

# CARTOGRAPHIER L'ANTHROPOCÈNE

2024

ATLAS IGN

## À L'ÈRE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE



## **L'intelligence artificielle (IA)**

*est « l'ensemble de théories et de techniques mises en œuvre en vue de réaliser des machines capables de simuler l'intelligence humaine ».* – Source : Larousse

---

# **CARTOGRAPHIER L'ANTHROPOCÈNE**

**2024**

---

ATLAS IGN

# **À L'ÈRE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE**

---

## Éditos

**Stéphanie Schaer,**  
Directrice interministérielle  
du numérique  
**p. 06**

---

**Sébastien Soriano,**  
Directeur général de l'Institut  
national de l'information  
géographique et forestière  
**p. 07**

---

## « CAN MACHINES THINK? \* »

**L'IA fait ses  
premiers pas...**  
**p. 09**

---

**Parlez-vous IA ?**  
**p. 10**

---

**L'IA, un levier  
technologique  
pour répondre  
à des enjeux  
sociétaux,**  
Nicolas Paparoditis  
**p. 11**

---

**Notre objectif est  
de démocratiser  
l'intelligence  
artificielle,**  
Matthieu Porte  
**p. 13**

---

\* « Les machines peuvent-elles penser? »



**CONNAISSANCE  
ET SUIVI DE  
L'ENVIRONNEMENT**  
**P. 14**

1



**GESTION  
DES RISQUES**  
**P. 24**

2



**FORÊT**  
**P. 34**

3



**AGRICULTURE**  
P. 40

4



**URBANISME**  
P. 50

5



**ÉNERGIE**  
P. 62

6

**« WHAT IF  
MACHINES  
COULD DO  
MORE THAN  
THINKING? »**

**Construire un avenir  
(géo)commun,**  
Valentine Bruyère  
et Nicolas Berthelot  
**p. 72**

**Augmenter  
notre puissance  
de calcul,**  
Marouane Zellou  
**p. 74**

**L'IA générative  
au service de nos  
métiers et du savoir,**  
Ruben Grès  
**p. 75**

\*« Et si les machines pouvaient faire  
plus que penser? »

**2042,  
L'ODYSSÉE  
D'ODYSSEUS**  
P. 76

# UNE IA À LA HAUTEUR DE L'IMPACT



L'intelligence artificielle a pris une place d'autant plus importante dans notre quotidien qu'elle est devenue invisible : détection de signaux faibles, reconnaissance d'image, traduction automatique ou suggestion de recherche sont aujourd'hui notre quotidien.

Plus visible, très prometteuse, la dernière génération d'IA « génératives » (ChatGPT...) n'a cependant pas encore pleinement trouvé une utilité en rapport à ses coûts. Après l'engouement, de nombreux analystes financiers viennent rappeler cette réalité : pour qu'une technologie se déploie largement, il faut que son impact soit supérieur à son coût total de possession.

Dans ce moment d'enthousiasme technologique, il est donc important de ne pas céder au solutionnisme : ne pas « déployer de l'IA partout », mais « déployer de l'IA utile ». Cette exigence nous oblige à adopter une approche d'investissement probablement différente de celle pour produire un objet massif, national, dont nous avons pu avoir l'habitude en matière de cartographie. Les méthodes de planification qui ont fait notre succès pour numériser le territoire français ne sont plus adaptées à ces niveaux d'incertitude.

L'IA aura un rôle majeur à jouer dans le monde de la géographie, de la surveillance environnementale à l'urbanisme, en passant par l'agriculture, la prévision des risques ou la gestion de la forêt.

Mais l'incertitude n'est pas que technologique. La réussite auprès d'utilisateurs de jumeaux numériques dopés à l'IA va aussi réclamer des innovations organisationnelles. On ne fabriquera pas un « Wikipédia » du sol et du sous-sol français, sans que toutes nos institutions (IGN, BRGM, Cerema...) et notre société civile (OpenStreetMap, Panoramax, Pyronear, Infoclimat...) ne contribuent à un même gisement de données.

Les jumeaux ne seront donc pas qu'une simple copie numérique du territoire, mais un réseau de communs numériques interopérables qui facilitent la contribution comme la réutilisation de données d'acteurs publics et privés ou bien de la société civile, dans des contextes variés. C'est en attirant sur nos plateformes les réutilisateurs et les innovations, telles que l'intelligence artificielle ou le LiDAR, que se constituera peu à peu une infrastructure de référence de la donnée géographique.

Il n'existe pas de grand plan de cette stratégie, mais cette ambition est celle, historique, de la Géoplateforme. Elle doit désormais devenir une réalité concrète, au sein d'une alliance nouvelle, et avec tout le soutien de la direction interministérielle du numérique pour embrasser cette logique d'investissement à impact. ●

# INVESTIR DANS L'IA POUR ACCÉLÉRER LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE



L'histoire des sciences géographiques est celle d'une aventure technologique. Le sextant et la projection conforme ont rendu possible la banalisation du trafic maritime à l'âge préindustriel. Le développement d'infrastructures de transport et d'énergie au XX<sup>e</sup> siècle doit beaucoup à la cartographie précise des territoires due aux progrès de la géodésie et de la photographie aérienne. Face à l'anthropocène, il est de notre devoir d'inventer désormais les technologies de connaissance qui permettront à l'humanité de corriger ses excès et d'inverser la trajectoire du dérèglement climatique.

Le débat n'est pas l'apport ou non des technologies pour réussir la transition. Prenons pour acquis que celle-ci sera synonyme de sobriété, d'économie circulaire, de souveraineté alimentaire... ou ne sera pas. Ce qu'il nous appartient de construire, ce sont des outils de connaissance de notre environnement qui permettent aux décideurs publics de piloter les choix de société correspondants, et ce en partage avec nos concitoyens qui en seront les premiers acteurs. Le référentiel d'occupation des sols à grande échelle que l'IGN établit avec ses partenaires pour le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires aux fins du suivi du « zéro artificialisation nette » en est un vibrant exemple, de même que l'Observatoire des forêts françaises ou encore le Portail cartographique des énergies renouvelables.

L'IGN investit fortement dans la technologie pour relever ce défi. Dans le LiDAR, le new space, le cloud... pour multiplier les sources de données et la capacité à les exploiter. Et plus encore dans l'IA, grâce à laquelle on peut croiser et traiter les données à une vitesse et dans des proportions inégalées. Grâce à laquelle demain on pourra simuler des scénarios dans de véritables jumeaux numériques donnant à voir des avenir possibles de nos territoires en fonction de nos choix d'aujourd'hui. L'IGN investit aussi dans les compétences d'avenir avec son école l'ENSG-Géomatique, qui donne plus de place à la data et à l'IA, ainsi que l'expansion du corps des ingénieurs des sciences géographiques et du numérique. Cet Atlas en offre l'illustration, avec de nombreuses applications au service des politiques publiques et des territoires, qu'elles soient appliquées par l'IGN, ses partenaires publics ou privés, particulièrement les start-up du réseau Datalliance qui sont mises à l'honneur.

Réussir la transition n'a pas de prix mais la technologie, elle, a un coût. Si l'IGN peut répondre présent, c'est grâce à la confiance de ses tutelles et partenaires, grâce à la mobilisation de ses équipes, grâce à tous les innovateurs avec lesquels l'Institut coopère. Cet Atlas est l'occasion de tous les saluer et d'appeler à prolonger la mobilisation collective au service des générations futures. ●

# « CAN MACHINES THINK? »\*

Lorsqu'en 1950 Alan Turing pose la question « les machines peuvent-elles penser? », se doute-t-il que l'intelligence artificielle (IA), dont il sera l'un des pères fondateurs, nous permettra de remonter le temps en retraçant l'évolution de l'occupation des sols? Imagine-t-il que l'IA permettra de suivre le changement climatique, de modéliser les risques et donc de mieux les anticiper? L'IA contribue aujourd'hui à éclairer les décideurs publics dans la transition écologique et offre de nouvelles perspectives d'exploration et d'innovation. Mais pour les comprendre, il est primordial d'en connaître un peu plus sur elle et de commencer par faire les présentations. →

\* « Les machines peuvent-elles penser? » – Alan Mathison Turing – “Computing Machinery and Intelligence” – *Mind*, octobre 1950



## L'IA FAIT SES PREMIERS PAS...

# 1950

« **IMITATION GAME** » • Le mathématicien britannique Alan Turing publie « Computing Machinery and Intelligence » dans la revue *Mind*. Il y théorise ce qui sera plus connu sous le nom de « test de Turing » ou « Imitation Game » : la capacité d'une machine à faire illusion lors d'une conversation à distance, en se rendant indiscernable d'un humain.

# 1956

« **FÉLICITATIONS, C'EST UNE IA!** » • Considérée comme l'année de naissance officielle de l'IA comme discipline scientifique lors de la conférence de Dartmouth qui lui est consacrée. Financée par la fondation Rockefeller à hauteur de 7 500 dollars, cette conférence rassemblera une vingtaine de participants.

# 1957

**PREMIÈRE MACHINE APPRENANTE, LE « PERCEPTRON »** • Considérée comme l'ancêtre du Machine Learning, elle parvient à reconnaître une lettre de l'alphabet.

## L'IA JOUE LE JEU

# 1997

**UNE PARTIE D'ÉCHECS EN 19 COUPS** • Garry Kasparov, champion du monde d'échecs, est battu en 19 coups par « Deep Blue », l'ordinateur d'IBM, au terme d'une sixième partie (deux parties gagnées chacun, trois nulles). Un statisticien démontrera plus tard que la victoire était en partie due à un bug...

# 2011

**VU À LA TÉLÉ!** • Watson, une IA développée par IBM, remporte le jeu télévisé « Jeopardy! ».

# 2016

**ET LE CHAMPION EST : DEEP LEARNING!**  
AlphaGo, un logiciel de Google, bat Lee Sedol, le champion du monde du jeu de go (quatre victoires contre 1).

## UNE (R)ÉVOLUTION

En vingt ans, tout s'est accéléré du point de vue technologique (open data, réseaux de neurones artificiels, LLM). Et le lancement des robots conversationnels a encore rebattu les cartes. Voilà des outils – à l'instar de ChatGPT – qui conquièrent des utilisateurs plus vite que n'importe quels autres et se perfectionnent à chaque nouvelle version. La question est dès lors la suivante : quel niveau de perfection ou de fiabilité atteindront-ils ?

# 560

**c'est le nombre de start-up consacrées à l'IA en France dont 16 licornes\* en 2023.**  
\* Start-up évaluée à plus d'un milliard de dollars.

# 7<sup>e</sup>

**c'est le rang mondial de la France en matière de publications dans le cadre des conférences scientifiques sur l'IA en 2023.**

Source : Intelligence artificielle en France : un écosystème d'excellence - [entreprise.gouv.fr](https://entreprise.gouv.fr)

## IA GÉNÉRATIVE

Catégorie d'IA qui se concentre sur la création autonome de contenu, tel que des textes, des images, des vidéos, des sons et d'autres types de données, par des systèmes informatiques.

### **Mais encore ?**

Ces systèmes utilisent des modèles avancés d'apprentissage automatique pour générer du contenu qui peut ressembler à ce qui est créé par des êtres humains.

Source : Grande École du Numérique

# PARLEZ-VOUS IA ?

## « MACHINE LEARNING »\* (ML)

Processus par lequel un algorithme évalue et améliore ses performances sans l'intervention d'un programmeur, en répétant son exécution sur des jeux de données jusqu'à obtenir, de manière régulière, des résultats pertinents.

### **Mais encore ?**

L'apprentissage automatique est fréquemment utilisé pour le traitement du langage naturel et la vision par ordinateur, ou pour effectuer des diagnostics et des prévisions.

\*Traduction : apprentissage machine ou apprentissage automatique - source : ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche

## « RÉSEAU DE NEURONES »

Ensemble de neurones artificiels interconnectés qui constitue une architecture de calcul.

### **Mais encore ?**

Un neurone artificiel est un dispositif à plusieurs entrées et une sortie, qui simule certaines propriétés du neurone biologique.

Source : ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche

## « LARGE LANGUAGE MODELS » (LLM)

Ce sont des modèles d'apprentissage automatique capables de comprendre et de générer des textes en langage humain. Ils fonctionnent en analysant des ensembles de données linguistiques massives.

### **Mais encore ?**

C'est un programme informatique qui a reçu suffisamment d'exemples pour être capable de reconnaître et d'interpréter le langage humain ou d'autres types de données complexes. L'une des utilisations les plus connues est leur application en IA générative, mais ils peuvent également être utilisés pour la recherche sur l'ADN ou le service à la clientèle.

\*Traduction : grands modèles de langage - source : Cloudflare

## « DEEP LEARNING »\* (DL)

Apprentissage automatique qui utilise un réseau de neurones artificiels composé d'un grand nombre de couches dont chacune correspond à un niveau croissant de complexité dans le traitement et l'interprétation des données.

### **Mais encore ?**

L'apprentissage profond est notamment utilisé dans la détection automatique d'objets au sein d'images et dans la traduction automatique.

\*Traduction : apprentissage profond - source : ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche

## « MODÈLE DE FONDATION »

Modèle de Machine Learning formé sur un large éventail de données généralisées et non étiquetées et capables d'effectuer des tâches très variées : compréhension du langage, génération de textes ou d'images, conversation en langage naturel...

### **Mais encore ?**

Ils sont caractérisés par leur adaptabilité (effectuer des tâches disparates) et leur haut degré de précision en fonction des instructions de saisie.

# L'IA, UN LEVIER TECHNOLOGIQUE POUR RÉPONDRE À DES ENJEUX SOCIÉTAUX

## VU PAR...



**NICOLAS PAPANODITIS,**  
Directeur général adjoint (IGN)

Si l'IA est depuis longtemps intégrée dans les méthodes d'observation et de modélisation du territoire, l'arrivée des technologies de Machine Learning, Deep Learning et d'IA générative permet d'accélérer sa cartographie à partir de données de télédétection. Pour le Directeur général adjoint de l'IGN, Nicolas Paparoditis, cette accélération est indispensable pour éclairer les politiques publiques dans un contexte de transition écologique et de transformation rapide des territoires. Il nous explique comment l'IA est aujourd'hui centrale dans les projets de l'institut cartographe, acteur technologique innovant.

Pour outiller la puissance publique et l'aider à piloter la transition écologique, l'IGN s'est fixé comme ambition de donner à voir les transformations de notre territoire et de l'environnement. Cette entreprise exigeante, qui implique de produire et de diffuser quasiment en continu les données de description du territoire et de ses évolutions, soulève des défis majeurs. Pour y répondre, l'IGN déploie au quotidien un puissant bouquet technologique permettant d'acquérir et de croiser données satellitaires et aériennes, acquises depuis le sol, et données collaboratives. L'IA, déployée massivement dans nos projets, en est une pièce maîtresse.

Le numérique et l'IA ne sont pas des sujets nouveaux pour l'IGN. Ils se sont imposés très tôt dans l'automatisation d'un certain nombre de pratiques et de processus. L'Institut a toujours exercé un rôle de leadership technologique dans les métiers de l'imagerie numérique aéroportée et du traitement de l'imagerie 3D. Nous étions, par exemple, dès la fin des années 90, les constructeurs et les utilisateurs des premières caméras numériques aériennes au monde, qui amélioraient grandement la qualité des images et rendaient possible, entre autres, la reconstruction automatique de modèles numériques de surfaces. Nos innovations ont d'ailleurs poussé

les industriels de l'époque à accélérer le développement de leurs systèmes de prise de vues numérique aéroportés.

### **PLUS DE DONNÉES, PLUS DE CAPACITÉ DE CALCUL ET PLUS DE PARTENARIATS**

Aujourd'hui, l'augmentation exponentielle du volume et de la fréquence de données couplées à l'essor du Machine Learning et du Deep Learning constitue une rupture, voire une révolution technologique, pour l'automatisation de l'extraction de l'information et la mise à jour des données descriptives du territoire. Celle-ci révèle aussi une des exigences des techniques d'apprentissage automatique : le fait d'être capable de combiner un volume très conséquent de données d'apprentissage à une colossale puissance de calcul machine. C'est à ces deux conditions seulement qu'une IA à base de réseaux neuronaux

peut se déployer, ce qui en a longtemps limité la capacité. C'est donc à ce double enjeu que nous travaillons.

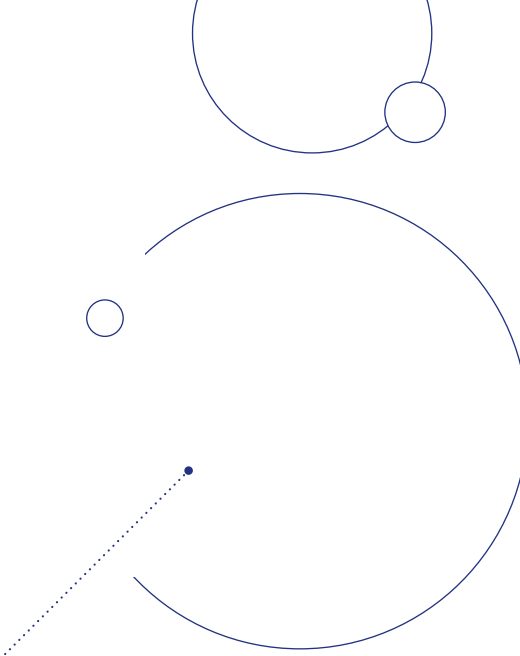
Par ailleurs, l'ampleur de la planification écologique et la multiplicité des acteurs, qu'ils soient publics ou privés, produisant de l'information géographique, disposant de technologies innovantes ou d'une expertise métier sur la data territoriale, nécessitent un incontournable travail en commun, en réseau et d'animation de communautés. Une véritable transformation culturelle pour l'Institut, qui a longtemps fait cavalier seul.

