaires et parties prenantes qui ont participé à l'élaboration de ce rapport.

Les collaborateurs de l'IGN : Arnaud Allgeyer, Anaïs Aubert, Ingrid Bonhème, François Chirié, Antoine Colin, Loïc Commagnac, Zacharie Coq, Karine Courtès, Yannick Couturier, Bénédicte Depeux, Valérie Deregnaucourt, Nathalie Derrière, Juliette Fabris, Benjamin Ferrand, Jean-Baptiste Fresse, Manuel Fulchiron, Yanis Hamimi, Raphaële Heno, Dominique Jeandot, Caroline Joineau-Guesnon, Magali Jover, Julien L'Haridon, Swann Lamarche, Frédéric Letouzé, Fanny Mazepa, Didier Moisset, Claude Penicand, Véronique Pereira, Matthieu Porte, Thierry Saffroy, Marie-Agnès Scherrmann, Sébastien Soriano, Charles Velut, Laurent Vivensang et Boris Wattrelos.

Les experts, partenaires et parties prenantes : Marie Carrega, Karine Hurel, Thomas Lesueur, Laurent Poncet et François Sabatier.

Conception et réalisation : All Contents – **Illustrations :** Stéphane Kiehl – **Crédits photos :** IGN.

CARTOGRAPHIER L'ANTHROPOCÈNE 2022

ATLAS IGN
CHANGER D'ÉCHELLE POUR POUVOIR AGIR