

Pour cartographier le territoire, des technologies en haute altitude

Par Valérie DERÉGNAUCOURT

Institut national de l'information géographique et forestière (IGN)

Imagerie spatiale, intelligence artificielle, technologie LiDAR... Pour cartographier le territoire et faire parler finement les observations aériennes et spatiales, l'IGN déploie en continu un bouquet technologique de pointe. Explications.

Les crises climatique et environnementale auxquelles nous devons faire face collectivement demandent de produire et de diffuser, quasiment en continu, les données de description du territoire et de ses évolutions. Ces données sont tout simplement indispensables, aujourd'hui, à la conception et au suivi des politiques publiques, et au pilotage de la transition écologique. Pour outiller ainsi la puissance publique, l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) s'est donné pour ambition de cartographier l'anthropocène, autrement dit de donner à voir les transformations rapides de notre environnement. Cette entreprise exigeante soulève des défis technologiques majeurs. Or l'IGN a toujours été pionnier en matière d'innovations, que ce soit pour la mise en œuvre des premiers avions de relevés topographiques, les techniques de photogrammétrie ou d'observation des sols par satellite... Aujourd'hui, des solutions encore inimaginables il y a quelques années ouvrent de nouvelles perspectives : intelligence artificielle, *New Space*, couverture LiDAR haute résolution, jumeau numérique... Le bouquet technologique déployé par l'IGN doit être une nouvelle fois à la hauteur des enjeux.

CROISER LES SOURCES DE DONNÉES POUR ENRICHIR LA DESCRIPTION DE L'ANTHROPOCÈNE

La complémentarité des sources d'acquisition est au cœur de l'observation en continu des territoires, essentielle pour répondre aux enjeux actuels. Pour suivre l'état de santé des forêts, l'érosion du relief, l'évolution des cours d'eau, la perte de biodiversité ou l'artificialisation des sols, l'IGN mobilise ainsi des sources d'observation variées et déploie ses capacités d'acquisition et de traitement pour croiser tous types de source de données (terrain, aérien, LiDAR, satellite...) en décloisonnant et en faisant fructifier ces innovations. Cela lui permet de consolider les données socles qu'il s'emploie à optimiser constamment et qui sont indispensables à l'enrichissement des représentations thématiques.

LE SPATIAL, UNE PLACE GRANDISSANTE AU SEIN DU MIXTE TECHNOLOGIQUE DE L'IGN

L'IGN entretient depuis plus de trente ans une expertise pointue dans le domaine de l'exploitation des données satellitaires. Ses services de l'imagerie spatiale (Toulouse) et de géodésie et de métrologie (Saint-Mandé) sont des centres d'expertise reconnus au plan international, respectivement dans la maîtrise de la géométrie des capteurs satellitaires

d'intérêt cartographique, et dans celle des données de localisation précises issues des systèmes GNSS (dont GPS et Galileo).

Les besoins liés aux politiques publiques évoluent vers des données plus spécifiques, plus détaillées ou fréquemment actualisées, et les sources de données se multiplient. À cet égard, le déploiement de nouvelles constellations satellitaires à très haute résolution, notamment Pléiades Neo (30 cm) et CO3D (stéréo synchrone à 50 cm) ouvre de nouvelles perspectives d'observation du territoire et de suivi des politiques publiques. Tout comme les données issues des constellations Sentinel du programme Copernicus, caractérisées par une grande richesse spectrale et un fort potentiel d'analyse des dynamiques temporelles des territoires.

Cela amène aujourd'hui l'IGN, d'une part, à définir un nouveau mixte technologique d'acquisition de données, d'autre part à adapter ses chaînes de traitements pour les rendre agnostiques en termes de sources, notamment dans le cadre des travaux plus larges en matière de détection du changement.

Par exemple, pour répondre aux besoins de suivi des massifs forestiers, l'association des images à très haute résolution spatiale avec des séries temporelles d'images Sentinel offre des perspectives très intéressantes pour cartographier de manière automatique la répartition des différentes essences forestières. À la suite du déploiement en 2021 des satellites Pléiades Neo, un partenariat d'expérimentation a été signé avec Airbus DS et une démarche d'évaluation complète a été mise en place, allant de la qualification des images jusqu'au transfert d'apprentissage de modèles d'occupation du sol.

L'enjeu est aujourd'hui de repositionner la donnée satellitaire en appui aux politiques publiques dans une démarche multi-sources, multi-capteurs et multi-acteurs tandis qu'un vaste écosystème d'innovation se développe autour de la donnée satellitaire et du croisement des sources de données. Cette richesse ouvre un grand potentiel d'exploitation pour les politiques publiques.