### **OUVRIR LES JEUX DE DONNÉES ET LES ALGORITHMES POUR FAVORISER LA COLLABORATION**

Si cette dimension partenariale est assez naturelle du côté de la recherche française et de l'IGN, rompue à l'OpenScience et aux projets partenariaux, elle est plus novatrice dans le domaine de la production de données. Le bénéfice de l'OpenScience et du parangonnage pour la production

# 3

L'IGN publie l'un des trois plus riches jeux de données ouverts pour l'occupation des sols au monde.



de données s'est imposé depuis que l'Institut a ouvert ses jeux de données, ses données d'apprentissage et ses codes algorithmiques d'IA permettant de les exploiter. Le défi FLAIR constitue un excellent exemple de ce que la collaboration ouverte peut apporter. En mettant des acteurs de l'innovation et de la recherche en saine compétition autour d'un jeu de données massif, ce défi permet d'explorer des solutions inédites et de challenger nos codes algorithmiques pour les faire évoluer de manière agile. Le défi FLAIR #2, c'est 152 acteurs inscrits pour 1045 projets soumis durant l'année 2023! L'IGN a la volonté de rassembler tous les acteurs concernés et compétents pour « craquer » les problèmes qui se posent de manière collective.

### **FACILITER L'USAGE DE LA DONNÉE ET LA RAPPROCHER DE L'AIDE À LA DÉCISION**

Nous avons donc une fonction de structuration des communautés et d'aide – à travers nos plateformes, outils, services et dispositifs d'innovation – au développement de la filière de l'information géographique de celles qui utilisent les données géographiques. Ce que nous cherchons à faire, c'est faciliter l'accès et l'utilisation de la donnée géographique, par son rapprochement avec les outils d'aide à la décision et d'appui aux politiques publiques. Et créer ainsi un terreau fertile pour le développement de solutions innovantes sur la base de données d'autorité et souveraines. À ce titre, l'IA ne constitue pas une fin en soi, mais bien un levier technologique permettant de répondre à des enjeux sociétaux, aux besoins actuels et futurs des usagers, notamment par le développement d'applications nouvelles.

### **IA GÉNÉRATIVE ET JUMEAU NUMÉRIQUE : LA DONNÉE VISIONNAIRE**

C'est particulièrement vrai pour le projet de jumeau numérique de la France et de ses territoires (*lire p. 64*) qui a la capacité à structurer un très large écosystème, à regrouper un très grand nombre de métiers et d'acteurs publics et privés, pour éclairer l'aide à la décision sur l'évolution du territoire.

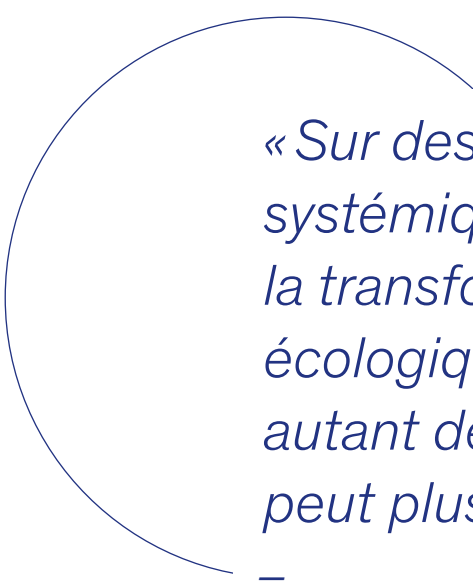
Ce jumeau plateforme, dont le cœur sera totalement ouvert et développé selon les standards de l'OpenScience et qui s'appuiera sur une « copie numérique » à très grande échelle de tout le territoire national, doit être une place de marché pour les acteurs de l'écosystème géographique, en leur donnant accès à des données, à des algorithmes de simulation et à une mécanique de couplage de simulations permettant de développer leurs propres solutions, ouvertes ou propriétaires. Mais il doit également être une place de science, où les chercheurs pourront déposer et référencer, en toute confiance, leurs algorithmes et leurs modèles, les tester et les faire mûrir pour les passer à l'échelle sur l'ensemble du territoire national.

C'est un projet tout à fait particulier en matière d'IA. D'une part, parce qu'il s'appuie en amont sur des données descriptives du territoire qui ont été fabriquées grâce à l'IA et que l'IA permettra, en aval, la modélisation du comportement du territoire selon des scénarios qu'on lui soumet, en tirant parti, notamment, des données du passé. D'autre part,

parce que l'émergence LLM (large language models) et le traitement automatisé du langage naturel permettront à n'importe quel usager non spécialiste d'explorer facilement, avec ses propres questions, les millefeuilles de données et leurs potentialités. L'IA facilitera ici grandement l'interaction entre l'humain et la machine.

### **METTRE EN COMMUN LES DONNÉES À L'ÉCHELLE EUROPÉENNE**

Les sujets d'interopérabilité et d'harmonisation des données sont essentiels pour l'ensemble de ces projets, qui demandent de croiser, voire d'intégrer, un grand nombre de données venant de différents partenaires. Ces sujets sont bien sûr nationaux mais aussi internationaux. Au sein d'EuroGeographics, l'association qui regroupe les agences cartographiques et cadastrales de l'Europe géographique, l'IGN coordonne la construction d'une infrastructure de données d'autorité, harmonisée et continue à travers l'Europe regroupant actuellement plusieurs thèmes comme les frontières, le cadastre, la toponymie, les bâtiments et le réseau de transport routier. Ces données, que la Commission européenne appelle des « high-value datasets », permettront d'appuyer les politiques publiques européennes mais aussi nationales dans le cadre de projets transfrontaliers. Un nécessaire élargissement de la mission nationale de l'IGN en restant fidèle à son rôle de leader technologique attentif aux défis et aux enjeux nationaux, européens et internationaux. ●



*« Sur des sujets aussi systémiques que la transformation écologique, mobilisant autant de données, on ne peut plus travailler seul. »*

# NOTRE OBJECTIF EST DE DÉMOCRATISER L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

## VU PAR...



**MATTHIEU PORTE,**  
Coordinateur des activités IA (IGN)

Coordinateur des activités IA à l'IGN, Matthieu Porte fait le point sur le déploiement de cette technologie au sein des projets menés par l'Institut et ses partenaires.

Institut pionnier dans le recours à l'intelligence artificielle, l'IGN l'utilise beaucoup plus largement depuis quelques années pour remplir l'une de ses missions premières : l'observation du territoire en continu. Pour organiser ce déploiement, et que celui-ci fasse sens, une feuille de route a été adoptée en 2022 avec une ligne directrice : la démocratisation de l'intelligence artificielle au sein de l'Institut et de la société. À l'opposé d'une logique 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 tout en assurant une indispensable réflexion collective sur cette technologie et ses usages, pour prendre en compte les considérations sociales et environnementales.

### DES JEUX DE DONNÉES DE QUALITÉ

Deux ans après, plusieurs jalons importants ont été franchis. Le succès de différents grands projets (OCS GE, LiDAR HD, CarHAb, entre autres, à découvrir dans cet Atlas) a confirmé, s'il le fallait, l'intérêt de l'IA pour l'accomplissement de nos missions. Grâce à un ambitieux plan de recrutement, nous comptons désormais, en plus des chercheurs ayant pris le virage de l'IA depuis plus de dix ans, 30 agents spécialistes de l'IA dans nos équipes opérationnelles. Enfin, une dynamique collaborative et vertueuse a été lancée avec nos partenaires et l'écosystème IA dans une démarche de construction commune. L'IGN, grand opérateur data de la Nation, a la volonté de partager l'un de ses atouts maîtres :

*« Une dynamique collaborative et vertueuse a été lancée avec nos partenaires et l'écosystème IA. »*

la production de jeux de données massifs, diversifiés et de qualité. Avec 2 milliards de pixels, 980 kilomètres carrés d'images annotées pour en décrire l'occupation des sols, le jeu de données ouvertes FLAIR était, par exemple, à sa publication l'un des trois plus riches du monde avec DeepGlobe (Facebook, MIT) et LoveDA (université de Wuhan, en Chine) ! Les challenges organisés autour de ces données ont suscité un vif intérêt de la communauté. De même, avec 135 000 images LiDAR de 50 par 50 mètre, couvrant 449 forêts de 40 départements, le dataset PureForest est le plus grand jeu de données LiDAR à l'international sur les essences forestières. Ces volumes importants de données de qualité collectées font de l'Institut l'un des grands pourvoyeurs de données d'apprentissage pour l'IA. Or, l'on sait à quel point ce volume est important pour entraîner un modèle...

### LES DÉFIS DE LA RÉVOLUTION IA

Aujourd'hui, c'est une nouvelle phase qui s'ouvre à l'Institut, avec un passage à l'échelle des différentes actions IA. Les enjeux sont immenses. Cette révolution technologique que nous vivons actuellement est une chance, si elle n'est pas dévoyée, pour relever les défis posés par les bouleversements écologiques. Elle nous aide déjà, et ce n'est qu'un début, à outiller la puissance publique pour comprendre les évolutions du territoire et agir en conséquence. Il s'agit aussi de garantir la souveraineté française et européenne en matière d'IA, en poursuivant la production d'actifs technologiques, et en contribuant au développement d'une approche réfléchie de l'IA, tenant compte des enjeux de frugalité notamment, au bénéfice de la transition écologique. ●



1

# CONNAISSANCE ET SUIVI DE L'ENVIRONNEMENT

En connectant les sujets des milieux et habitats naturels, d'espèces, d'aménagement du territoire, de pollutions et de pressions sur l'environnement, la connaissance d'un environnement convoque assez logiquement celui de la complexité. On touche ici à des domaines multidimensionnels, systémiques et évolutifs pour lesquels croiser différentes sources de données et avoir la capacité de suivre leurs évolutions se révèlent nécessaires. Autant dire des domaines où l'intelligence artificielle excelle. Au-delà de la protection de l'environnement, il s'agit ici de comprendre les phénomènes en jeu pour tirer les conséquences d'une intervention humaine sur son milieu. Il est aujourd'hui possible d'observer les conséquences de certains choix, mais aussi de bâtir des modèles permettant d'en tirer des projections par simulation. Cette compréhension est essentielle lorsque l'on cherche, par exemple, à reboiser une parcelle, à implanter un champ d'éoliennes, à modifier un plan local d'urbanisme ou à élever un bâtiment sur un espace agricole. ➔

# LA TRANSFORMATION ENVIRONNEMENTALE SOUS HAUTE SURVEILLANCE DE L'IA

Avec la participation de Frank Fuchs, Chef du département d'appui à l'innovation à l'IGN, et Caroline Joigneau-Guesnon, Chargée des relations partenariales et institutionnelles Biodiversité à l'IGN

**Difficile d'appréhender le sujet de la connaissance de notre environnement autrement que sous l'angle de la temporalité. Car nos environnements bougent, interagissent et se transforment... La mesure de ces évolutions de plus en plus rapides nécessite de collecter un nombre très important d'informations, mais aussi de les interpréter dans des temps toujours plus courts. L'IA aide, ici, à mieux comprendre les phénomènes en jeu et à éclairer les décideurs dans leurs choix.**

Connaître notre territoire et notre environnement : voici un préalable incontournable pour qui souhaite se pencher sur les mécanismes de l'anthropocène. Le défi est grand : il s'agit bien sûr d'observer les caractéristiques d'un territoire, mais aussi de parvenir à en détecter les phénomènes de transformation qui sont en jeu actuellement, et dont certains s'avèrent extrêmement rapides.

## LE DOUBLE APPORT DU DEEP LEARNING

Dans cette entreprise, l'IA – et plus précisément le Deep Learning – joue aujourd'hui un rôle décisif. Un projet emblématique porté par l'IGN en offre une illustration éclairante : l'OCS GE (Occupation du sol à grande échelle). Ce projet a pour but de mesurer l'artificialisation du territoire. Il s'appuie pour cela sur des données « socles » issues de prises de vues aériennes. Un modèle de Deep Learning permet ensuite de classer de manière automatique les zones selon la nature de leur couverture (bâti, terres agricoles, routes, forêts, ...). Ce résultat est alors

croisé avec d'autres données, comme les fichiers fonciers transmis par le Cerema. L'OCS GE fait l'objet de mises à jour tous les trois ans, en ciblant les zones à modifier grâce, d'une part, à de nouvelles connaissances issues du terrain, d'autre part, à la détection de changements intervenus depuis le millésime antérieur. Cette détection est menée par des méthodes traditionnelles et par IA. Un défi important est d'identifier les zones dites de « non-changement ». On estime en effet que le taux de changement est sur ce laps de temps de l'ordre de 1% de la surface du territoire : inutile de tout refaire à chaque fois ! L'identification du non-changement, problématique très générale, quel que soit le produit, est l'objet d'expérimentations nombreuses, majoritairement menées avec le Deep Learning. Dans cet exemple comme dans d'autres, l'IA est donc doublement à l'œuvre : d'abord, en fusionnant des données issues de sources hétérogènes, aux caractéristiques et aux échelles différentes, ensuite,

en traitant et en interprétant des volumes exceptionnels d'informations.

## VERS UNE CONNAISSANCE BEAUCOUP PLUS FINE

Temporalité encore, le principe même du Machine Learning repose sur la capacité des IA d'apprendre dans la durée. Chaque millésime apporte donc des mises à jour permettant d'affiner les informations et la connaissance du terrain et de mieux comprendre les interactions qui existent entre les milieux. Une connaissance par itération, pour laquelle la qualité de la donnée initiale reste la condition de la qualité des résultats produits par la machine. Sans information valable, il n'y a pas de résultats probants. La précision des données, croisée avec une augmentation du volume d'informations récoltées lors de relevés de terrain plus fréquents, ouvre tout un champ à une observation et à une connaissance plus fine du territoire, permettant d'éclairer la décision publique comme le démontrent les exemples de projets déployés dans les pages suivantes. ●



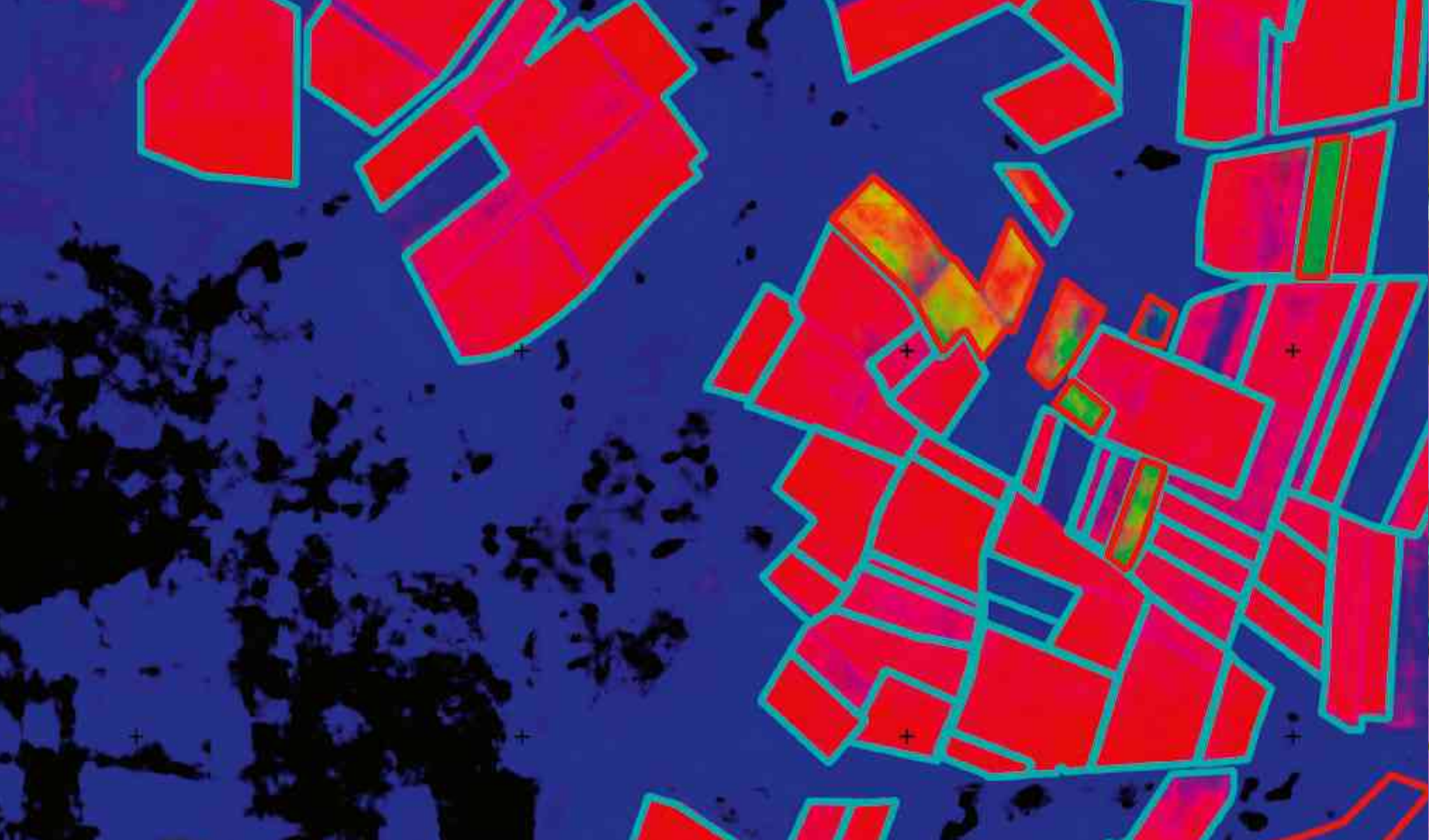
**TL; DR/Too long; didn't read**

## Nous avons demandé au chat de Mistral de synthétiser cet article.

L'environnement, sujet complexe et évolutif, nécessite une évaluation approfondie de l'impact des actions humaines. L'IA, grâce

au Deep Learning, joue un rôle clé dans l'analyse et l'interprétation rapide des données collectées. Elle permet de suivre les transformations territoriales, de comprendre les phénomènes en jeu et d'aider les décideurs. L'IA est déployée dans des initiatives telles que l'OCS GE de l'IGN, qui permet d'évaluer l'artificialisation des terres en catégorisant les zones selon leur

occupation. L'IA traite et combine des données massives et variées, tout en repérant les zones stables pour une actualisation sélective. Cette approche optimise l'efficacité des mises à jour. La qualité des données initiales est cruciale pour des résultats probants, une connaissance plus fine du territoire améliore les décisions publiques.



