

2020

# SCHÉMA DIRECTEUR DE LA RECHERCHE ET DES TECHNOLOGIES (SDRT)

DE L'INSTITUT NATIONAL DE L'INFORMATION  
GÉOGRAPHIQUE ET FORESTIÈRE

**Synthèse**

IGN



# INTRODUCTION

L'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) est un établissement public à caractère administratif sous la double tutelle du Ministère de la transition écologique et solidaire (MTES) et du Ministère de l'agriculture et de l'alimentation (MAA). Il est chargé d'appuyer l'État dans la définition et la réalisation de ses politiques publiques, en le dotant en particulier des infrastructures numériques de description du territoire nécessaires.

Son activité de recherche vient appuyer cette mission afin de permettre à l'institut d'innover et d'assurer sa transition technologique notamment numérique, et d'identifier voire développer les nouvelles technologies pour mieux répondre aux enjeux de politiques publiques grâce à la mise au point des référentiels et services nouveaux et innovants.

Le Schéma directeur de la recherche et des technologies (SDRT) vise ainsi à identifier les technologies majeures dont l'IGN doit se doter à moyen terme (3 à 7 ans), les compétences qu'il doit développer à plus long terme, ainsi que des grands domaines d'application de ses recherches finalisées. Les enjeux et les technologiques du domaine de l'information géographique et de la géomatique ont beaucoup évolué ces dernières années. La mise en place progressive de la gratuité des données publiques, la multiplication des acteurs fournissant des données, l'explosion des services géolocalisés et la montée en puissance de l'intelligence artificielle dessinent un paysage dans lequel le rôle d'intermédiation et d'expertise de l'IGN devient primordial pour la collectivité. Ces rôles sont soulignés dans le projet d'établissement de l'IGN et dans le projet de contrat d'objectif et de performances (COP). Ils soulèvent pour l'Institut de nouveaux défis présentés ici. Le SDRT est accessible à l'adresse suivante :

<http://www.ign.fr/institut/publications/schema-directeur-recherche>

Chaque défi (observer et mesurer, décrire, comprendre et anticiper) est illustré par des cas d'applications mettant en valeur des services, produits ou technologies, servant l'objectif de neuf grands domaines applicatifs, à savoir les référentiels géométriques et altimétriques, la localisation, la métrologie des déformations, la forêt, la géovisualisation, l'optimisation de la production, la simulation, la 3D et la ville, et enfin le véhicule autonome.

# 1 OBSERVER ET MESURER

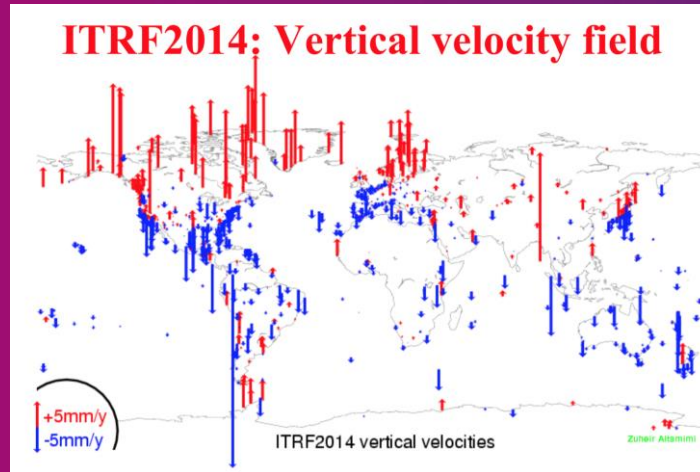
## Des références pour l'évaluation quantitative des évolutions

Dans le contexte du déploiement de la constellation GNSS européenne Galileo, de la mise en service des premiers satellites Sentinel de Copernicus et de la stratégie européenne d'ouverture des données, le secteur de la géolocalisation et de l'observation de la Terre est en pleine expansion, avec une multiplication des acteurs et des services proposés. La cohérence des produits disponibles, le besoin d'un contrôle par les usagers de leur qualité et les bénéfices apportés par l'interopérabilité à l'échelle internationale accroissent la nécessité de maintenir des références géodésiques nationales et mondiales interopérables et de très grande précision. Le changement global dont les effets sur l'environnement sont de plus en plus sensibles rend ce besoin de précision encore plus prégnant, afin notamment de permettre le suivi des évolutions sur des périodes de temps de plus en plus courtes (accélération de la fonte des glaces, de la montée du niveau des mers, etc.).

