

Feuille de Route Technologique 2025-2035

Détection de changements IGN

Dans le cadre de ses missions, l'IGN produit et met à jour de nombreuses bases de données au bénéfice des politiques publiques nationales et de partenaires territoriaux. Dans le cadre de leur mise à jour, la détection de changements est au cœur des activités de l'Institut depuis des décennies. L'automatisation des processus a démarré depuis quelques années et, aujourd'hui, l'augmentation des sources et moyens d'acquisition et les avancées des techniques de détection automatique de changements apportent de nouvelles opportunités. **L'Institut a déjà initié plusieurs travaux d'innovation et d'industrialisation sur la détection de changements** et porté de nombreux projets de recherche sur le sujet. **Il souhaite poursuivre son effort sur ce sujet pour améliorer l'actualité de ses bases topographiques et thématiques ainsi que pour cartographier des phénomènes identifiables par un changement.** Ces technologies permettront également de passer d'une description d'états millésimés du territoire au suivi de son évolution et tendre vers une « cartographie en continu » du territoire.

Dans cette optique, l'Institut a décidé de se doter d'une feuille de route technologique sur la « Détection de changements » pour la période 2025-2035. Celle-ci fournit une vision globale, des objectifs et identifie les méthodes, les techniques, les organisations, les développements et les projets de recherche et d'innovation à mettre en œuvre. Cette feuille de route est un document vivant qui sera réajusté en fonction de l'avancée des travaux et des progrès scientifiques.

Nota : le sujet de la numérisation automatique est une source importante de gain de temps de production mais est en dehors du périmètre de cette feuille de route et traité par ailleurs au sein de l'Institut.

I. Quelques définitions :

On définit par changement toute évolution significative du territoire entre deux dates données, d'après les spécifications d'un ou de plusieurs référentiels donnés et au regard d'un état initial. Un changement est également une évolution significative d'un objet ou d'un groupe d'objet par rapport à un comportement défini comme normal au sens statistique de ce terme.

La définition d'un changement est ainsi dépendante de la représentation du territoire que l'on a adoptée, correspondant à une évolution du terrain nominal. De ce fait, **il n'existe pas de changement ni de méthode générique ou absolue à proprement parler.**

On définit comme « méthodes automatiques de détection de changements », l'ensemble des méthodes informatiques qui permettent de détecter, sans intervention humaine, une évolution du territoire entre deux dates. Le champ de la détection de changements est vaste et complexe étant donnée la grande variété des données d'entrée (images optiques, RADAR, 3D, textes, séries temporelles, etc.), des types de méthodes (apprentissage automatique, statistiques, méthode à base de règles, simulation, etc. ?) et du type de sorties (alertes ponctuelles, segments, sémantisation) qui existent.

II. Quels défis pour l'IGN ?

En tant qu'établissement public national, l'IGN est confronté à des défis particuliers sur le sujet de la détection de changements :

- **Responsabilité de couvrir plusieurs thèmes au sein d'un même référentiel** : les référentiels de l'IGN portent souvent sur plusieurs thèmes à la fois (bâti, végétation, hydrographie, etc.) et le processus de mise à jour n'est pas complètement segmenté par thème. Or les méthodes actuelles fonctionnent mieux lorsqu'elles sont développées pour un thème spécifique.
- **Obligation de couvrir plusieurs référentiels à des échelles d'observation différentes** : pour un même thème on ne va pas observer les objets du monde réel de la même manière et au même niveau de détail. Par exemple, cartographier les haies et leur évolution requiert le suivi d'objets beaucoup plus fins que la cartographie de l'occupation du sol. Ainsi, chaque référentiel a des spécifications propres et ce qui est un changement pour l'un ne sera pas nécessairement un changement pour un autre.
- **Obligation de couvrir tout le territoire national** : nécessité de mettre en place des méthodes robustes face aux spécificités régionales (en particulier les départements et régions d'outre-mer) mais aussi économes en matière de temps de calcul.