**CARTE DE CHALEUR ISSUE  
DU PROCESSUS DEEP LEARNING  
DU PROJET GEO-K-PHYTO ET  
ANALYSE DES RÉSULTATS  
AVEC LES VÉRITÉS TERRAIN**  
LIEU : CHARENTE-MARITIME (17)  
Date : 2021 (prise de vues)

Ces deux cartes illustrent le processus de détection des vignes et des vergers dans le cadre du projet GEO-K-PHYTO. Sur celle du haut, le Deep Learning a permis une première reconnaissance des terrains; plus l'intensité du pixel de couleur est importante, plus la détection semble sûre. Afin d'apprécier la justesse des détections obtenues, une comparaison est réalisée à partir d'une interprétation exhaustive de chaque image par des experts humains (carte du bas). Restent juste à la fin quelques zones non identifiées que seul l'œil humain permettra de déterminer. ●

**Vérité terrain**

■ Verger ■ Vigne

**Inférences**

Palette de couleurs des probabilités

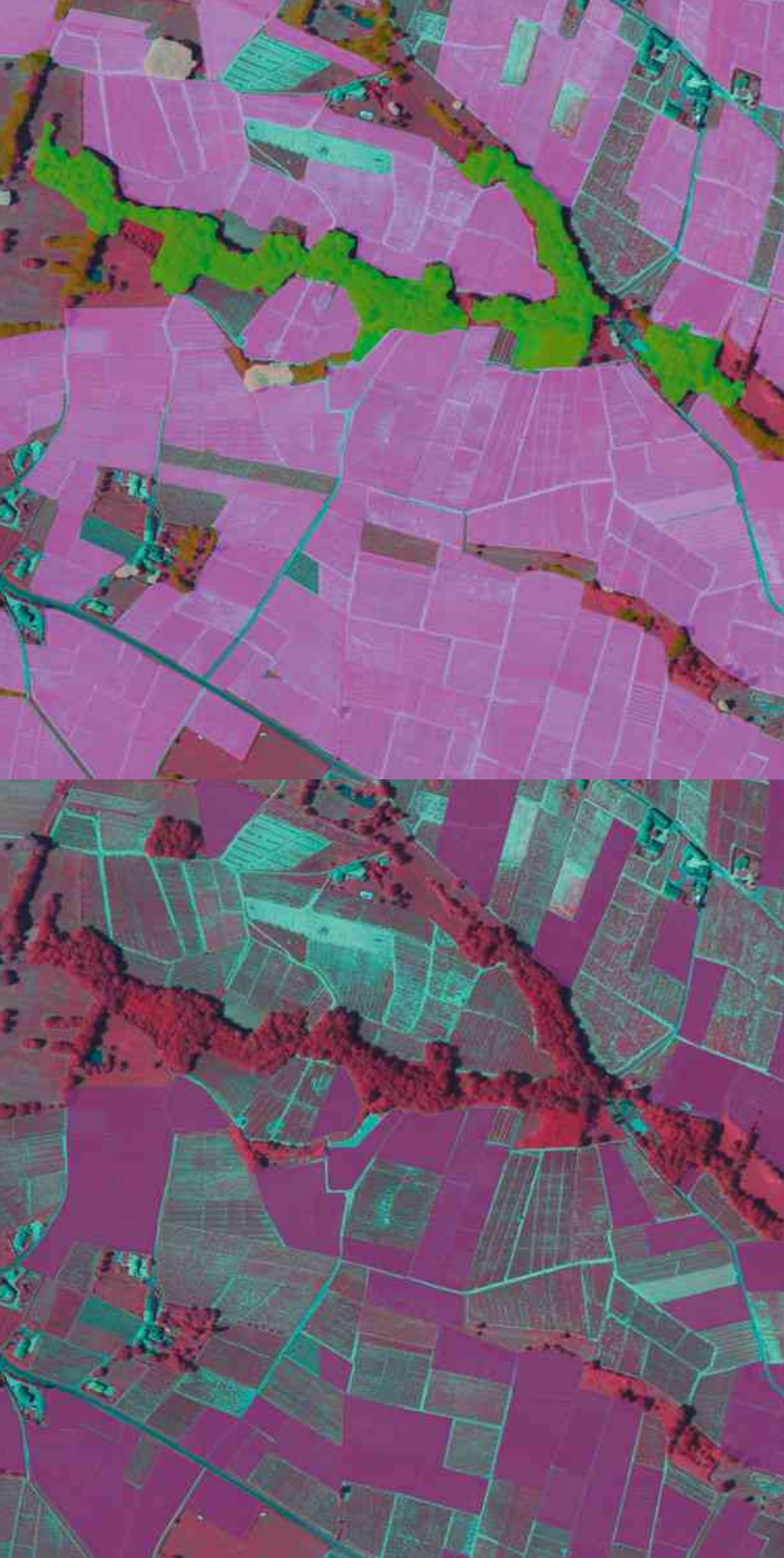
■ Vigne ■ Verger

**Parcelles**

■ Verger ■ Vigne

Orthophotographie à 20 cm





## LE PROJET GEO-K-PHYTO

par Marie Gombert,  
Cheffe du département  
données et produits à l'IGN ↓

Commencé en 2020 pour une durée de trois ans, le projet GEO-K-PHYTO vise à mettre en place un dispositif de surveillance épidémiologique des cancers en lien avec les expositions environnementales aux produits phytopharmaceutiques agricoles. Concrètement, il s'agit de générer des données géographiques exhaustives sur les vignes et vergers de façon régulière sur la France entière.

À cette fin, un modèle de détection de vignes et de vergers a été entraîné sur des exemples d'images sélectionnées sur l'Hexagone à partir de la BD ORTHO® infrarouge couleur à 20 centimètres. Il a ensuite été appliqué sur différentes régions et paysages, dans le but d'apprécier sa capacité à généraliser à l'ensemble du territoire national les résultats obtenus sur un premier groupe de départements. L'IA a démontré sur ce sujet sa capacité à répondre aux enjeux de détection de ce type d'objet de façon automatisée et systématique. Les données ainsi obtenues par ce processus sont actuellement diffusées au sein du thème végétation de la BD TOPO®.

Le projet GEO-K-PHYTO est porté par l'Institut Bergonié de Bordeaux et l'IGN. Il fait partie d'une action pilotée par les ministères de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, de la Santé et de la Prévention, et de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, avec l'appui financier de l'Office français de la biodiversité, par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au plan Écophyto II+.

### COMPARAISON DU RÉSULTAT FINAL DIFFUSÉ DANS LE THÈME VÉGÉTATION DE LA BD TOPO® AVEC LE REGISTRE PARCELLAIRE GRAPHIQUE (RPG®)

LIEU : RHÔNE (69)  
Date : 2021 (prise de vues)

Ces deux cartes sont réalisées avec des bases de données différentes : en haut, il s'agit d'un extrait des données BD TOPO® thème végétation et en bas d'un extrait du RPG®.

Le modèle de détection appliqué sur le département du Rhône a permis de densifier de façon considérable l'information sur la présence de ce type de culture sur ce département : on compte 6 200 hectares de vignes et de vergers supplémentaires par rapport aux informations figurant dans le RPG®.

#### BD TOPO®

- Bois
- Forêt fermée de feuillus
- Forêt fermée mixte
- Forêt ouverte

#### RPG®

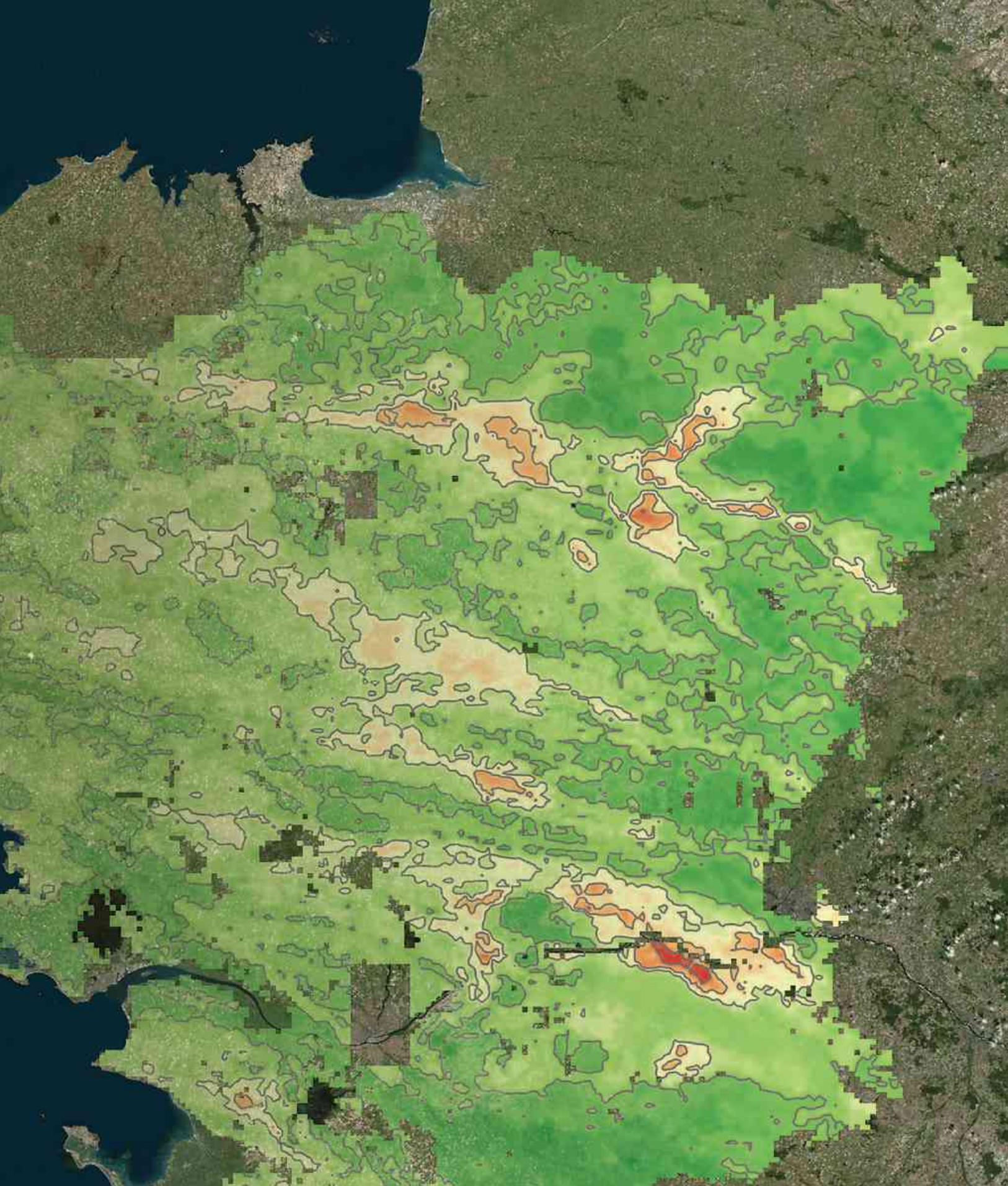
- Vigne



**CARTE DE PRÉDICTION DES  
MINÉRALISATIONS D'ANTIMOINE**

LIEU : MASSIF ARMORICAIN  
(BRETAGNE, VENDÉE)  
Date : 2024

Cette carte a été générée par le BRGM (bureau de recherches géologiques et minières) à l'aide de l'outil numérique DROP (développement de la recherche vers l'opérationnel en prédictivité), qui fonctionne sur la base d'un apprentissage machine à partir de données géophysiques et géologiques. Il permet d'identifier les zones les plus favorables à la découverte d'un gisement de ressources minérales, comme ici avec la prédiction des minéralisations en antimoine. Sur cette carte, les zones orange et rouge sont les plus susceptibles d'accueillir de telles minéralisations, selon le modèle prédictif.



Les lacunes correspondent soit à des zones urbaines, soit à d'importantes couvertures sédimentaires pour lesquelles le modèle ne peut calculer de score. L'innovation DROP s'appuie sur la combinaison d'algorithmes d'intelligence artificielle et le développement de méthodes originales de cartographie prédictive. En dehors des ressources minérales, celles-ci peuvent aussi s'avérer très utiles pour prédire les ressources en eaux souterraines ou encore la vulnérabilité aux risques naturels. ●



## LE PROJET CarHab

par Caroline Joigneau-Guesnon,  
Chargée des relations partenariales  
et institutionnelles biodiversité à  
l'IGN ↓

**CarHab est un programme multipartenarial qui vise à produire, en six ans, une cartographie nationale prédictive des habitats naturels et semi-naturels. Ce terme désigne tout milieu réunissant les conditions physiques et biologiques nécessaires à l'existence d'une espèce (ou d'un groupe d'espèces) animale ou végétale. La carte est établie à l'échelle du 1:25 000<sup>e</sup> et offrira, à l'horizon 2026, une couverture de la France entière.**

L'objectif premier de ce projet, identifié par le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, est de permettre des reportages auprès de l'Union européenne dans le cadre de la directive Habitats-Faune-Flore sur l'état des habitats naturels en France. Ces données sont aussi très attendues de la part des acteurs nationaux et territoriaux, car elles permettent d'identifier les habitats naturels potentiellement présents sur le territoire et de tester leurs usages d'apprentissage. Cela entre dans le cadre de projets liés à l'amélioration de la connaissance de la biodiversité ou de l'aménagement du territoire.