Ce défi de la mesure concerne la détermination des références géodésiques elles-mêmes – l'IGN est notamment engagé dans celle du repère international de référence terrestre (ITRF) – mais également la mesure de paramètres environnementaux dans le domaine du suivi des forêts françaises et la mesure des petites déformations du sol dont la maîtrise est indispensable à la définition des références.

En complément de la seule précision géométrique, la fraîcheur des données et leur précision sémantique sont également des éléments à évaluer. A cet égard, l'IGN se doit de fournir des données qualifiées, et proposer des services de qualification des données de ses fournisseurs et partenaires. L'enjeu de mesure de la qualité des données fournies est le niveau d'automatisation des échanges entre les différentes plateformes et communautés, et donc l'efficacité de la production d'ensemble, ainsi que la confiance entre les acteurs.

## Le repère international de référence terrestre



Pour répondre aux enjeux de l'observation de notre planète et de la navigation, l'IGN reste engagé dans l'amélioration de la **référence** mondiale, le repère international de référence terrestre (ITRF).

L'ITRF est un produit du service international de la rotation de la Terre et des repères de référence (IERS), organe scientifique de l'Union géodésique et géophysique internationale (UGGI).

Placé sous la responsabilité de Zuheir Altamimi (IGN), il est déterminé au sein de l'UMR Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) tous les quatre à cinq ans. Il assure l'interopérabilité des constellations GNSS à un niveau centimétrique.

L'enjeu des futures éditions, prévues à compter de 2021, est d'une part l'amélioration de son exactitude pour un meilleur suivi de certains marqueurs du changement global (niveau des mers, fonte des glaces) et d'autre part l'évaluation de l'apport spécifique de la constellation Galileo à la détermination de son échelle. L'illustration montre les mouvements verticaux du sol des stations constituant le réseau de référence.





## Mieux mesurer le volume des arbres : de nouveaux tarifs de cubage aérien total

Pour mieux comprendre les relations existantes entre les mesures de l'inventaire forestier et le volume du bois aérien total, depuis le tronc jusqu'aux extrémités des branches, des levés tridimensionnels par Lidar terrestre ont été réalisés.

Depuis 2010 ces levés ont eu lieu sur un échantillon de placettes d'inventaire pour construire une bibliothèque numérique 3D actuellement constituée de plus de 1500 placettes. Ces nuages de points très denses sont en cours de couplage à des algorithmes de reconstruction géométrique, visant à générer des modèles 3D d'arbre (cf.illustrations).

Ces modèles, dont la précision sera validée à partir de mesures de terrain détaillées, offriront un jeu de données de référence sans précédent pour le développement d'équations volumiques permettant de prédire le volume aérien à des niveaux de découpe variables. Cela aboutira à des tarifs de cubages (des abaques sophistiqués associant les volumes aux mesures terrain) plus complets et précis. Cela permettra d'affiner la mesure du volume de bois en forêt française et sur des compartiments peu voire pas décrits actuellement.

## Le Géocube

Initialement mis au point dans le cadre de la recherche d'instruments de métrologie différentielle précise pour la surveillance d'ouvrages, le Géocube s'est montré également pertinent pour le suivi des déformations du sol : mouvements de glaciers ; glissements de terrain, etc.

L'instrument fonctionne en réseau sans fil, peut accueillir des capteurs externes complémentaires modulaires (chimie ; sismologie...), et est suffisamment économe en énergie pour être alimenté par un petit panneau solaire.