Quelle que soit la méthode envisagée, **la difficulté de la tâche augmente avec les résolutions spatiale et sémantique souhaitées** ainsi qu'avec les différences de caractéristiques entre les sources dont on dérive des données que l'on cherche à comparer. Les défis pour l'Institut sont nombreux, non standards et non triviaux – plusieurs des difficultés dans la conduite de projets opérationnels correspondent à des thématiques de recherche actives en intelligence artificielle, télédétection, statistiques et simulations numériques. **Ces problèmes ont un intérêt d'usage pour l'Institut mais également un intérêt scientifique et technique.**

III. Objectifs généraux à 3, 5 et 10 ans : Une mise en place progressive et ambitieuse de la détection de changements au sein de l'Institut

Au moyen de cette feuille de route, l'Institut se dote d'une vision et d'une trajectoire globale de développement de la détection automatique de changement associées à des objectifs clairs et échelonnés. Cette feuille de route comprend aussi bien des actions court terme que des actions scientifiques et prospectives qui devront donc être initiées suffisamment tôt.

1. Objectifs à 3 ans :

- 1.1. Continuer de développer des produits de détection automatique de changements par comparaison **mono-source** dédiés à la mise à jour des référentiels en exploitant la diversité des sources disponibles (analyse d'images, de séries temporelles, de texte et autres sources de données internes IGN ou issues de partenaires).
- 1.2. Mettre la détection de changements au service de premières productions thématiques identifiées et prioritaires.

2. Objectifs à 5 ans :

- 2.1. Mettre à la disposition des différentes équipes IGN et à des collaborateurs externes des outils adaptés permettant un accès aux différentes sources et signalements¹, ainsi qu'un requêtage et une visualisation facilités.

¹ Information de changement pouvant provenir de différents canaux (partenaires, veille documentaire, relevé terrain, etc).

- 2.2. Mettre en œuvre de nouvelles méthodes automatiques dédiées à la détection de changements multi-sources².
- 2.3. Poursuivre le développement de produits thématiques liés au changement.
- 2.4. Guider les acquisitions et réaliser des mises à jour ciblées grâce à la détection de changements notamment en vue d'améliorer la fréquence de mise à jour.

3. **Objectifs à 10 ans :**

- 3.1. La détection automatique de changement est pleinement industrialisée, en lien avec la numérisation automatique, permettant aux processus de production de s'appuyer complètement sur ces outils et aux techniciens de production de se concentrer sur leurs tâches ayant le plus de valeur ajoutée.
- 3.2. Être capable de mettre en œuvre de nouvelles méthodes de détection automatique de changements à partir de données hétérogènes et sur de la donnée ultra haute résolution spatiale et sémantique.

Ces objectifs s'inscrivent dans un contexte de changement de paradigme pour l'Institut, cartographe de l'anthropocène, qui consiste à suivre les dynamiques des territoires en réalisant des séries temporelles longues de changements, en exploitant pleinement l'historique des données et potentiellement en simulant les changements à venir. En parallèle, des projets de recherche sur les différents verrous technologiques mentionnés seront réalisés par les laboratoires de l'IGN en lien avec ces partenaires scientifiques.

IV. **Préconisations détaillées**

Favoriser la mise en œuvre de la détection de changements au sein des bases internes

Mesure 1. **Aller vers une convergence des définitions des objets des différentes bases de l'Institut**

Travailler sur l'harmonisation des spécifications des référentiels, les processus de production, et l'historisation des données peut faciliter la mise en place de méthodes plus automatiques. Une convergence des définitions des objets représentés en base permettra en effet une mutualisation des détections de changements de ces objets. Cette interopérabilité sera promue dans les évolutions à venir des référentiels internes ainsi qu'à l'externe en travaillant à mettre en place des définitions standardisées.

Mesure 2. **Permettre une meilleure exploitation de l'historique des objets et de leur source d'origine**

Il s'agira de rendre l'historique et les différentiels plus facilement accessibles. Et d'être capable de déterminer ce qui relève d'une évolution du territoire ou non lors d'une modification des bases de données. Les métadonnées doivent être aussi accessibles que les données elles-mêmes pour éviter les ruptures entre états de base et rendre les évolutions des spécifications automatiquement exploitables.

Tirer le meilleur des sources et orienter les chaînes à venir

Mesure 3. **Tirer le meilleur parti de nos sources internes**

L'Institut a une grande maîtrise d'un certain nombre de sources (image optique THRS³ aérienne et spatiale, MNS, LiDAR), qui sont déjà les données d'entrée prioritaires des méthodes de détection automatique de changements mises en place. Des expérimentations sur les différents états de la

² C'est-à-dire l'utilisation conjointe de données issues de différents capteurs et vecteurs d'acquisition.