Concrètement, des jeux de données sont fournis par des acteurs et des experts de terrain, les conservatoires botaniques nationaux. Ils viennent entraîner un modèle reposant sur l'I'A : les synthèses mensuelles des images satellitaires Sentinel-2, permettant de distinguer les différentes physionomies de végétation. La production de la carte des physionomies de végétation repose donc sur des données de végétation et des images satellitaires utilisées comme variables du modèle de type Machine Learning. Ce modèle est utilisé sur une partie du projet CarHab, à savoir la production de la carte des physionomies de végétation mise en œuvre par l'IGN. ●



### Données d'entraînement

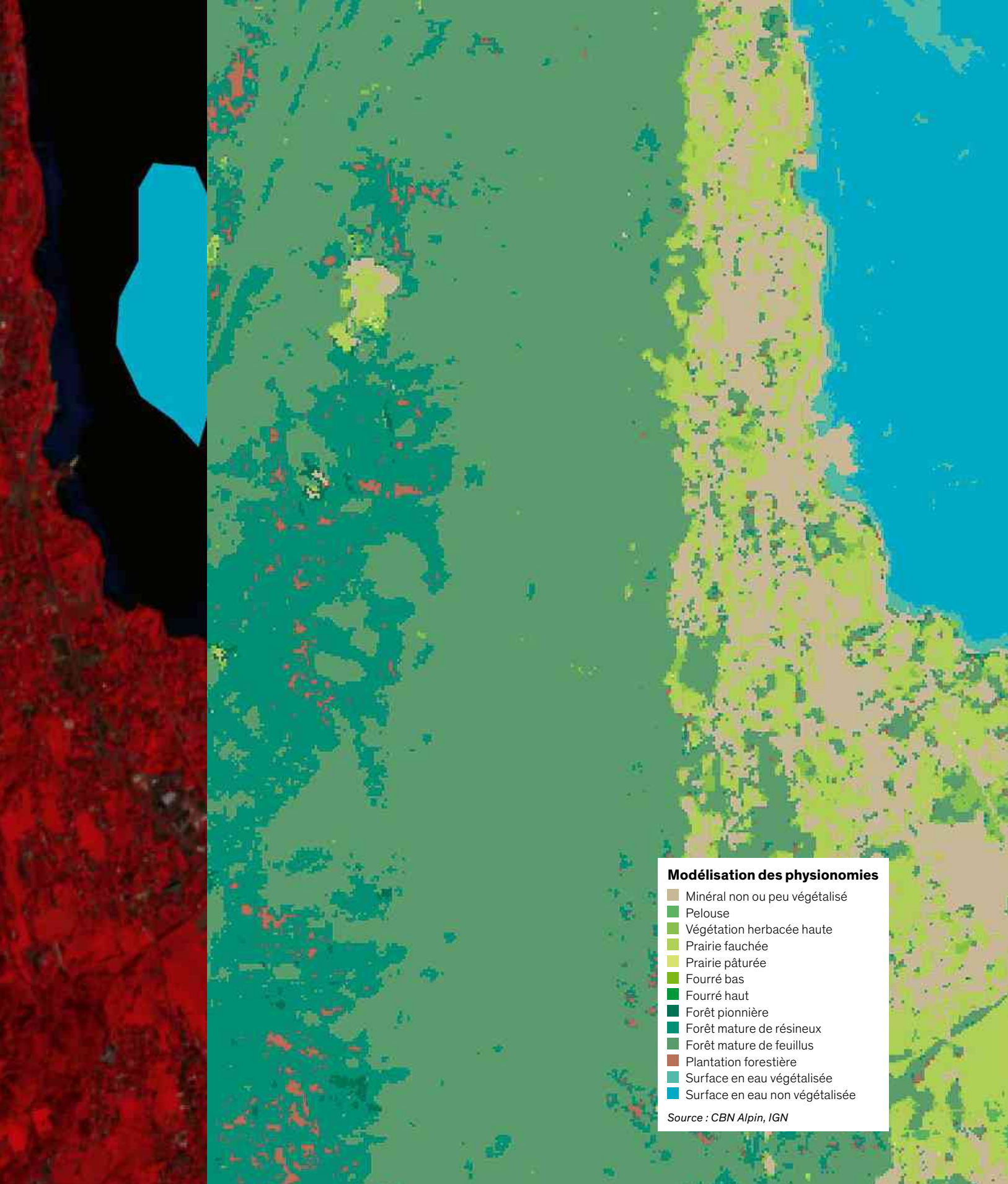
- Végétation herbacée haute
- Forêt mature de résineux
- Forêt mature de feuillus
- Plantation forestière
- Surface en eau non végétalisée

Source : CBN Alpin, IGN, Copernicus

### IMAGE SATELLITAIRE DONNÉES D'ENTRAÎNEMENT

LIEU : HAUTE-SAVOIE  
Date : mai 2024

La méthode de production est en grande partie basée sur la modélisation supervisée. L'entraînement du modèle repose sur des jeux de données d'entraînement (polygones) sur les végétations, fournis par les conservatoires botaniques nationaux, qui sont classifiés automatiquement par Machine Learning.



**EXTRAIT DE LA MODÉLISATION  
DES PHYSIONOMIES DE VÉGÉTATION**  
LIEU : HAUTE-SAVOIE  
Date : mai 2024

Ce modèle, associé aux variables calculées à partir de synthèses mensuelles des images Sentinel-2, permet de produire une répartition prédictive des physionomies des végétations. ●



## LE MODÈLE SEG2SAT

par Ruben Grès,  
Ingénieur intelligence artificielle à l'IGN ↓

L'IA générative peut-elle contribuer au suivi du territoire et de ses évolutions ? C'est en tout cas l'une des nombreuses applications possibles du projet Seg2Sat, contraction de « Segmentation to Satellite ». Accessible en open source, Seg2Sat est un modèle de Machine Learning entraîné pour générer des images satellites réalistes ou stylisées en suivant l'exécution d'un prompt textuel et d'une segmentation définie : une image ou une couleur représentera, par exemple, un certain type de sol. En se basant sur le modèle généraliste de génération d'image et très riche en styles qu'est « Stable Diffusion\* », notre modèle permet de définir le style graphique (voire artistique!) souhaité pour chaque image qui sera générée.

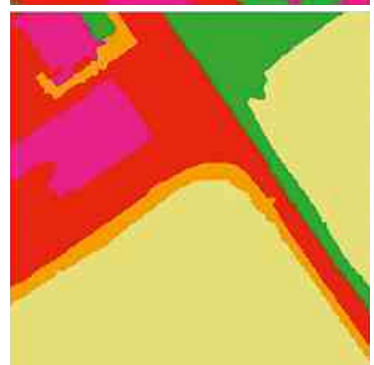
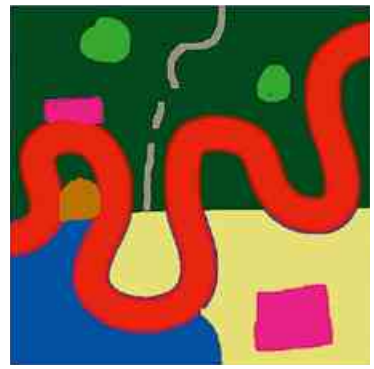
Grâce à un réentraînement utilisant les jeux de données FLAIR produits par l'Institut, l'approche de génération d'image portée par Seg2Sat ouvre aujourd'hui la voie à de nombreuses applications telles que la génération de jeux de données synthétiques pour entraîner d'autres modèles autour de la détection de changement; une application qui fait aujourd'hui l'objet du projet de thèse de Yanis Benidir au sein du laboratoire LASTIG de l'ENSG. À vos prompts et pinceaux! ●

\* Développé par Stability AI

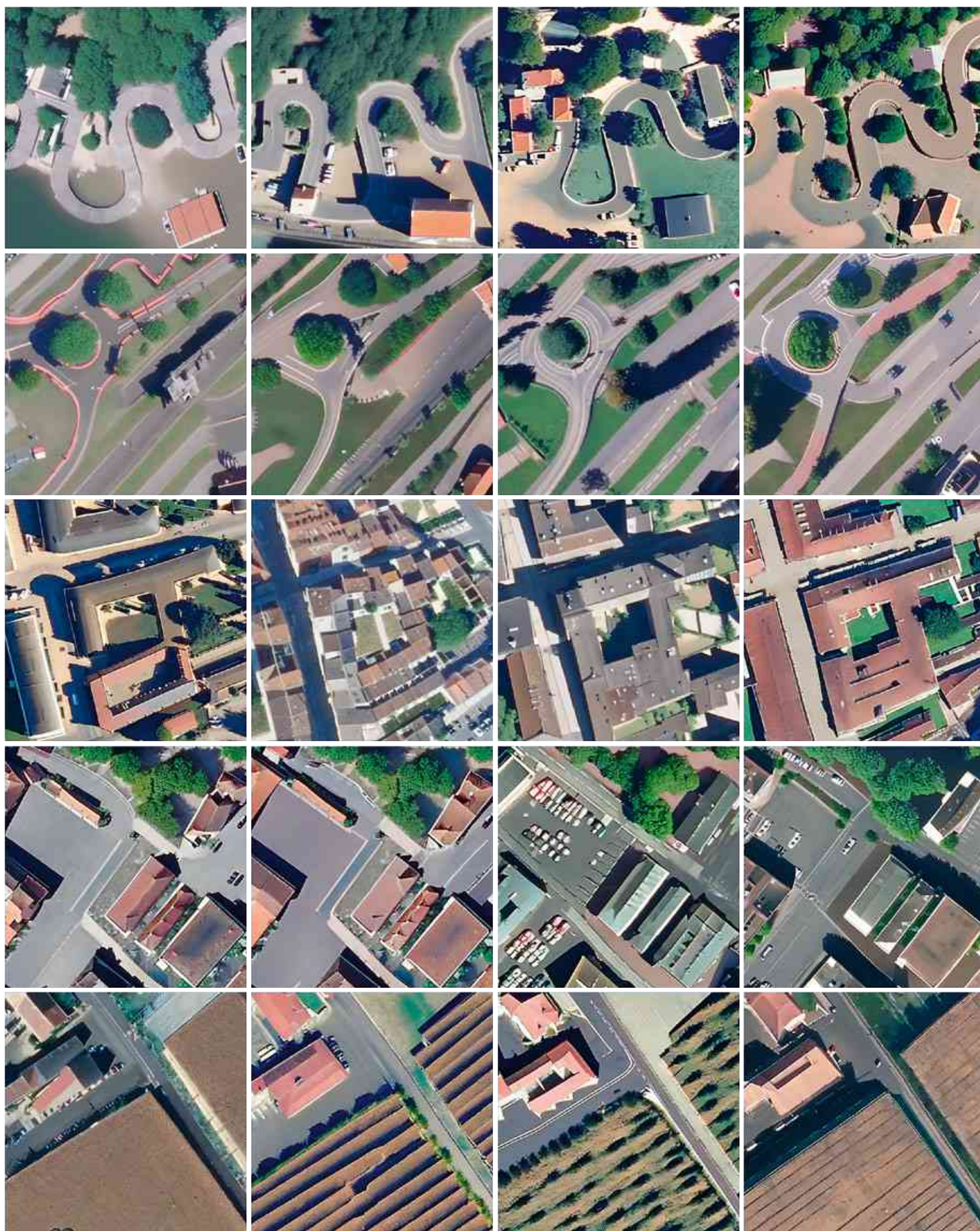
Exemples de styles pouvant être appliqués aux images générées



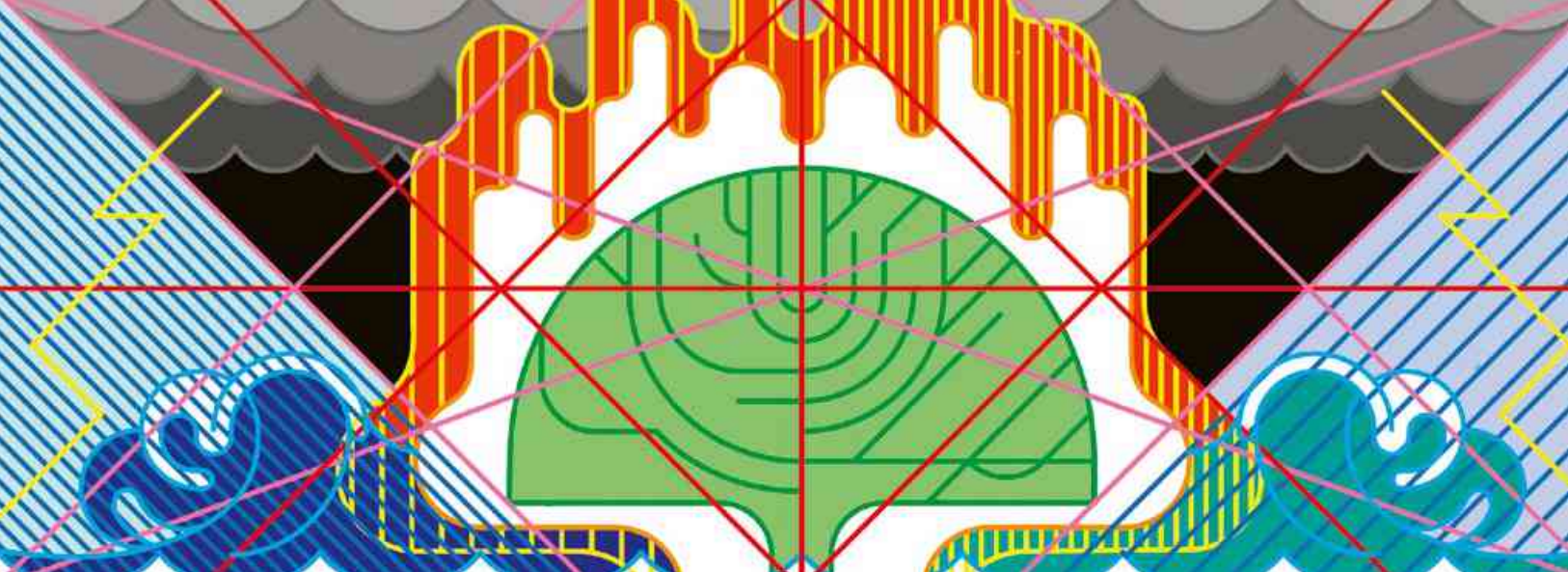
Segmentation



**GÉNÉRATION  
D'IMAGES AÉRIENNES**  
Date : 2024



À partir d'images segmentées (où chaque forme et couleur correspond à un objet de nature différente) issues notamment du jeu de données FLAIR (colonne de gauche), le modèle Seg2Sat est capable de générer toute une batterie d'images, comme celles-ci ressemblant à de vraies vues aériennes. Cet outil peut s'avérer précieux pour concevoir des jeux de données qui entraîneront, par exemple, d'autres modèles à la détection du changement. ●



## 2

# GESTION DES RISQUES

Inondations, feux de forêts, tempêtes, érosion des côtes et des massifs, risques industriels... la gestion des risques systémiques liés au dérèglement climatique croise un grand nombre de domaines et implique autant de données environnementales et géographiques. La puissance de calcul de l'intelligence artificielle est ici d'un apport crucial pour révéler ce qui ne se voit pas forcément selon des méthodes traditionnelles d'observation. Un aspect impressionnant des modèles mathématiques qui permettent de prévenir les occurrences de ces risques ou de prendre des mesures pour en limiter les conséquences. Et, le cas échéant, assister les services d'urgence à intervenir sur le terrain. Des capacités qui prennent encore un nouveau tour avec celles du Machine Learning révélant ainsi les effets de l'évolution du paysage. ➔



# MODÉLISER LES RISQUES SUR DES TERRITOIRES EN MOUVEMENT

Avec la participation de Raphaële Heno,  
Directrice adjointe de l'ENSG-Géomatique, chargée des enseignements

La gestion des risques repose autant sur des modèles de surveillance que sur des modèles de prévention des menaces qui pèsent sur l'environnement, notamment dans un contexte de dérèglement climatique qui transforme la physionomie des paysages. L'IA monte en puissance pour modéliser les phénomènes complexes à l'origine de ces risques majeurs et pour en évaluer les impacts. Une véritable priorité pour conduire les politiques d'aménagement du territoire et de prévention des risques naturels et technologiques.

Le constat est implacable : le changement climatique aggrave déjà, et ce n'est qu'un début, les risques d'inondations, de feux de forêts, de sécheresses ou encore de glissements de terrain. Comprendre ces risques, détecter les signaux faibles annonciateurs d'une possible catastrophe naturelle et mettre en place des stratégies de prévention et d'adaptation constituent donc des défis de première importance... défis dans lesquels l'apport de l'IA pourrait s'avérer crucial.

## CROISER DES DONNÉES TRÈS HÉTÉROGÈNES

Dans cette quête difficile, nous disposons d'un atout de taille : par avion, drone ou satellite, par des mesures acquises en arpentant le terrain ou réalisées par des capteurs in situ, la Terre n'a jamais autant été scrutée sous toutes ses coutures. Il en résulte une profusion de données qui nous éclairent, par exemple, sur le niveau de la mer comme sur celui de la pollution, auxquelles viennent s'ajouter des données métier telles que des bases de données sur

la biodiversité. À cette quantité phénoménale, on peut ajouter les traces GPS laissées par nos objets connectés, les cartes produites par diverses communautés ou les milliards d'informations qui transitent par les réseaux sociaux et qui renseignent en temps réel sur des événements touchant le territoire.

Si l'abondance de données ne nuit pas, elle ne suffit pas non plus. D'une part, savoir bien les utiliser nécessite de savoir... qu'elles existent. D'autre part, toutes ces informations ne se valent pas dans leur précision, leur degré d'actualisation ou leur fiabilité. C'est tout l'intérêt de la « FAIRisation » des données, initiative prônant un ensemble de règles communes pour rendre ces données facilement accessibles et réutilisables.

## LIRE DANS LE PASSÉ POUR PRÉDIRE DE FUTURES CRISES

L'IA peut alors donner sa pleine mesure. Car ne nous y trompons pas : l'outil est révolutionnaire pour la gestion des risques. Par sa capacité, donc, à traiter et à analyser de vastes corpus de

données environnementales et à les croiser pour, par exemple, identifier des causes possibles d'une crise du passé, et par déduction les conditions susceptibles d'en provoquer une nouvelle. Mais aussi par sa faculté à passer à l'échelle, autrement dit d'élargir des enseignements construits sur un territoire « échantillon » à une zone beaucoup plus large. Avec l'objectif suprême de construire un jumeau numérique du territoire, réplique virtuelle dont l'IA sera assurément un ingrédient majeur (*lire aussi p. 64*).