CARTOGRAPHIER LA FRANCE ENTIÈRE EN 3D GRÂCE AU LiDAR AÉRIEN HAUTE RÉOLUTION

L'IGN a lancé en 2021 le programme LiDAR HD, un chantier d'une ampleur inédite porteur d'un objectif ambitieux : acquérir des données LiDAR haute densité sur l'ensemble du territoire métropolitain, des DROM et des collectivités territoriales uniques (hors Guyane) pour en proposer la description 3D la plus fine jamais établie à l'échelle de la France entière. Inscrit dans le plan France relance et soutenu par de multiples commanditaires publics, notamment *via* des fonds FEDER, ce projet séquencé sur cinq ans répond aux besoins d'observation et d'analyse spatiale dans de nombreux domaines de l'action publique (prévention des risques, observation de la ressource forestière, aménagement du territoire...) et constitue un levier pour le développement de futurs services à valeur ajoutée. Les données issues du programme sont d'ailleurs mises à disposition de tous en *open data* au fil de leur production pour inciter le plus grand nombre à en exploiter le potentiel et à en développer les usages.

Le LiDAR (*Light Detection And Ranging*) est une technique de télémétrie qui utilise les propriétés de la lumière. Qu'il soit terrestre ou embarqué dans un avion, le LiDAR repose sur un même procédé d'acquisition : un scanner, dont la position et l'orientation sont mesurées en continu, émet vers un objet ou vers le sol des impulsions laser infrarouges à haute fréquence puis enregistre très précisément le temps écoulé entre l'émission de ces impulsions et leur retour à l'émetteur afin d'en déduire la position des points impactés. À raison de plusieurs centaines de milliers d'impulsions émises par seconde, l'appareil génère rapidement une grande quantité de points géoréférencés. Les données sont ensuite traitées pour élaborer des modèles numériques en 3D : modèles numériques de terrain

(description altimétrique du sol), modèle numérique de surface (description altimétrique du sol et du sur-sol), etc.

La technologie LiDAR HD, par sa capacité à décrire finement le sol (même sous couvert végétal), le chevelu hydrographique (fleuves, rivières...) et les différents étages de la végétation, se révèle être un puissant outil d'analyse et de suivi des évolutions du territoire.

Concrètement, le programme LiDAR HD piloté par l'IGN vise la mise à disposition de données 3D relatives au sol et au sur-sol qui seront à la fois homogènes, riches, fiables, ouvertes et accessibles à tous. Pour mener à bien le projet, l'IGN s'est entouré de plusieurs sous-traitants spécialisés dans l'acquisition de ce type de données. Il réquisitionne aussi sa flotte d'avions Beechcraft King Air 200 embarquant à leur bord des modèles de capteurs LiDAR en complément du matériel dédié aux prises de vue aériennes.

L'ambition à terme est de mettre en place un important équipement numérique 3D voué à constituer le socle géométrique du futur « jumeau numérique » de la France, une réplique numérique et dynamique du territoire. Outil collaboratif d'aide à la décision croisant les données géographiques, mais aussi météorologiques, climatiques ou démographiques, le jumeau numérique permet d'effectuer des simulations et de tester des scénarios d'avenir dans de nombreux domaines de la transition écologique : aménagement du territoire, transition énergétique, gestion durable des ressources agricoles et forestières, prévention des risques naturels...

Utilisations du LiDAR

Le LiDAR pour prévenir le risque inondation...

En matière de prévention du risque inondation, les données LiDAR sont exploitées pour élaborer des cartographies du risque et diminuer la vulnérabilité des territoires exposés. En octobre 2020, les avions de l'IGN ont par exemple effectué en urgence des levés LiDAR dans les zones sinistrées par la tempête Alex afin de modéliser précisément les évolutions topographiques des vallées touchées par les intempéries et de faciliter la mise à jour rapide des plans de prévention des risques.

... ou connaître les ressources forestières

Le potentiel d'usage du LiDAR HD est également élevé dans la perspective d'une meilleure connaissance des peuplements forestiers à l'échelle très fine de la parcelle forestière (et non plus d'un massif). Les données facilitent l'élaboration et le suivi des documents de gestion sylvicole, la dématérialisation des procédures administratives forestières et environnementales (télédéclarations, demandes d'aides), l'amélioration de la desserte forestière et du transport du bois, le suivi et le contrôle des défrichements et des replantations, le suivi de l'état sanitaire des forêts et la prévention des risques (feux de forêts, érosion du cordon dunaire, éboulement...).

ACCÉLÉRER L'INTERPRÉTATION DES DONNÉES GRÂCE À L'IA POUR RÉPONDRE AU DÉFI DE L'OBSERVATION EN CONTINU

Les techniques d'intelligence artificielle qui ont bouleversé la plupart des domaines du traitement de l'information (traitement du langage, vision par ordinateur, robotique...) révolutionnent aussi très largement les activités qui constituent le cœur de métier de

l'IGN (télédétection, localisation, cartographie). Aujourd'hui l'intégration de l'IA dans les modes de traitement de la donnée permet d'imaginer une actualisation en temps réel des données géographiques, ainsi qu'une restitution de plus en plus précise des résultats.