³ THRS : Très haute résolution < 1m de résolution spatiale, plutôt entre 50 et 10cm pour l'Institut.

donnée THRS ou métrique (orthovraies⁴, images orientées), sur les différentiels MNS et sur la donnée 3D pourront être conduits. A plus long terme, l'objectif est d'être en capacité de définir les prérequis nécessaires pour pouvoir utiliser au mieux les diverses sources et d'orienter les chaînes de production à venir selon les données les plus pertinentes (internes ou externes).

Mesure 4. Intégrer davantage les autres sources géoréférencées disponibles

Il existe d'autres sources (Sentinel-1 & 2, Pléiades Néo, etc.) actuellement utilisées au sein de l'Institut qui permettront d'augmenter la fréquence d'observation et d'apporter un complément d'information. Les travaux de recherche menés au sein de l'Institut montrent que la donnée GNSS est intéressante pour la détection automatique des tracés via des sources d'activités (chemin, routes, fréquentation, etc.) ou le déplacement de repères géodésiques. La donnée vue de rue (Panoramax) peut participer à l'analyse des changements par exemple en milieu urbain. Enfin le Jumeau Numérique de la France et de ses Territoires en tant que produit qui donne accès à un grand nombre de données internes et externes pourrait devenir une plateforme d'échange d'informations de changements.

Mesure 5. Préparer l'avenir : Favoriser l'interopérabilité des sources et maintenir une veille active sur les capteurs à venir

Dans un contexte de diversification des types de capteurs et des vecteurs d'acquisition, il est important pour l'Institut de maintenir une veille active sur les sources à venir et d'étudier leur utilité en matière de détection de changements, de favoriser les sources les plus pérennes et de rendre les processus plus agnostiques à la donnée d'entrée. Dans ce contexte, les phases de prétraitement de la donnée (géoréférencement, normalisation, filtrage, appariement, nettoyage, etc.) sont importantes pour permettre une meilleure détection de changements.

Accélérer et rationaliser la mise à jour des référentiels

La détection de changements est une manière d'accélérer l'investigation⁵. Les techniciens de production pourraient être assistés par des modèles IA traitant de l'image, du LIDAR ou du texte. Ces modèles doivent être capable de filtrer les zones à ne pas aller voir ou de réduire le temps passé sur une zone (en termes d'inspection visuelle ou de lecture de texte).

Mesure 6. Investir massivement dans la maturation de la détection automatique de changements haute résolution pour accélérer l'investigation visuelle

L'analyse d'images est une source d'information importante pour l'Institut. Les méthodes IA (modèle mono-date d'occupation du sol) ont montré des résultats prometteurs sur certaines classes, certaines sont déjà opérationnelles et peuvent encore être améliorées. Il est donc proposé d'investir dans la maturation des méthodes de détection de changements à partir de paires d'images THRS pour la mise à jour des référentiels clés de l'Institut (en matière de ressources humaines et d'annotations). A plus long terme, on vise des méthodes de détection de changements très haute résolution (jusqu'à 5 cm) en multi-thèmes avec comparaison à des bases vectorielles. Le potentiel des méthodes de saisie interactive du changement pour la production de données sera étudié, initiant le sujet de l'apprentissage actif pour la détection de changements.

⁴ Une orthovraie est une image dont les distorsions de perspective créées par les objets tridimensionnels ont été corrigé de manière à être à la vertical de chaque point du terrain.

⁵C'est-à-dire le parcours exhaustif de toute une zone et l'ajout d'alertes sur les zones de changements (basé image ou texte).