Les progrès entrevus grâce à l'IA ne sont encore que des prémises. Le domaine est en effet en pleine effervescence, et à l'instar de la puissance de calcul, les outils et les méthodes s'améliorent chaque jour, comme on l'a constaté récemment en traitement du langage naturel par IA générative. S'il faut utiliser l'IA avec certaines précautions, pour veiller à son impact environnemental et garantir la souveraineté de nos données, elle constitue indéniablement un renfort de taille pour nous aider à gérer les risques croissants liés à l'anthropocène. ●



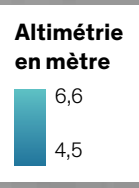
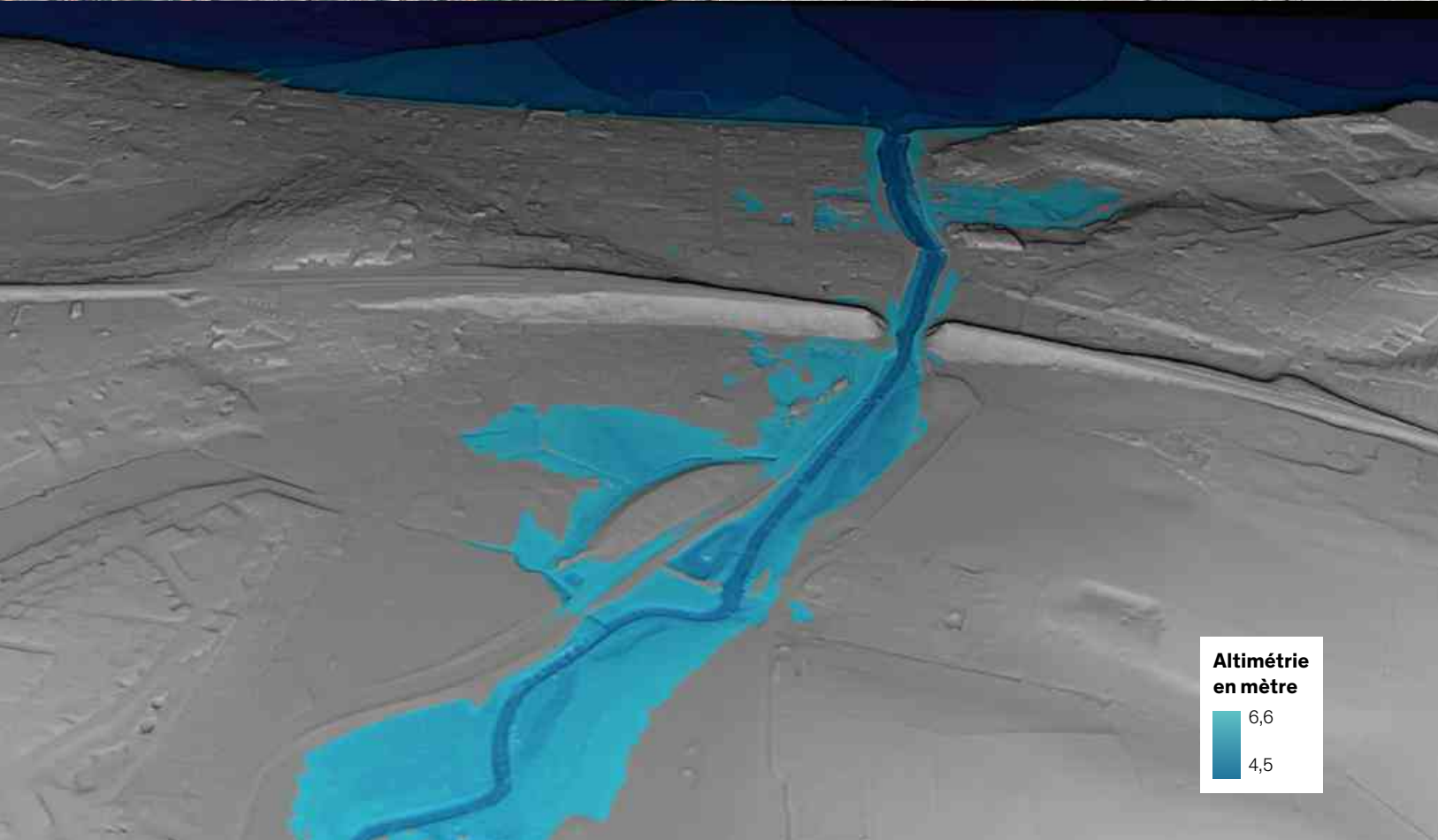
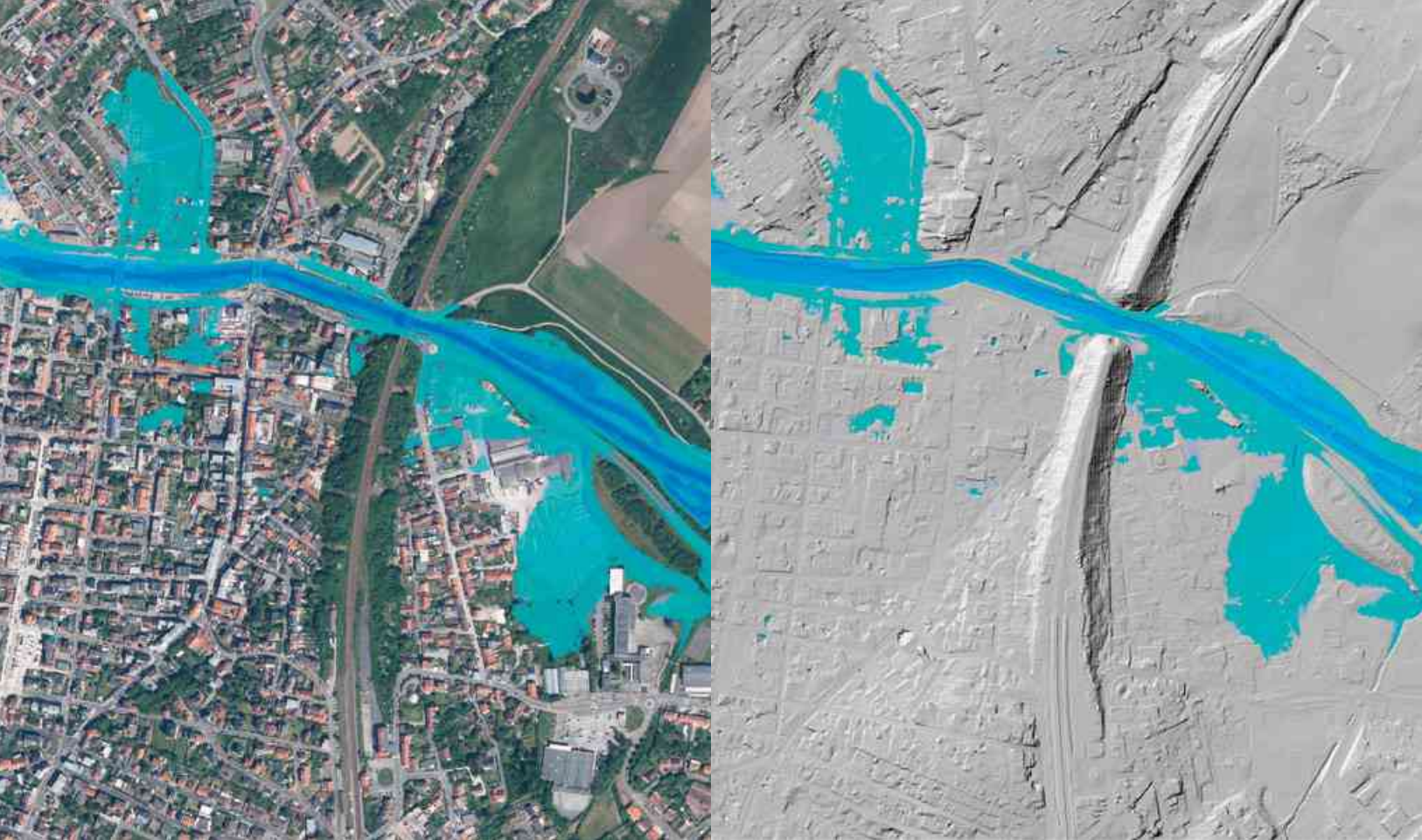
TL; DR/Too long; didn't read

## Nous avons demandé au chat de Mistral de synthétiser cet article.

Le changement climatique aggrave déjà les risques de catastrophes naturelles telles que les inondations, les incendies de forêts,

les sécheresses et les glissements de terrain. Pour comprendre ces risques et mettre en place des stratégies de prévention et d'adaptation, l'utilisation de l'intelligence artificielle (IA) pourrait être cruciale. Il existe une abondance de données disponibles à partir de diverses sources telles que les satellites, les drones et les capteurs, mais il est important

de rendre ces données facilement accessibles et réutilisables grâce à la « FAIRisation ». L'IA peut analyser de vastes corpus de données environnementales et identifier les causes possibles des crises passées pour prédire les futures.



**LIDAR HD POUR LA PRÉVENTION DES INONDATIONS**

LIEU : WIMEREUX (PAS-DE-CALAIS)  
Dates :

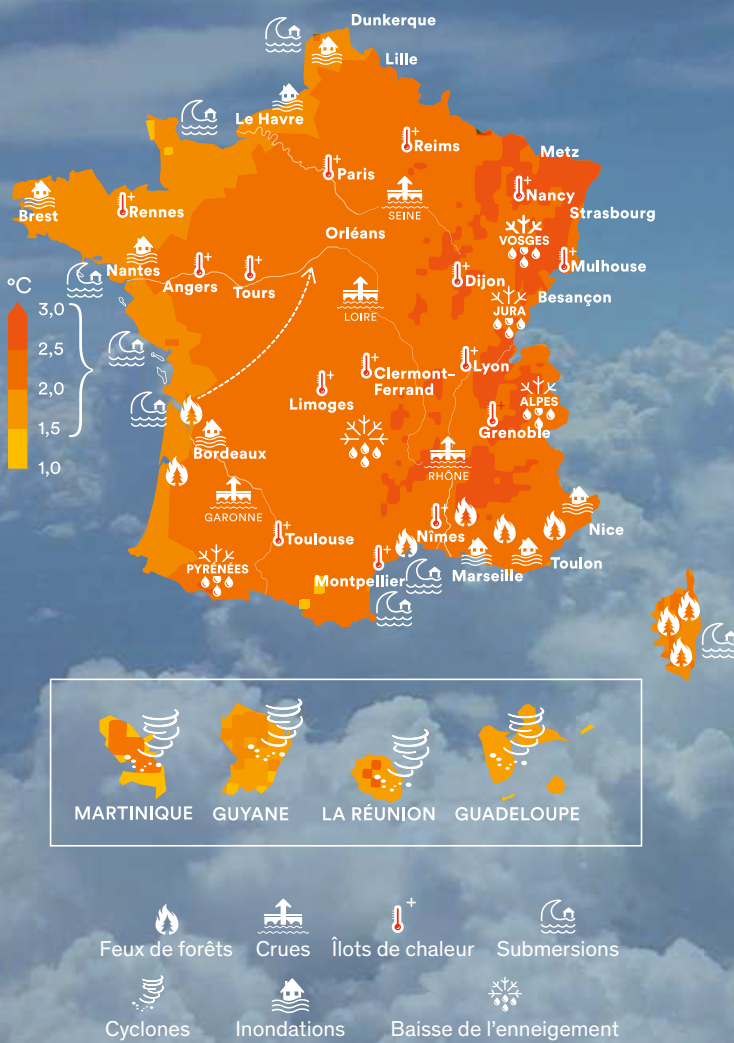


Les données Lidar HD permettent de déterminer l'altimétrie du sol et du sursol sur l'ensemble du territoire. Étant donné le volume d'informations, l'IGN a recours à l'intelligence artificielle pour les classifier, c'est-à-dire reconnaître si la donnée correspond à un bâtiment, à de la végétation ou juste au sol. En sélectionnant uniquement les informations sur le sol (en supprimant, par exemple, les bâtiments et les ponts comme le montrent les illustrations), des modèles numériques de terrain (MNT) sont créés. Ces MNT permettent notamment de visualiser les zones basses à proximité des cours d'eau et du littoral où sont susceptibles de se produire des inondations. Couplés aux orthophotographies (comme le visuel en haut à gauche), ils servent de données d'entrée à des modèles plus complexes pour réaliser des cartes de prévention de risques d'inondation. ●

# ÉPISODES NATURELS EXTRÊMES : CONNAÎTRE, PRÉVENIR, ANTICIPER

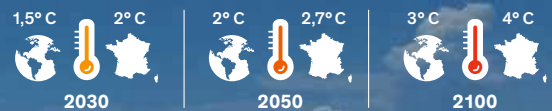
Tempêtes, inondations, épisodes caniculaires, sécheresses, incendies... les épisodes extrêmes sont de plus en plus fréquents et intenses. Les prévisions scientifiques du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) sont basées sur des scénarios prenant en compte notre capacité collective à réagir. Le dernier horizon de prévisibilité nous impose de mieux connaître les risques sur le territoire pour les prévenir et les anticiper.

## LES CONSÉQUENCES DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE À L'HORIZON 2050



## LES PRÉVISIONS DES CLIMATOLOGUES

L'augmentation des températures liée au réchauffement climatique est plus élevée en France que la moyenne mondiale. Les climatologues prévoient, pour la France métropolitaine et à politiques identiques, l'évolution suivante :



Un réchauffement de + 4° C en France en 2100 est établi sur l'hypothèse d'un maintien des politiques actuelles. Ce chiffre représenterait une moyenne annuelle. En effet, certains étés la température pourrait augmenter de + 5° C par rapport à celle de 1900.

### SÉCHERESSE

D'ici à 2050,  
**2 fois plus**  
de sécheresses des sols en été.

### FEUX DE FORÊTS

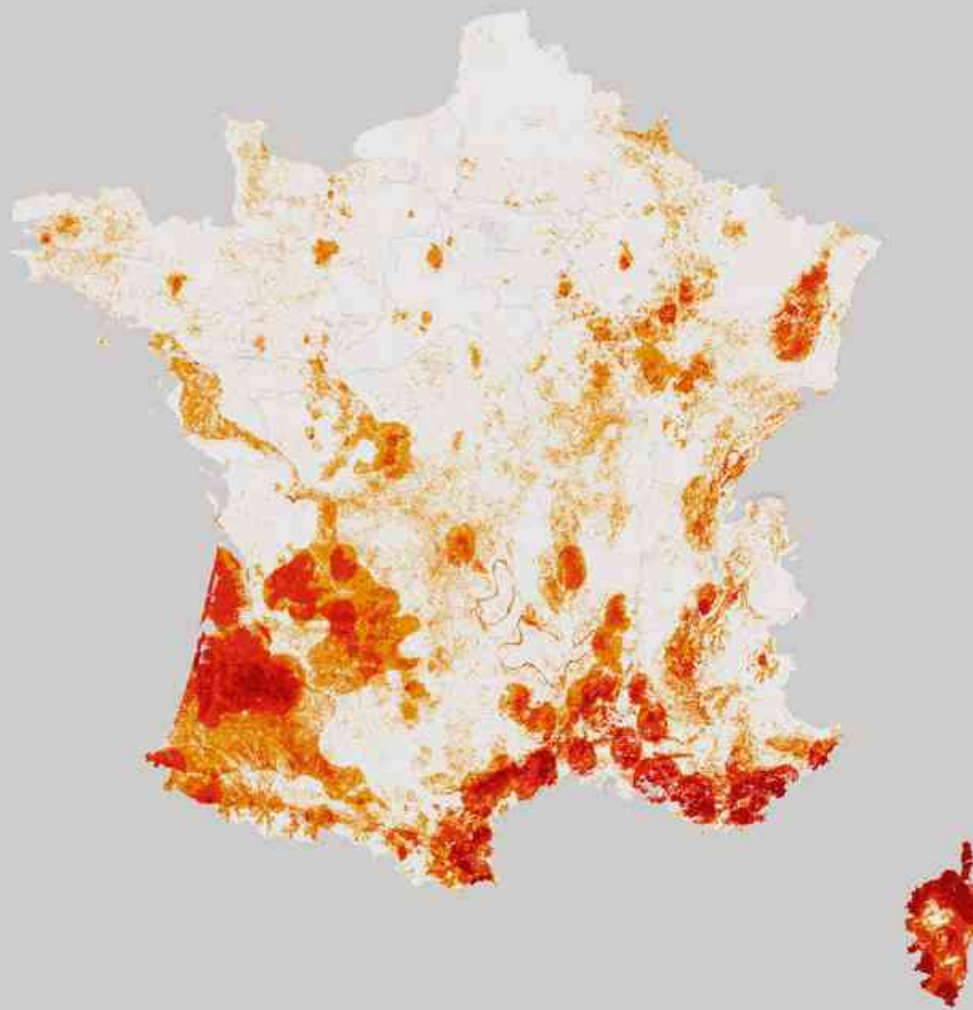
D'ici à 2100, la saison des feux\*  
pourrait s'allonger  
**d'1 à 2 mois**  
dans certaines régions.

\* La saison des feux correspond à la période à laquelle des feux de forêts sont susceptibles de se déclarer à cause d'une forte sécheresse ou de hautes températures.

### NIVEAU DE LA MER

D'ici à 2100, la hausse du niveau de la mer  
pourrait atteindre  
**plus de 1 mètre de haut**

Sources : ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires et Centre des ressources pour l'adaptation au changement climatique.