Actuellement, le Géocube est proposé à plusieurs écoles de la région Ile-de-France dans le cadre d'un projet pédagogique transversal d'initiation à la métrologie tourné vers la mesure de la qualité de l'air (projet Géocube à l'école, financement Région Ile-de-France).



## 2 DECRIRE

### Des données socles à l'appui des politiques publiques

Certaines politiques publiques nécessitent des informations de plus en plus détaillées pour être menées. Au niveau national par exemple, la prévention des risques d'inondation demande la réalisation de modèles numériques de terrain plus fins, issus d'acquisitions LIDAR plus denses. Les collectivités territoriales, pour mettre en œuvre leurs propres politiques au niveau local, déploient des moyens de description plus détaillés, notamment pour notamment entretenir leur patrimoine de mobilier urbain. De même, le véhicule autonome nécessite des descriptions très fines et actualisées en temps réel de l'environnement de circulation pour assurer la bonne tenue de sa sécurité en toutes circonstances.

Dans le même temps, en amont, la massification des données d'observation terrestre, aérienne et satellitaire, à la fois en résolution ou densité, mais aussi en fréquence, est une opportunité d'amélioration de l'optimisation des productions et de fourniture de nouveaux services. De nouvelles technologies émergent également et le contexte est propice à leur exploitation.

On s'aperçoit en effet que l'apprentissage profond est très prometteur sur certains sujets, que ce soit pour la classification d'image, de nuages de points 3D, et même de séries temporelles. Dans certains cas, la prise en compte d'a priori temporels dans les phénomènes du monde (rotation triennale des cultures par exemple), permet de rendre plus robustes des analyses automatiques.

Ainsi, un grand nombre de travaux aboutiront à des productions de plus en plus automatiques, fiables et qualifiées. Néanmoins, afin de qualifier les productions des partenaires comme celles de l'IGN, et de préparer de futurs services, le passage à des échelles d'acquisition encore plus résolues est nécessaire. Elles permettront de calibrer les indicateurs de mesure de qualité.



L'IGN poursuivra donc ses travaux pour acquérir des données terrestres de très grande résolution, avec quelques cibles à moyen terme. Pour cela, il mettra en œuvre des méthodes de reconstruction structurée, guidées par des assistants technologiques issus de travaux de recherche.

Enfin, ces reconstructions très poussées serviront à mener des estimations du juste effort en matière de production, afin de répondre à la question, qui constitue un réel défi : quel est le bon niveau de détail et de précision nécessaire pour atteindre un objectif donné, et à quel coût ?

## Une optimisation marquante de la production de données de référence

Pour **optimiser la production** et fournir des informations concernant l'occupation du sol à grande échelle (OCS-GE) de manière plus fréquente, l'IGN met en œuvre des technologies nouvelles qui exploitent des méthodes d'apprentissage profond.

Après avoir mis en place des méthodes issues de la recherche, des expérimentations, et une organisation interne très agile autour du service de l'innovation, l'IGN démarrera la production de quelques départements d'OCS-GE cette année. Les apprentissages ont été menés en utilisant plusieurs couches de données largement accessibles en masse (la BD Topo, l'orthophotographie, le modèle numérique de surface, des images Sentinel).

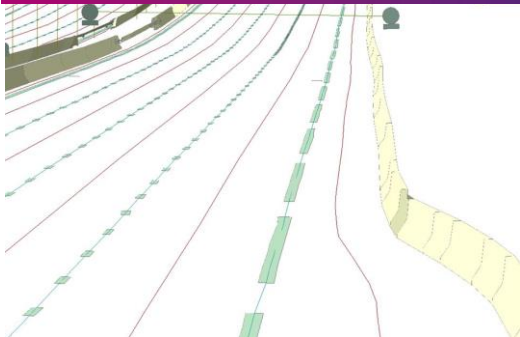
L'illustration présente un prototype d'identification de vignes, à gauche, ainsi que la capacité attendue de ces méthodes à optimiser la production en matière de détection de changement. Ici, à droite, un bâtiment non présent dans la BD Topo® (au centre) est identifié. Cela ouvre des perspectives pour la détection automatique de changements au service des partenaires de l'IGN.