Mesure 7. S'emparer du sujet du texte comme source de détection de changements

Les sources textuelles sont le second grand sujet pour accélérer la mise à jour des référentiels. La veille documentaire qui consiste à traiter de nombreuses sources textuelles est une tâche complexe et chronophage. Cependant de premiers travaux ont montré des résultats prometteurs (sur le BOAMP avec des méthodes à base de règle et sur les grands modèles de langues pour le texte libre). Il s'agira de développer, robustifier et d'industrialiser des méthodes pour assister les techniciens de production dans leur traitement de données textuelles. Des projets de recherche sur les grands modèles de langages multimodaux pour le traitement de l'information géographique (raster et vecteur) ainsi que sur le moissonnage de données pourront être traités. L'Institut encouragera le partage standardisé en ligne des documents administratifs issus des différentes collectivités et services de l'Etat pour faciliter leurs traitements.

Mesure 8. Utiliser la détection de changements comme élément de planification des acquisitions

La détection de changements peut permettre de réaliser une mise à jour en continu de la majorité des référentiels de l'Institut avec des sources de données hétérogènes, même moins précises, tout en ayant un système de mise à jour exhaustive régulière tous les X années en fonction du référentiel. Des acquisitions ciblées seront guidées par un score d'évolutivité multi-sources (quantité et impact). Cette logique sera appliquée en priorité aux référentiels raster dont la production est la plus coûteuse (PCRS, Lidar-HD) mais pourra être appliquée plus généralement aux référentiels de l'IGN.

Mesure 9. S'équiper de nouveaux outils bien conçus et adaptés à la détection de changements

Pour que l'Institut puisse s'emparer au mieux de cette thématique et moderniser ses chaînes de production, il sera nécessaire de développer de nouveaux outils pour la mise à jour des référentiels. Notamment pour ce qui facilite l'investigation visuelle pour naviguer au mieux dans les informations multi-sources, l'annotation de données d'entraînement IA, l'appariement de données vecteur et l'agrégation de sources textuelles. Ces outils seront l'opportunité d'industrialiser les résultats de certains travaux de recherche menés au sein de l'Institut, notamment sur l'appariement de données.

Mesure 10. Mettre la détection de changements au cœur des processus de production des référentiels

Il s'agit de prendre en compte dès la spécification des référentiels à venir ou lors de la préfiguration des processus de mises à jour, les opportunités et contraintes de la détection de changement, même si cela n'est pas implémenté dès le début du projet.

Partager l'information de changement en interne pour mutualiser les efforts et fluidifier les échanges entre équipes

Mesure 11. Développer des outils pour partager les informations de changement

L'objectif est de faciliter l'accès aux signalements de changement et différentiels entre millésimes de données entre chaînes de production, de manière à faciliter leur réutilisation. Cet accès sera associé à la possibilité d'accéder aux données sources pour vérification et accompagné d'outils de filtrage (géométrique, sémantique, etc.). A terme, un outil permettant de réaliser des requêtes spatio-temporels pourra être développé et ouvert à l'externe.

Mesure 12. Mettre le sujet de la détection de changements au cœur du collaboratif

Nous préconisons d'utiliser le partage de l'information de changement comme un levier pour contribuer au développement du collaboratif : les partenaires participent à la mise à jour, avec des

outils communs, ce qui facilite l'utilisation du même référentiel que l'IGN. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de favoriser la remontée de signalements externes, l'écriture directe en base, le partage de nos signalements, différentiels ainsi que des spécifications de nos différents produits.

S'appuyer sur la détection de changements pour donner du sens aux évolutions du territoire et renforcer le positionnement de l'IGN dans l'écosystème

Les méthodes de détection de changements peuvent être utilisées pour étudier les évolutions des phénomènes, analyser la trajectoire des objets dans le temps, sémantiser les changements, voire de leur donner une cause. L'Institut peut être un acteur clé du suivi des évolutions du territoire :

- En diffusant auprès des acteurs publics les produits de détection de changements automatique développés ou non par l'IGN :
 - o Un produit levant des alertes de changement unitaire entre une donnée acquise et un état d'un référentiel donné ou une nouvelle acquisition ;
 - o Un produit d'agrégation d'information représentant l'évolutivité d'un territoire.
- En utilisant les méthodes d'analyse des changements pour cartographier des phénomènes thématiques.

Mesure 13. Diffuser des produits de changement et d'évolutivité des territoires

Il s'agira d'étudier l'opportunité de diffuser à l'externe les produits développés pour répondre aux besoins de l'IGN, on pourrait penser à des produits d'évolution ou d'évolutivité basé sur nos bases vecteurs topographiques, d'occupation des sols moyenne résolution mais haute fréquence ou encore à une exploitation de l'orthoimage et MNS historiques pour produire des séries longues et sémantisées de changement jusqu'aux années 50.