**L'EXPOSITION AU DANGER  
DES FEUX DE VÉGÉTATION**

LIEUX ET DATES :

- FRANCE MÉTROPOLITAINE  
ET CORSE, 2023
- VITRAY (GIRONDE), mai 2024
- MEAULNE-VITRAY (GIRONDE),  
mai 2024

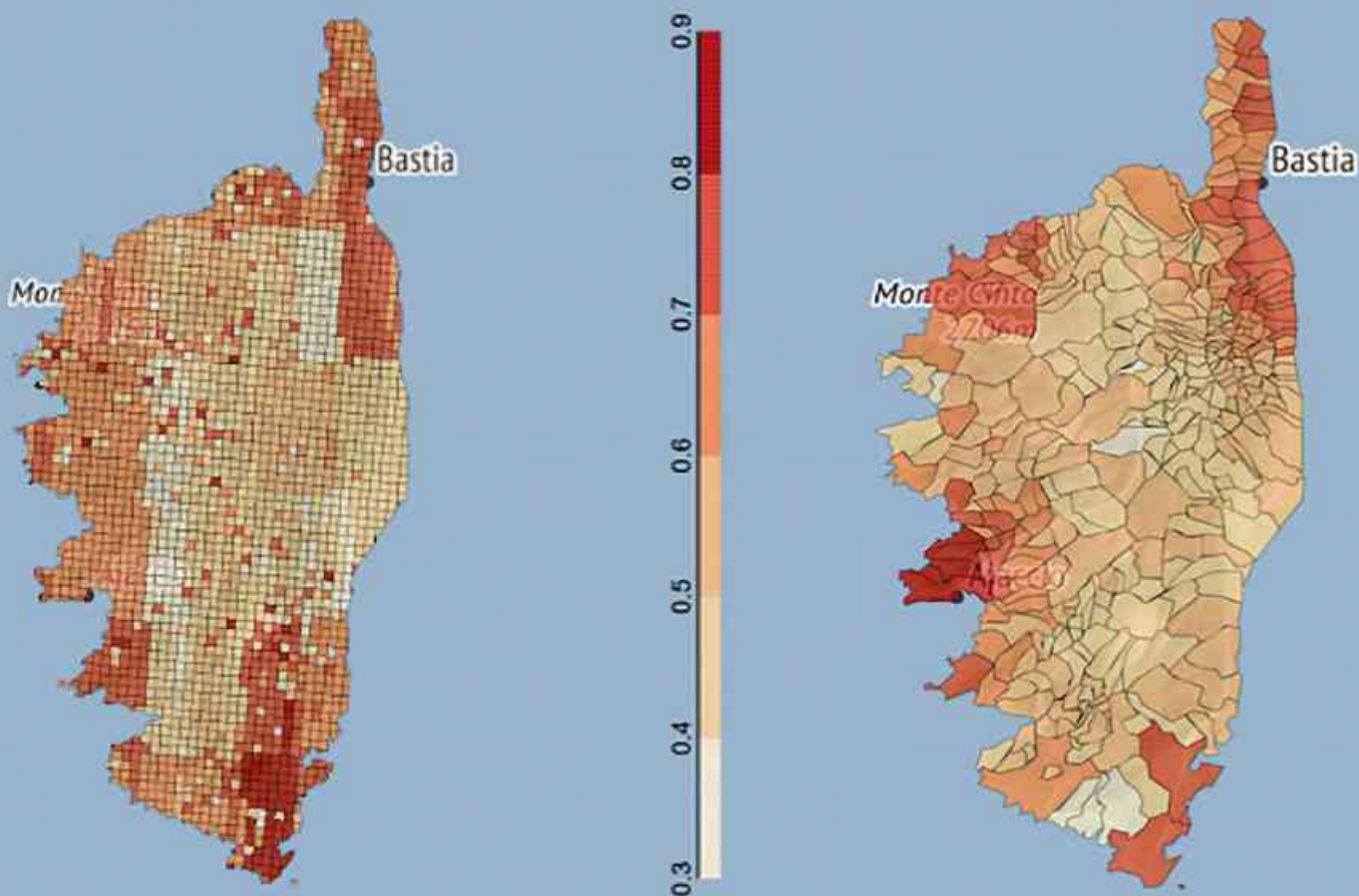
**CARTOGRAPHER  
L'ANTHROPOCÈNE**

La carte de France d'exposition au danger des feux de végétation 2023 a été réalisée grâce à des algorithmes de fusion de données physiques provenant de sources satellitaires combinées avec des données météorologiques et de terrain. Cette solution a été développée par l'entreprise Kayrros. Les deux images du bas illustrent le niveau de densité de végétation évalué dans la bande de 50 mètres autour du périmètre des bâtiments référencés au cadastre. Les couleurs des polygones ont été attribuées automatiquement grâce à des algorithmes et à une calibration avec les services d'incendie et de secours. ●

**ATLAS IGN  
2024**

**Niveau de densité  
de végétation  
(bande de 50 m)**

- Débroussaillage  
non réalisé
- Débroussaillage  
réalisé



**CARTES DU RISQUE INCENDIE EN CORSE ESTIMÉ GRÂCE À UN ALGORITHME D'IA, LE « RANDOM FOREST »**

LIEU : CORSE

Date : 8 juillet 2009

Ces cartes ont été réalisées en utilisant des algorithmes de Machine Learning. Ils ont permis de faire un lien entre des données de natures très hétérogènes (météo, végétation, topologie, occupation des sols...) et le risque incendie, et ce de manière automatique. Ainsi, les cartes ci-dessus représentent le risque d'occurrence d'incendie, par commune, pour la journée du 8 juillet 2009 (lors de la thèse conduite en 2020, des données plus récentes n'étaient pas disponibles). Chaque commune est associée à un risque de départ de feu allant de 0, « départ peu probable », à 1, « départ très probable ». À date, bien que prometteuses, les données et cartes produites dans le cadre de ces recherches n'ont pas encore été utilisées. ●

■ À L'ÉCHELLE DE LA COMMUNE

■ À L'ÉCHELLE DU CARREAU DFCI (2 X 2 KM)



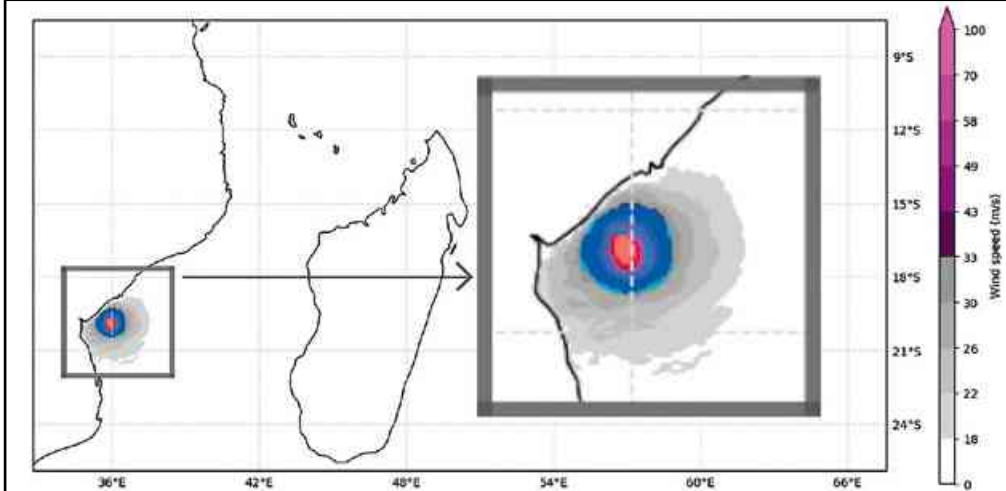
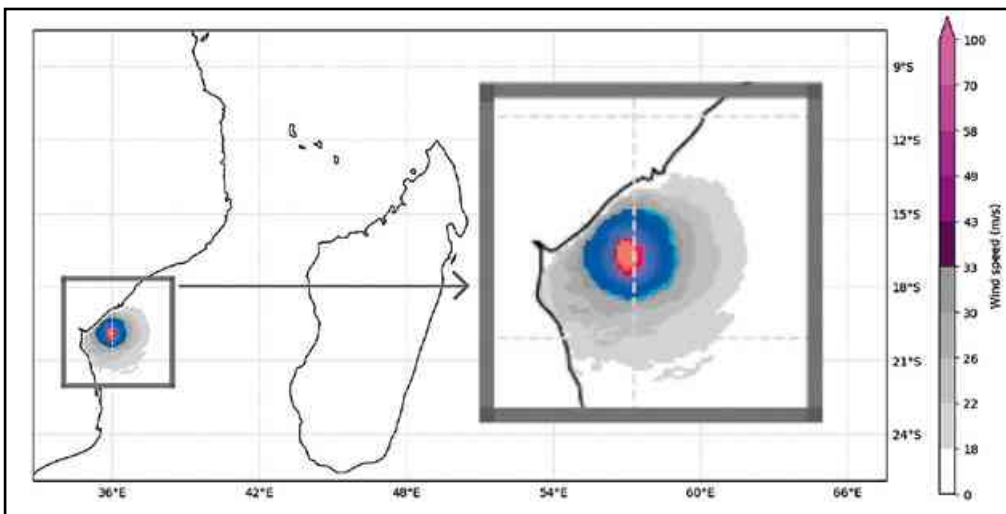
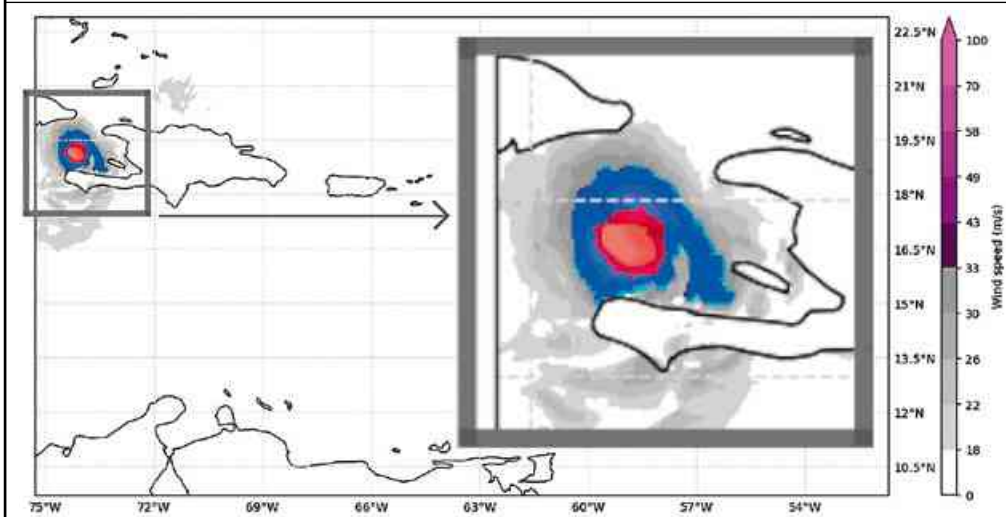
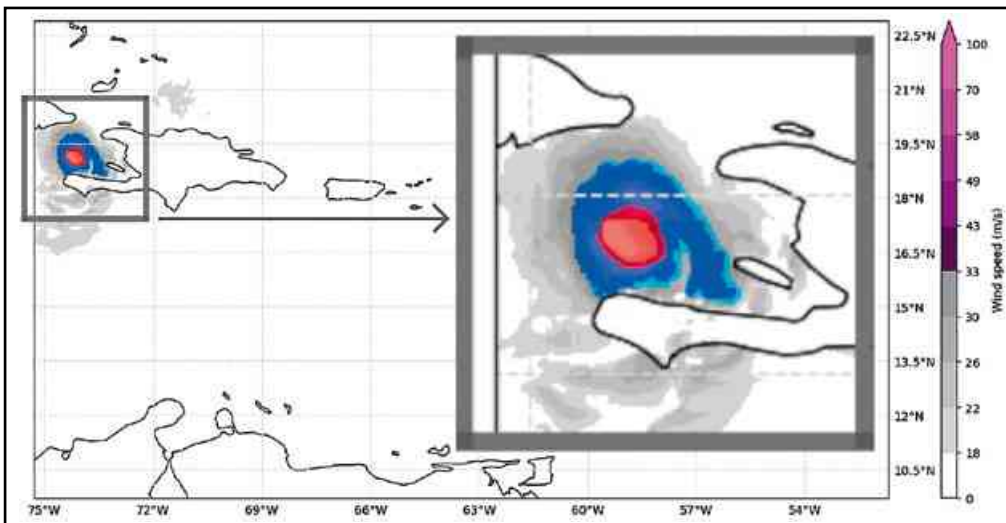
**LE PROJET GOLIAT par Ghinevra Comiti, Apprentie au sein du projet GOLIAT, à l'université de Corse ↓**

**Lancé en janvier 2020 pour une durée de trois ans et demi, le projet GOLIAT (Groupement d'outils pour la lutte incendie et l'aménagement du territoire) vise à développer des prototypes d'outils de lutte incendie et d'aménagement du territoire par l'étude de données historiques de départs de feux afin de mieux cartographier et catégoriser les risques.**

Dans le cadre de ses recherches, Ghinevra Comiti a examiné la faisabilité de la prédiction des risques d'incendie en utilisant les technologies de Machine Learning, afin de comparer la performance de différents algorithmes adaptés à des jeux de données en lien avec les conditions météorologiques. Cette analyse poursuivait trois objectifs :

- approfondir les connaissances phénoménologiques et historiques des feux de végétation en Corse ;
- développer des prototypes d'outils d'aide à la décision répondant aux besoins des opérationnels de la lutte incendie et de l'aménagement du territoire ;
- réaliser un grand nombre d'actions de sensibilisation à la problématique des incendies de végétation en Corse et de prévention auprès des scolaires, du grand public et des élus.

Le projet a été porté par l'université de Corse et financé par l'État et la Collectivité de Corse. Plusieurs partenaires ont également été associés : L'Office national des forêts (ONF), le service départemental d'incendie et de secours de Corse du Sud, le service départemental d'incendie et de secours de la Haute-Corse, le syndicat mixte du parc naturel régional de Corse, Aix-Marseille Université et la société Arobase. ●



### IDENTIFICATION DES CYCLONES TROPICAUX PAR L'IA

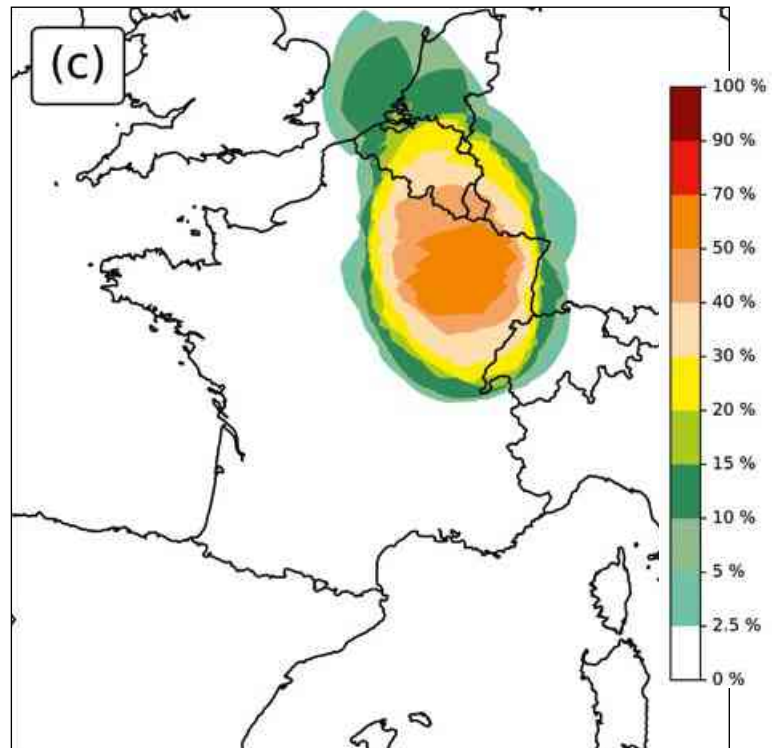
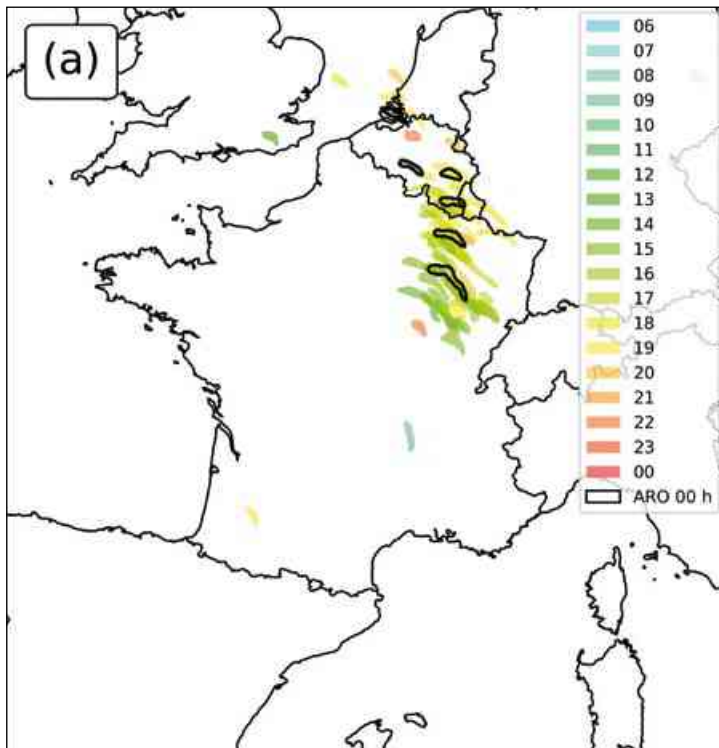
Les quatre figures ci-contre mettent en évidence la détection d'un cyclone tropical, dans la prévision du modèle AROME de Météo-France. La carte en haut de chaque bloc montre une détection réalisée par IA et celle en bas une détection réalisée par un expert humain. Les zones en rouge correspondent aux intensités de vent maximales et les zones en bleu aux vents d'intensité cyclonique (supérieure à 119 km/h). ●