## Soutenir la stratégie du véhicule autonome

Pour contribuer à la sécurité du guidage du **véhicule autonome**, en particulier pour garantir que sa **position** soit bien la bonne, et que ce qu'il perçoit soit cohérent avec ce qu'il devrait percevoir, l'IGN mobilise ses moyens de conduite de projets, d'expertise, de technologies innovantes et de production prototypique. L'illustration présente des données vectorielles 3D très fortement résolues à l'issue d'acquisitions de cartographie mobile couplant imagerie et lidar terrestres. En complément, en milieu urbain, des travaux seront également nécessaires, d'autant que la complexité de l'environnement est supérieure.



## Les technologies d'apprentissage pour la description du territoire



Pour suivre le territoire, des méthodes de classification d'images Sentinel optique sont massivement utilisées.

L'illustration présente une parcelle agricole (A), et une image Sentinel correspondante (B). En cas d'invisibilité optique en raison des nuages (C), l'imagerie par Radar à synthèse d'ouverture (SAR) reste disponible. Des travaux récents visent précisément à prédire les valeurs de l'indicateur d'indice différentiel normalisé de végétation (NDVI), largement utilisé; en cas de couvert nuageux, à partir du radar et de données exogènes, comme le modèle numérique de surface. La cohérence entre les valeurs prédites et réelles laisse penser qu'il sera possible de compléter des lacunes de l'imagerie optique dans des méthodes de classification plus traditionnelles.

## 3

## COMPRENDRE ET ANTICIPER

**L'information géographique au service de la compréhension des dynamiques et de l'anticipation**

Notre société fait face à des enjeux considérables pour progresser vers la soutenabilité et la durabilité. Dans de nombreux domaines, le défi de l'État est de suivre le développement des territoires pour mesurer l'impact des politiques publiques mais aussi d'anticiper les évolutions technologiques, énergétiques, alimentaires, environnementales et sociétales et de prévoir avec de plus en plus d'acuité l'effet des politiques publiques sur ces évolutions.

L'information géographique apporte une description spatio-temporelle du monde qui contribue à la compréhension du présent, à la modélisation du passé, et à l'anticipation des évolutions futures, tout comme la modélisation des phénomènes eux-mêmes peut contribuer à l'amélioration de l'exactitude de la description du monde qu'elle apporte.

Dans ce domaine, qui peut aller jusqu'à la simulation de l'évolution du territoire ou plus généralement de

l'environnement, les enjeux de la recherche pour l'IGN concernent, à court terme, la détection des changements – qui répond aux besoins de nombreux partenaires – et à plus long terme les technologies d'acquisition, de modélisation et de gestion de l'information : numérisation sémantisée des données historiques, représentation de l'incertitude de données très hétérogènes, propagation des incertitudes dans des applications de simulation tierces. Enfin, le couplage entre les données socle et les données des partenaires permettra d'améliorer encore la compréhension du monde qui nous entoure et son évolution. Le couplage entre les informations géographiques et les informations sociologiques, ou démographiques, permettra d'appréhender mieux l'évolution du territoire, en particulier pour imaginer les villes de demain. De la même manière, les informations de l'inventaire forestier seront couplées avec des données de densité du bois, des données de partenaires, pour améliorer la connaissance de la masse du bois et du carbone stocké.