Mesure 14. Utiliser la détection de changements comme base à la production de référentiels ou services thématiques

La détection de changements peut également être utilisée pour produire des services thématiques qui nécessitent la dimension temporelle comme l'érosion du trait de côte, l'artificialisation des sols ou la santé des forêts. La priorisation entre ces produits reste à définir avec les commanditaires externes. A long terme, les sujets de la simulation et de la prédiction seront étudiés dans le cadre d'autres projets tel que celui du Jumeau Numérique de la France et de ses Territoires.

Transverse : Assurer la gouvernance et l'animation interne et externe de la feuille de route

Mesure 15. Réaliser une coordination et animation interne et externe

Le pilotage de la feuille de route assurera la coordination interne pour maximiser la mutualisation et favoriser le partage d'informations, de bonnes pratiques, de compétences. L'accompagnement de l'évolution des chaînes de production se fera par une inclusion et une valorisation des missions des techniciens de production (contrôle, suivi qualité, création de données d'entraînement ou d'évaluation, etc.). Une communication externe est également prévue avec la mise en place d'évènements en partenariat avec les acteurs publics et privés travaillant sur ce sujet ainsi que de la publication d'informations sur l'avancement de cette feuille de route.

Mesure 16. Mettre en place un cadre de benchmarks pour l'évaluation des solutions développées en interne ou en externe

Mettre en place un cadre d'évaluation pérenne, adapté aux cas d'usages et aux référentiels de l'Institut, et créer les jeux de données d'évaluation associés permettra de :

- Construire des méthodes robustes sur tout le territoire national, quelles que soient les spécificités régionales ;
- Être en mesure de mesurer quantitativement l'impact sur les chaînes de production des modèles développés en interne ;
- Evaluer les solutions proposées par les partenaires externes ;
- Comparer les différentes méthodes pour maintenir l'équilibre entre résultats et maîtrise des coûts en matière de temps de calcul.

Mesure 17. Continuer et renforcer l'effort de recherche sur le sujet en vue de transfert de technologie

Les principaux enjeux identifiés sont de développer des méthodes automatiques de mise à jour des bases de données vecteur de l'Institut à l'aide d'acquisitions mixées et THRS ainsi que des données 3D et textuelles. Cela implique de développer des jeux de données d'entraînement et des modèles d'apprentissage automatique sur diverses thématiques. Cela sera l'occasion de réaliser des collaborations de recherche académique et de R&D avec l'écosystème français public et industriel. L'Institut peut être un acteur européen de premier plan dans la constitution de benchmarks pour la mise à jour de référentiels nationaux pour les communautés institutionnelle, industrielle et scientifique.

Mesure 18. S'appuyer sur nos partenaires scientifiques pour élargir le champ des technologies déployés par l'Institut

Le domaine de la détection de changements étant vaste, l'IGN devra s'appuyer sur ses partenaires sur certains sujets d'intérêt (traitement de texte, InSAR, apprentissage actif). Ces collaborations pourront être mises en œuvre à travers des thèses ou projets de recherche cofinancés.

Mesure 19. Collaborer avec les partenaires industriels pour le passage à l'échelle

Le sujet de la détection de changements commence à être abordé par les acteurs industriels avec diverses solutions, souvent basées sur de l'imagerie satellite moyenne résolution, pour de la détection de changements d'occupation des sols. Il s'agira donc d'évaluer l'apport de ces services récemment mis sur le marché pour les besoins propres de l'Institut. Il faudra également estimer si des acteurs privés peuvent nous proposer des services qui ont besoin d'être passés à l'échelle pour répondre à nos besoins en termes de mise à jour ou de productions thématiques.

Mesure 20. Ressources humaines à prévoir et compétences à développer

Etant donné la grande diversité de sujets que recouvre la détection de changements, les besoins en ressources humaines sont variés et peuvent concerner de nombreux services de l'Institut. Certaines actions préconisées sont déjà comptées dans le développement de nouveaux produits ou référentiels tandis que d'autres seront intégrées dans la modernisation de ces chaînes de production.