- DÉTECTION RÉALISÉE PAR IA
- DÉTECTION RÉALISÉE PAR UN EXPERT HUMAIN

LIEU : ANTILLES  
Date : 5 octobre 2016

- DÉTECTION RÉALISÉE PAR IA
- DÉTECTION RÉALISÉE PAR UN EXPERT HUMAIN

LIEU : OCÉAN INDIEN  
Date : 14 mars 2010



**IDENTIFICATION  
DES ORAGES VIOLENTS  
PAR L'IA**

LIEU : FRANCE MÉTROPOLITAINE  
ET PAYS LIMITOPHES  
Date : 12 juin 2020

Cartes de synthèse du risque d'occurrence d'orages violents, construites à partir des détections par l'IA. Sur la figure de gauche, la synthèse propose une superposition des orages détectés par l'IA dans plusieurs prévisions du modèle AROME de Météo-France : chaque « objet » correspond à une détection, sa couleur est fonction de l'heure d'occurrence. Sur la figure de droite, la synthèse est effectuée sous la forme d'une probabilité d'occurrence : la région en orange foncé indique qu'il y a une probabilité entre 50 et 70 % qu'au moins un orage violent se produise dans cette zone dans les prochaines 24 heures. ●

Source : Arnaud Mounier



**LE PROJET DE PRÉVISION  
DES ORAGES VIOLENTS  
ET DES CYCLONES TROPICAUX  
par Laure Raynaud,  
Chercheuse au Centre national  
de recherche météorologique ↓**

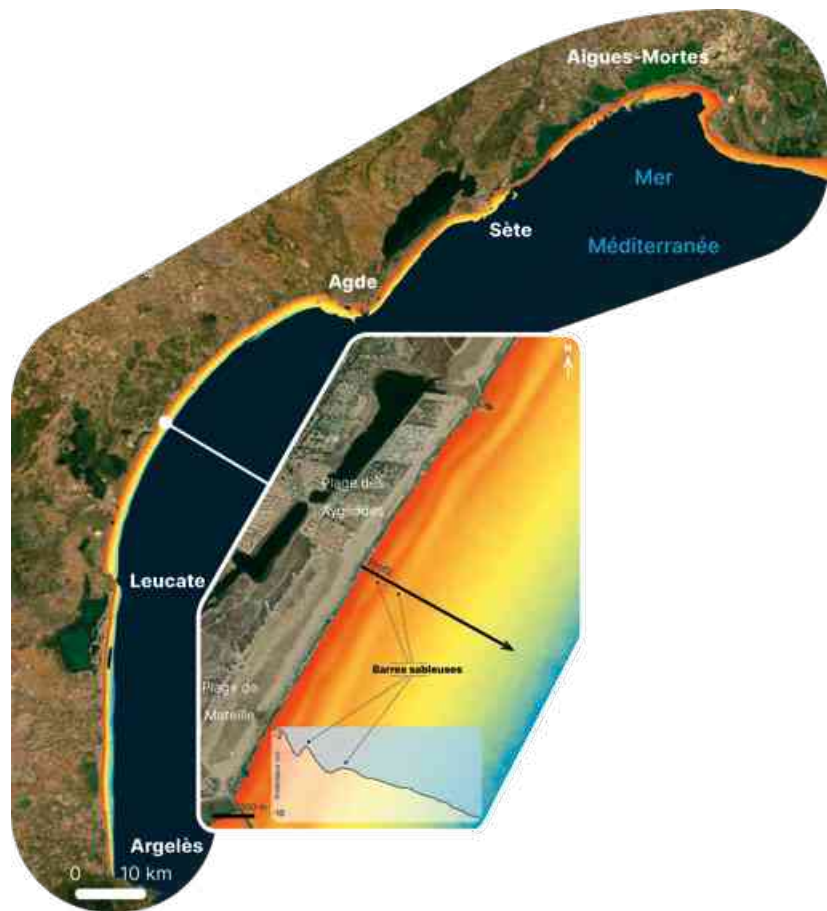
**La question est essentielle,  
l'A quoi dans le ciel ?**

Pour améliorer la prévision des risques, les chercheurs du Centre national de recherche météorologique ont travaillé, en collaboration avec les prévisionnistes de Météo-France, sur deux projets utilisant l'IA pour détecter et anticiper les orages violents et les cyclones tropicaux. Avec des centaines de prévisions produites chaque jour, il est devenu difficile pour les prévisionnistes de les expertiser et de les synthétiser manuellement dans des temps contraints. La mise en place d'outils d'IA pour détecter dans les prévisions les événements à fort enjeu est un premier pas pour faciliter l'expertise humaine et mieux prévenir ces phénomènes météorologiques à risques.

Dans cette optique, des outils de Deep Learning ont été adaptés

pour repérer les phénomènes météorologiques. Deux réseaux de neurones convolutifs ont été entraînés sur une base de données étiquetée : les tracés d'experts sur plusieurs centaines de cartes ont servi à alimenter cette base de données, afin de localiser précisément dans les cartes de prévision les orages violents et les cyclones. Les produits de synthèse construits à partir de ces détections permettent aux prévisionnistes d'effectuer une analyse plus rapide du risque d'occurrence et de l'intensité de ces événements pour les prochains jours.

Cette avancée technologique résulte d'une étroite collaboration entre les services de recherche et de prévision : les prévisionnistes ont été impliqués dès le début, dans le but de répondre au mieux à leurs besoins. Le projet dédié à la détection d'orages fournit des produits et diagnostics exploités au quotidien par les prévisionnistes. Le projet concernant les cyclones est à ce jour encore en phase exploratoire. ●



**LE TRAIT DE CÔTE SURVEILLÉ EN CONTINU AVEC LES SATELLITES DE L'AGENCE SPATIALE EUROPÉENNE**

- LIEU : OCCITANIE  
Date : 31 août 2019
- LIEU : SOULAC-SUR-MER (GIRONDE)  
Dates : 1987-2022

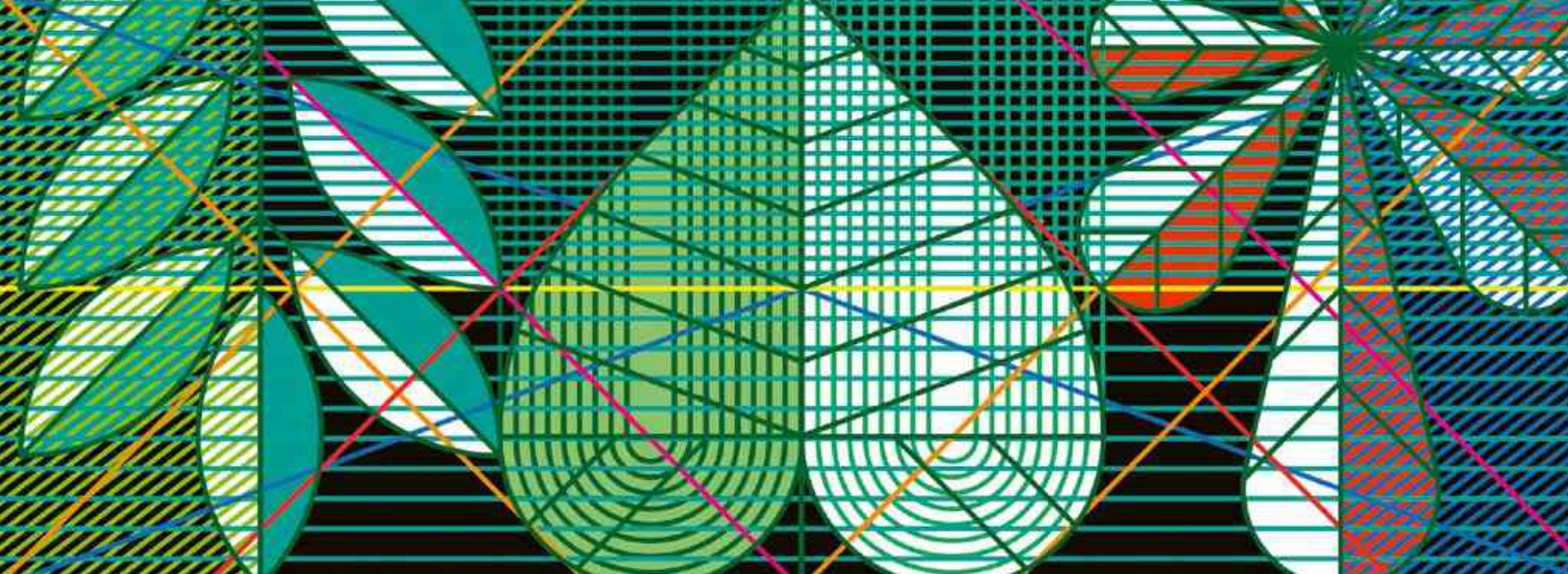
L'érosion côtière menace directement 500 communes françaises. Il faut s'adapter partout et rapidement. C'est le constat sur lequel se base i-Sea, entreprise spécialisée dans le développement de solutions spatiales au service des politiques publiques en faveur du littoral et de la biodiversité. Elle déploie des outils de diagnostic et de pilotage alliant l'abondance des observations satellitaires à la puissance des technologies de l'intelligence artificielle. Du concret pour accompagner les collectivités locales dans la définition de stratégies d'aménagement durable de leur bande côtière. ●





LIEU : GUYANE FRANÇAISE  
 Dates : juin-septembre 2023

La figure en haut à gauche donne à voir une mesure de la bathymétrie, autrement dit de la profondeur marine. En Occitanie, elle est mesurée à chaque fin d'été pour analyser l'effet barrière du relief sous-marin. Sur les visuels du dessous, on peut constater que pour Soulac-sur-Mer, le trait de côte a migré progressivement vers les habitations, menant à la démolition de l'immeuble « Le Signal ». Enfin, le grand visuel ci-dessus de la Guyane française indique six bancs de vase géants dont la position et la profondeur sont relevés chaque mois. ●



# 3

# FÔRET

Les espaces forestiers sont soumis à des tensions multiples : changement climatique, pression du gibier, grands feux... Cela appelle une observation plus fréquente et bien plus précise. Des exigences pour lesquelles l'IA et les techniques de Machine Learning, couplées aux observations satellites issues du programme européen Copernicus, ouvrent des perspectives inédites. Leur combinaison avec les grands référentiels statistiques et scientifiques permet d'alerter rapidement et d'aider à mieux comprendre toute la complexité des mécanismes en jeu, au sein de ces espaces qui couvrent près d'un tiers de la surface du territoire national. ➔

# L'IA AU CHEVET D'UNE FORÊT QUI SE TRANSFORME

Avec la participation d'Arnaud Braun, Coordinateur MOE du projet BD Forêt v3 (IGN)

**L'observation de la forêt est une des missions essentielles confiées à l'IGN. Depuis la création en 1958 de l'Inventaire forestier national, les connaissances sont affinées sur ces espaces qui se heurtent, désormais, à la réalité du changement climatique. L'IA s'intègre à ces méthodes pour accélérer aujourd'hui la description et anticiper demain les évolutions des massifs forestiers.**

Depuis plus d'un siècle, la superficie forestière du territoire métropolitain a augmenté de 50 000 hectares par an en moyenne. Une croissance qui reste à relativiser, car si la surface des massifs augmente, les arbres sont, eux, victimes de conditions climatiques et sanitaires qui font peser de nombreuses menaces sur ces éléments du paysage indispensables aux écosystèmes. Tempêtes, incendies, dépérissement, maladies : autant d'aléas qui confirment l'importance de garder un œil attentif sur l'évolution des forêts.

## UNE EXPERTISE DE TERRAIN

La connaissance des forêts s'est longtemps appuyée uniquement sur des moyens d'observation croisant les prises de vues aériennes, donnant un aperçu de la canopée, et le travail des techniciens forestiers, relevant tous les détails directement aux pieds des arbres, en arpentant les forêts. Un principe de suivi en continu qui permet l'édition annuelle des statistiques de l'Inventaire forestier national. En complément, l'Institut produit la BD Forêt, le référentiel géographique forestier pour les professionnels de la filière forêt-bois et, plus largement, pour les acteurs

de l'environnement et de l'aménagement du territoire. Pour répondre aux divers enjeux, il faut en adapter les méthodes de production.

## CONNAÎTRE LA FORÊT AU PLUS PRÈS DES ARBRES

L'IA est entrée en action pour mettre à jour la cartographie forestière de manière accélérée. Les données disponibles de la BD Forêt v2 ont permis d'entraîner les machines pour calculer un modèle performant, rapide et précis. Ces techniques, qui s'appuient sur du Deep Learning, ont permis la création d'un masque forêt, opérationnel depuis le mois de mai 2024, qui détermine avec précision ce qui tient lieu de forêt et ce qui n'en fait pas partie : un apport précieux pour mieux suivre l'évolution de la forêt grâce à une actualisation plus récente. Une première étape importante avant de chercher à descendre encore un peu plus bas vers le sol et à identifier les différentes essences d'arbres qui constituent les forêts. Avec pour ambition de le faire de plus en plus rapidement, avec une connaissance plus précise des essences et sur des surfaces de plus en plus fines. Pour cela, l'IA intégrera

des images régulièrement mises à jour issues des prises de vues satellitaires Sentinel-2, ce qui autorise la compréhension de la saisonnalité qui régit le vivant, ainsi que les données LiDAR HD, qui ouvrent la compréhension par la machine de la forme des arbres.

## DEMAIN, ANTICIPER LA FORÊT

La tendance est aujourd'hui au renforcement de ces apprentissages par des modèles issus des IA génératives, qui permettraient à la machine d'apprendre en continu et de manière plus autonome. Mais toujours supervisés par les techniciens qui restent les garants de la qualité de la donnée produite. Un saut technologique qui devra favoriser, à terme, l'accélération de ces apprentissages et la production d'un jumeau numérique de la forêt. Une modélisation qui contribuera à anticiper l'évolution des forêts et à modéliser les impacts de chaque événement sur l'état de santé des massifs forestiers. Et d'ajouter ainsi une nouvelle dimension à l'observation des forêts, celle de l'anticipation. ●



**TL; DR/Too long; didn't read**

## Nous avons demandé au chat de Mistral de synthétiser cet article.

La forêt française, couvrant près d'un tiers du territoire métropolitain, fait face à des contraintes climatiques et sanitaires importantes. L'IGN utilise l'intelligence

artificielle et le Machine Learning pour observer ces espaces et répondre aux besoins d'actualisation fréquents. Les data scientists, les experts forestiers et les photo-interprètes collaborent pour produire une donnée géographique forestière de qualité. L'IA accélère la description des massifs forestiers, dont la superficie a augmenté de 50 000 hectares par an en moyenne,

mais qui sont menacés par le changement climatique. L'objectif est de suivre plus précisément l'évolution de la forêt grâce à une actualisation récente et d'identifier les différentes essences d'arbres. À terme, l'IA devrait permettre de créer un jumeau numérique des massifs forestiers pour anticiper leurs évolutions et modéliser les impacts de chaque événement sur leur état de santé.



## LE PROJET BD FORÊT V3

par Arnaud Braun,  
Coordinateur MOE du projet BD  
Forêt v3 à l'IGN ↓

Avec l'action humaine directe ou indirecte, la surface forestière évolue vite. Le masque forêt/non forêt permet de délimiter les contours de la forêt, respectant sa définition internationale établie par la FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture). Cette définition, stable et partagée, autorise des comparaisons internationales et temporelles. On appelle forêt un espace occupant une superficie de plus de 0,5 hectare avec des arbres atteignant une hauteur supérieure à 5 mètres et un couvert arboré de plus de 10%, ou avec des arbres capables d'atteindre ces seuils in situ. La définition exclut les terres à vocation agricole ou urbaine prédominante.