## La géovisualisation au service de la compréhension des outils de simulation

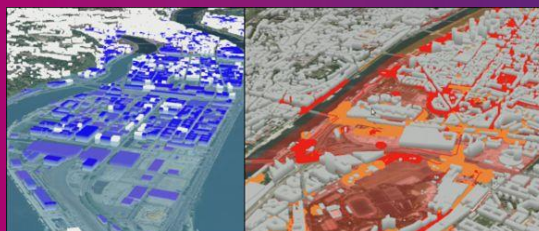


Issue des méthodes de représentation initialement prévues pour la carte, la **géovisualisation** va maintenant très au-delà de la représentation statique de l'existant en 2D. Elle devient un élément essentiel des tableaux de bords de la ville durable et intelligente et nécessite souvent une agrégation et simplification d'informations riches et complexes arrivant parfois en temps réel. En phase de conception des outils de simulation, la géovisualisation doit aussi permettre aux concepteurs d'outils de simulation, et à leur utilisateurs (décideurs, cabinet d'études, etc.) de tester leurs modèles en grandeur réelle, et de comprendre leurs choix, tant dans les paramétrages que dans les données exploitées en entrée. L'illustration ci-dessus, qui exploite des données synthétiques pouvant ressembler à une simulation de propagation de polluants aux alentours de la Défense, présente cette ambition, et montre un cas concret envisagé.



## Des services de simulation pour anticiper

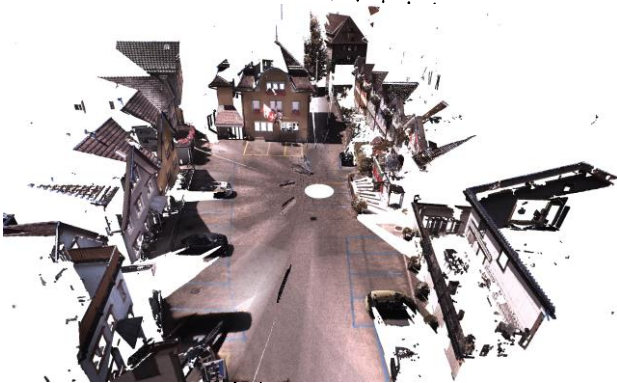
Pour comprendre les règles d'urbanisme, et la façon de les formaliser numériquement, la recherche de l'IGN travaille depuis des années sur cette question. Cela a abouti à plusieurs simulateurs. L'un d'entre eux, dont l'illustration montre les résultats à gauche, permet l'anticipation de constructions et de l'évolution de la morphologie de la ville, en fonction des règles de plan locaux d'urbanisme (PLU) et de schémas de cohérence territoriale (SCOT). Au centre et à droite, la **simulation** d'inondation en territoire dense, est un enjeu de plus en plus important pour sensibiliser les populations aux risques, et préparer au mieux les autorités.



## Les technologies LIDAR

Pour représenter la **Ville** en **3D** avec un fort niveau de détail, l'IGN met en œuvre, entre autres outils, des technologies de numérisation terrestres, mobiles ou fixes, utilisant des Lidar à balayage.

Cette technologie permet l'acquisition de données très résolues, à gauche. Après utilisation de méthodes récentes issues de la recherche, la scène peut être reconstruite géométriquement et sémantisée, à droite. Embarqué dans un véhicule mobile, cette technologie avec nos méthodes de traitements étendus au temps réel permettront, vraisemblablement de comprendre mieux ce que le **véhicule autonome** peut percevoir de son environnement (afin d'adapter la trajectoire de véhicule), et contribuer activement à une amélioration de la localisation du véhicule en se recalant sur une cartographie haute définition de la route et de son environnement immédiat, avec toutes les perspectives imaginables sur cette thématique.





## ORGANISATION ET MOYENS

La **recherche** de l'IGN est organisée suivant les grands domaines que sont l'acquisition, le traitement, la valorisation des données, la géovisualisation, l'inventaire forestier, et la géodésie. Elle se structure pour se rapprocher des standards de fonctionnement de la recherche française, dans une logique de site, qui vise à rapprocher géographiquement les chercheurs d'une même thématique. Le Laboratoire de recherche en géodésie (LAREG) est devenu l'équipe « Géodésie » de l'Unité mixte de recherche (UMR) « Institut de physique du globe de Paris » de l'établissement éponyme (IPGP), de l'Université de Paris. Cette intégration à l'IPGP constitue l'aboutissement de nombreuses années de collaboration scientifique entre géodésiens et géophysiciens, et le point de départ de synergies nouvelles entre les deux disciplines. Le pôle forêt – bois de Nancy accueille le Laboratoire d'inventaire forestier (LIF). Ce pôle est le siège d'intenses collaborations avec l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), et préfigure la constitution du futur Institut de la forêt et du bois.