DES PERFORMANCES SATISFAISANTES À PLUS DE 73 % POUR LA DESCRIPTION DE L'OCCUPATION DU SOL

Zéro artificialisation nette en 2050. C'est l'objectif inscrit dans la loi climat et résilience d'août 2021 pour enrayer l'artificialisation des sols. L'enjeu, pour chaque collectivité, est dès maintenant de parvenir à maîtriser sa propre expansion et d'adopter une consommation foncière la plus sobre possible. Pour observer, planifier et contenir la croissance urbaine, les territoires pourront bientôt s'appuyer sur le référentiel d'occupation du sol à grande échelle (OCS GE), une base de données géographiques homogènes qui décrira finement la couverture et l'usage des sols ainsi que leur évolution dans le temps pour la France entière. Ce référentiel produit par l'IGN en collaboration avec le Cerema et l'INRAE à la demande du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires offre un terrain d'expérimentation idéal pour exploiter l'IA. De fait, depuis plusieurs années déjà, l'IGN déploie pour cette production un mode opératoire reposant sur des techniques d'intelligence artificielle à la source d'un gain de temps substantiel qui lui permettra d'actualiser les données tous les trois ans. Couvrir la France entière nécessiterait de traiter 16 billions de pixels d'orthophotographies correspondant aux 641 184 km² de l'ensemble du territoire français. Difficile, avec des moyens traditionnels, d'atteindre une telle fréquence de mise à jour. Les données sont actuellement produites à un rythme de croisière de quatre départements par mois.

En pratique, l'institut s'appuie sur les capacités apprenantes de l'IA (*deep learning* ou apprentissage profond) développées par ses équipes de recherche pour automatiser la télédétection d'objets (habitations, zones imperméables, espaces agricoles, végétation...) à partir de prises de vue aériennes. L'IA a aujourd'hui la capacité d'apprendre des traits spécifiques à certaines classes et de les généraliser. Selon une méthode dite d'« apprentissage supervisé », l'IA apprend à reconnaître 16 types d'occupation du sol à partir d'un jeu de données constitué de 2 500 km², sélectionnés en fonction de la représentativité du territoire et sur lesquels des photo-interprètes ont annoté le type de couverture du sol. Il s'agit de zones littorales, montagneuses, et plus globalement de tous les macro-paysages repartis sur 64 départements français. Une fois le modèle obtenu, il est appliqué à d'autres régions inconnues de l'IA. En tout, 17 classes de couverture du sol sont référencées par l'intelligence artificielle.

Le résultat est ensuite croisé avec des données issues de référentiels nationaux décrivant l'usage des sols comme la BD TOPO® (la base de données qui regroupe les informations géographiques structurantes comme le bâti et l'ossature, c'est-à-dire le réseau routier, les voies ferrées, les cours d'eau), les bases de données forêt ou encore des données foncières ou relatives aux aides agricoles (Registre parcellaire graphique). Ces croisements permettent de corriger la couverture et de compléter les informations avec l'usage.

Quand on travaille à cette échelle, l'hétérogénéité des données peut devenir problématique et complexifier la tâche de l'IA : concernant la classe bâtiments par exemple, les spécificités locales peuvent être des tuiles en toit, en zinc, en bois... Par ailleurs, couvrir la France requiert environ trois ans. Sur une même zone, les données peuvent être acquises en mars ou en novembre. Un champ de maïs évolue dans ce laps de temps. Le défi de l'IA est d'être robuste à ces variations. Et malgré de rares écueils démontrant le caractère indispensable de l'expertise humaine, les performances du modèle IA et des traitements géomatiques associés sont largement satisfaisantes. Elles permettent d'atteindre une

bonne classification des couvertures et des usages supérieurs à 73 % pour les premiers départements produits.

Dans sa feuille de route IA, l'IGN prévoit d'ailleurs d'entretenir et de renforcer ses capacités techniques en matière d'IA pour la production automatisée des grands référentiels cartographiques (occupation du sol, modèle 3D France entière, etc.).

CONCLUSION

La capacité à innover de l'Institut fait partie de son ADN. Mais pour relever les défis actuels, l'IGN ne travaille pas seul. Il se positionne aujourd'hui comme le catalyseur des acteurs de la donnée géographique, capable de réunir autour d'une même table les acteurs publics, le secteur privé, le monde de la recherche et des *startup*. Le réseau Datalliance, constitué à l'initiative de l'IGN, illustre cette volonté : son objectif est de réunir les compétences des secteurs publics et privés en matière de données autour des meilleures technologies. Elle doit lui permettre de former un arsenal solide dédié à la transition écologique. L'ampleur des défis actuels exige de les relever ensemble, pour allier les savoir-faire de pointe et le meilleur des technologies.