Dans ce contexte, les travaux de l'inventaire forestier verront leur importance décuplée. Le Laboratoire en sciences et technologies de l'information géographique et forestière (LASTIG) porte la création d'une unité mixte de recherche entre l'IGN, l'Université Gustave Eiffel (UGE), et l'Ecole d'ingénieurs de la ville de Paris (EIVP). Le projet, principalement tourné vers le site de Champs-sur-Marne, vise à renforcer la collaboration entre les sciences de l'information géographique et les autres disciplines, comme la sociologie ou la démographie, au bénéfice d'une meilleure compréhension et anticipations des évolutions. La compréhension des enjeux de la ville du futur, socle thématique de cette université, est en effet fondamentale et la seule représentation spatio-temporelle du territoire ne peut suffire à comprendre les évolutions et à les anticiper. D'autres disciplines, comme les sciences cognitives, sont également nécessaires.

Dans le domaine de **l'innovation**, l'IGN s'est récemment doté d'un service d'innovation à la croisée de la recherche et des développements industriels. Il sera déterminant dans la coopération entre la sphère de la recherche et la sphère des développements industriels au profit de l'optimisation de la production, et de la fourniture de nouveaux services. Ce creuset de nouveaux services qui contribueront à la Géoplateforme à terme, permettra d'accélérer encore l'innovation par la mise à disposition d'environnements de travail agiles, réceptacle de travaux de recherche, facilitant l'accès aux données, au prototypage et à l'industrialisation.



En appui à la stratégie collaborative renforcée de l'IGN, un grand nombre de points mentionnés dans ce schéma directeur trouveront leur place. C'est par exemple le cas de la qualification des données et de la fourniture de services de détection de changement. L'évaluation des données de bout en bout, l'intégration de données la plus automatique possible avec des tiers de confiance, la fourniture de données prototypiques afin de préparer l'appui aux politiques publiques, des composants de géovisualisation qui constitueront à terme une boîte à outil, doivent permettre à l'IGN de répondre de façon plus agile aux enjeux de demain, tout en restant neutre, et bien intégré à la sphère de l'information géographique.

Les ambitions portées par le Schéma directeur de la recherche et des technologies touchent un spectre très vaste que l'Institut ne peut aborder seul. Elles s'appuient donc, en complément du renforcement de logiques de site, sur des réseaux nationaux de **partenaires** dans lequel l'IGN contribue à la fois à alimenter les questionnements scientifiques et à proposer des débouchés applicatifs. Il s'agit en premier lieu d'établissements publics porteurs d'une activité de recherche dans des domaines essentiels pour l'information géographique. Le Centre national d'étude spatial (CNES) et les Observatoires sont ainsi des partenaires essentiels pour la géodésie. Le Service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM) contribue aux objectifs de recherche qui concernent le littoral et la modélisation des notions spatiales. Le centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA) est un interlocuteur majeur sur les questions d'aménagement du territoire et de risques. Le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) est un partenaire important dans le domaine de la cartographie à très haute résolution. Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) et MétéoFrance sont des partenaires étroits dès lors qu'une interface entre la représentation de l'environnement et, respectivement, le sous-sol ou l'atmosphère entre en jeu. L'INRAE, mentionné plus haut, est notre partenaire majeur dans le domaine de l'inventaire forestier. L'activité scientifique et technique de l'IGN s'appuie enfin également sur les

grands organismes de recherche - notamment l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (INRIA) et le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) - et sur les laboratoires de recherche de plusieurs grandes écoles et établissements de formation. Cet ancrage national est complété, en Europe, par un appui sur des réseaux de collaborations thématique : le réseau des agences nationales de cartographie EuroSDR, le réseau permanent EUREF (European reference) pour la géodésie. A l'international des partenariats sont construits au travers de la participation de l'IGN à trois associations scientifiques : l'association internationale de géodésie, l'association internationale de photogrammétrie et de télédétection, et l'association internationale de cartographie.