Les techniques IA de Deep Learning favorisent maintenant une actualisation plus rapide qu'avec les processus classiques, pour mieux répondre aux enjeux écologiques. Un réseau neuronal convolutif a été entraîné à partir de la BD Forêt v2 et d'orthophotographies pour produire ce nouveau masque. Un type d'architecture IA aujourd'hui bien maîtrisé par l'IGN. La production du nouveau masque forêt est une première étape opérationnelle avant d'aller plus loin en cherchant à distinguer les principales essences forestières, grâce à des innovations (utilisation des images satellites Sentinel, du LiDAR HD et d'auto-apprentissage supervisé). Tout au long des travaux, les photo-interprètes forestiers de l'IGN restent à l'œuvre pour produire les données d'entraînement des modèles et pour expertiser les résultats. ●



### ÉVOLUTION DE LA LIMITE FORÊT/NON FORÊT EN MILIEU RURAL

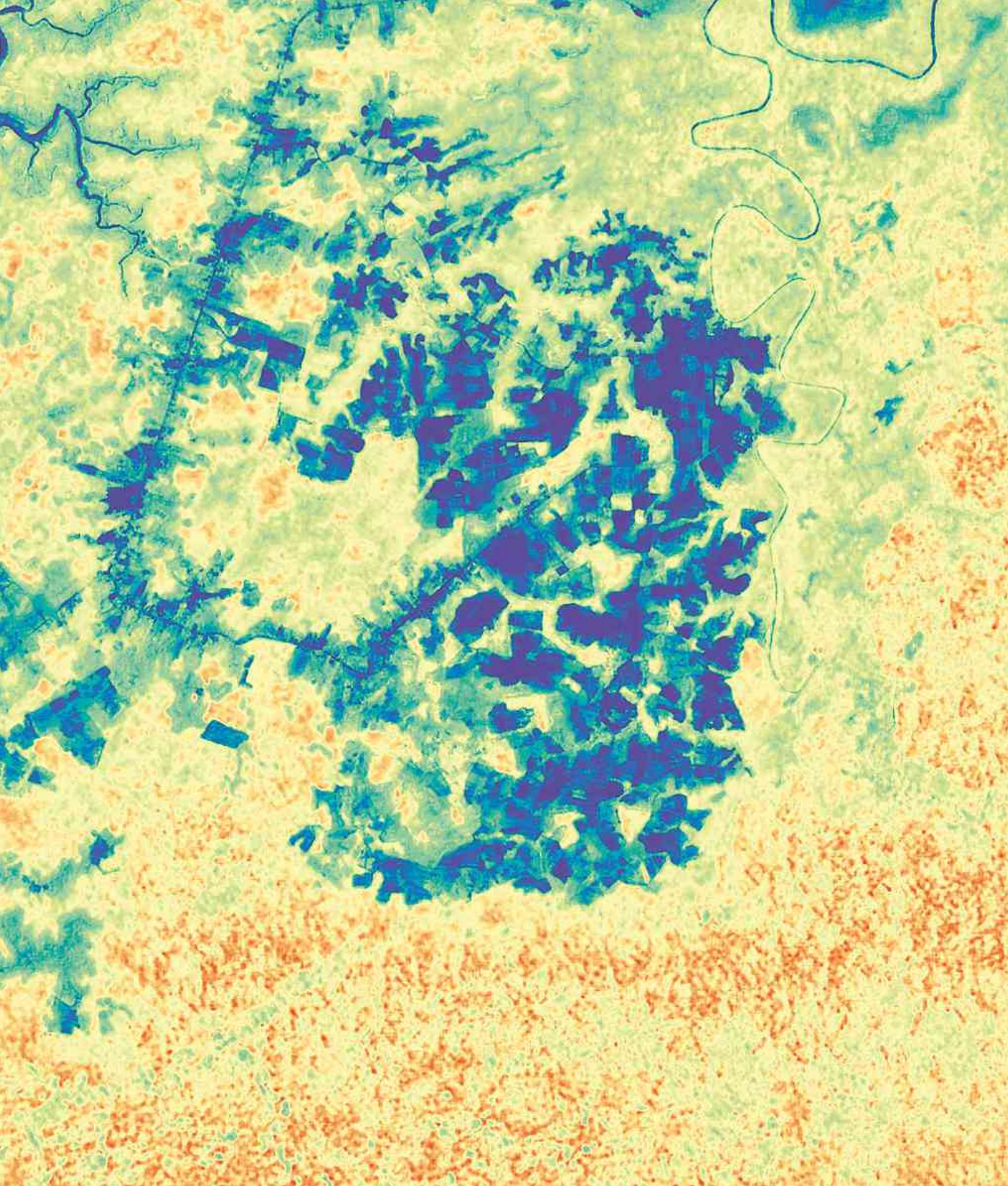
LIEU : ORINCLÉS  
(HAUTES-PYRÉNÉES)  
Dates : 2006 et 2022

Masque forêt superposé à l'orthophotographie.  
Double phénomène de défrichement et de déprise agricole :  
d'un côté la forêt perd du terrain, de l'autre elle en gagne. ●



**ÉVOLUTION DE LA LIMITE  
FORÊT/NON FORÊT  
EN MILIEU MONTAGNARD**  
LIEU : MOLINES-EN-QUEYRAS  
(HAUTES-ALPES)  
Dates : 2009 et 2022

Masque forêt superposé à l'orthophotographie.  
Colonisation par une espèce pionnière (mélèze) en zone  
de montagne, liée à l'évolution climatique et/ou à la diminution  
du pâturage qui limitait la progression de la forêt. ●

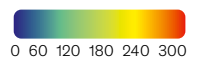


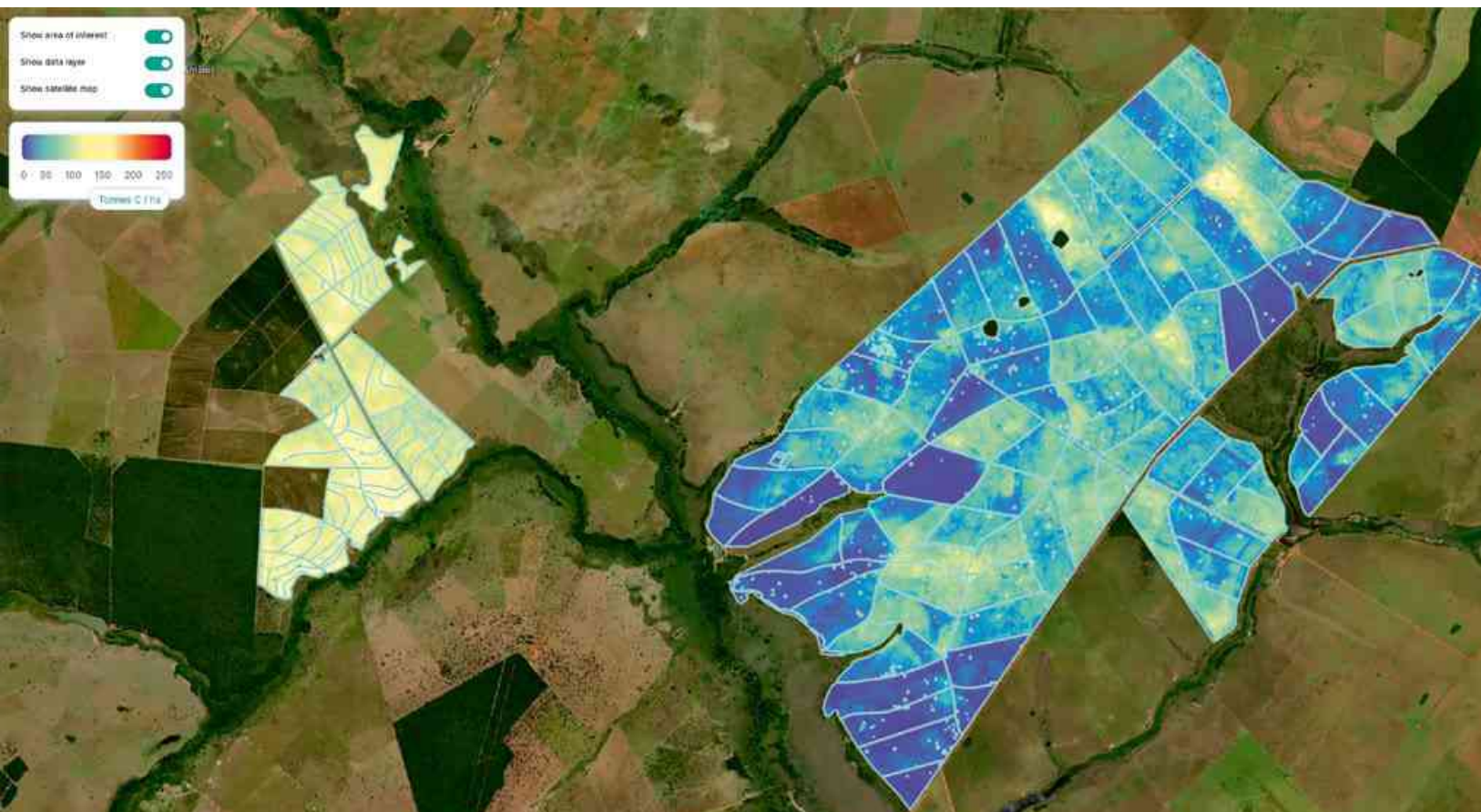
**STOCK DE CARBONE CONTENU  
DANS LA BIOMASSE VÉGÉTALE**  
LIEU : NORD DE LA GUYANE FRANÇAISE  
Date : 2023

Ces cartes, produites par l'entreprise Kanop, mettent en évidence le stock de carbone contenu dans la biomasse végétale. Elles sont réalisées à partir de données issues des satellites Sentinel-1, Sentinel-2, Landstat-8 et Alos-Palsar-2.

Le visuel ci-dessus représente le nord de la Guyane française. Les zones stockant le plus de carbone sont représentées en rouge. Il s'agit le plus souvent de forêts primaires. Celles présentant une faible densité de carbone, en bleu, sont le plus souvent des zones exploitées à des fins agricoles. ●

**Tonnes de carbone  
par hectare**





LIEU : BRÉSIL (ÉTAT DE SÃO PAULO)  
Date : 2020

Le visuel ci-dessus représente des parcelles en cours d'afforestation et de reforestation au Brésil dans l'État de São Paulo. Les zones stockant le plus de carbone sont représentées en jaune. Ce sont celles sur lesquelles la croissance des arbres est la plus avancée. Il peut s'agir de plantations plus anciennes, ou d'essences ayant une croissance plus rapide qu'ailleurs dans le projet. ●



**LE PROJET KANOP,**  
**par Romain Fau,**  
**CEO et cofondateur de Kanop ↓**

Le projet Kanop utilise des technologies de Deep Learning et l'imagerie satellite pour mesurer l'impact des projets forestiers en termes de stockage de carbone, et bientôt de biodiversité.

Kanop développe une plateforme SaaS alimentée par l'intelligence artificielle pour fournir des analyses de données précises et à grande échelle en s'appuyant sur l'imagerie satellitaire, le radar et la technologie LiDAR. Cette approche permet de mesurer et de certifier les services écosystémiques rendus par les forêts, en quantifiant notamment leur capacité à séquestrer le carbone atmosphérique.

La technologie de Kanop intègre des images satellitaires multispectrales, radar et LiDAR pour créer des modèles numériques détaillés des forêts. Ces modèles permettent de mesurer des paramètres clés tels que l'essence des arbres et leur hauteur afin d'évaluer leur capacité de stockage du carbone. En combinant ces données avec des

mesures de terrain, la précision des analyses est renforcée, offrant une grande fiabilité des résultats.

De plus, Kanop répond aux exigences des marchés volontaires du carbone (VCM) et des rapports de durabilité des entreprises (CSRD) en fournissant des données granulaires et auditable sur l'usage des terres, les émissions de changement d'usage des sols (LUC) et la conformité aux normes européennes sur les produits exempts de déforestation (EUDR). En tant que tiers de confiance, Kanop facilite la certification des projets de carbone et améliore la transparence du marché des crédits carbone.

Accompagnée par 50 Partners Impact et CentraleSupélec, la start-up Kanop, hébergée à Station F (Paris), est pilotée par ses deux fondateurs, Romain Fau et Louis de Vitry. ●



# 4

# AGRICULTURE

Le monde agricole est un des premiers à subir frontalement les bouleversements environnementaux, dont il est à la fois l'acteur et le spectateur malheureux. Les techniques d'IA constituent désormais des aides précieuses pour mesurer l'évolution de ces impacts et éclairer les décisions publiques en matière de politique agricole. Aujourd'hui essentiellement consacré à la délimitation des parcelles cultivées, à l'identification de la nature des cultures et à la connaissance fine du terrain, le traitement de la donnée est un allié essentiel de transformation vers des techniques d'agriculture de précision, plus respectueuses de ses environnements. Et une opportunité pour nourrir l'ensemble d'un écosystème d'innovation tout en permettant d'assurer la compétitivité durable des modèles agricoles français. ➔



# L'AGRICULTURE, NOUVEAU CHAMP D'EXPÉRIMENTATION DE L'IA

Avec la participation de Boris Wattrelos, Chef de projet SI innovants (IGN)

**Cartographier la nature des cultures et l'évolution des éléments du paysage qui en découlent est une mission en lien avec la politique agricole commune (PAC). Elle implique de vérifier les déclarations des exploitants agricoles avec les réalités du terrain. Une mission pour laquelle l'IA permet de gagner un temps précieux et d'expérimenter de nouveaux programmes.**

Depuis 2015, l'IGN a en charge la production du Registre parcellaire graphique (RPG®), une base de données géographiques répertoriant la surface de terres consacrées à l'activité agricole. Ces données permettent à l'Agence de services et de paiement (ASP) et au ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire (MASA) de calculer les aides européennes liées à la PAC, auxquelles les agriculteurs peuvent prétendre. Chaque année, selon un calendrier rigoureux, l'étendue des parcelles agricoles et les parties du territoire qui auraient potentiellement changé d'usage ou de nature sont répertoriées et référencées. Une tâche délicate, qui repose pour beaucoup sur l'expertise des photo-interprètes et leur capacité à identifier la nature des sols, sur la base des prises de vues aériennes.

## L'IA EN SOUTIEN DES PHOTO-INTERPRÈTES

L'intégration de l'IA et des techniques de Machine Learning apporte un soutien précieux à ce travail d'interprétation. En confiant à la machine le soin de comparer des images de différents millésimes et d'établir un premier tri, on permet

aux photo-interprètes de se concentrer sur les images révélant certains changements et pouvant être soumises à interprétation. Un modèle d'apprentissage supervisé qui permet d'accélérer le processus et d'affiner la précision des données géographiques. Car si l'IA offre un gain de temps indéniable, l'œil humain reste toujours le garant de la qualité de cette donnée et, par conséquent, de la fiabilité des modèles. Une fiabilité nécessaire si on veut garantir une répartition réglementaire des aides agricoles.

## OBJECTIF : TEMPS RÉEL

Issu des observations de 2023, le RPG® 2024 a été le premier à intégrer l'IA dans l'aide à la photo-interprétation. Ce gain de temps permis par l'IA n'est pas, pour autant, une fin en soi. Il a aussi pour vertu de financer des programmes de modernisation de la production du RPG®. Des projets qui sont, pour la plupart, encore au stade de l'expérimentation avec pour objectif de lever certains verrous techniques et d'affiner encore les pratiques liées à l'IA. L'IGN expérimente également un système de monitoring des surfaces agricoles en temps réel (3STR) avec les images issues des satellites Sentinel-2. Des images

moins précises, mais actualisées tous les cinq jours. L'IA entre ici en jeu en fusionnant les différentes échelles de prise de vues et permet de détecter, le cas échéant, les événements agricoles, comme les labours ou les fauches, dans le but d'automatiser les déclarations des agriculteurs.

## DES SOLUTIONS SPÉCIFIQUES À L'AGRICULTURE

L'IA évolue. Et elle évolue vite. Son développement ouvre aujourd'hui de nouveaux champs d'investigation permettant de répondre à des besoins plus fonctionnels du monde agricole et de développer une connaissance spécifique de l'occupation des sols en matière d'agriculture. ●



**TL; DR/Too long; didn't read**

## Nous avons demandé au chat de Mistral de synthétiser cet article.

L'agriculture, fortement impactée par le dérèglement climatique, bénéficie de l'IA et du Machine Learning pour mesurer ses effets. L'IGN fournit

des données pour entraîner les modèles et aider à la prise de décisions politiques. L'IA sert à cartographier les cultures, l'évolution des paysages et à vérifier les déclarations des exploitants dans le cadre de la PAC. Depuis 2014, l'IGN produit le RPG®, une base de données géographiques des terres agricoles, et facilite la répartition des aides. La rapide évolution de l'IA offre de nouvelles

perspectives pour répondre aux besoins fonctionnels du monde agricole, contribuant ainsi à la connaissance de l'anthropocène.



**IDENTIFICATION DES PRATIQUES AGRICOLES PAR IA SUR LA BASE D'IMAGES SATELLITAIRES SENTINEL-2**

LIEU : JURA, PRÈS DE LA COMMUNE DE DESNES

Date : mai - juillet 2023

L'IGN est engagé dans le suivi en continu des parcelles agricoles avec le développement de modèles IA permettant la détection automatisée de pratiques. Dans cette illustration, nous observons la plaine jurassienne à 10 mètres de résolution spatiale grâce aux images optiques du satellite Sentinel-2 du programme Copernicus de l'Agence spatiale européenne.



 Image Sentinel-2 du 29 mai 2023

 Image Sentinel-2 du 8 juillet 2023

 Modèle IA permettant l'identification des pratiques agricoles



À l'aide d'images récurrentes, l'analyse par IA met en évidence les dynamiques culturales utiles à la PAC comme à des études agri-environnementales. ●

**Détection automatique des parcelles agricoles fauchées ou récoltées**

- En culture
- Récolte
- Fauche/Pâturage



■ Couche hydrographique  
 Îlot

**ORTHOPHOTOGRAPHIES AÉRIENNES  
ET UTILISATION DU MODÈLE IA  
PERMETTANT L'IDENTIFICATION  
DE L'HYDROGRAPHIE**

LIEU : OUZOUER-SUR-TRÉZÉE (LOIRET)  
Dates : 2020 et 2023




La détection par IA de l'évolution des éléments topographiques des paysages agricoles nécessite une précision importante des images. C'est pourquoi l'IGN exploite ses acquisitions d'orthophotographies aériennes à 20 centimètres de résolution afin d'identifier automatiquement des changements, comme ici dans le Loiret. On y voit l'apparition d'une surface en eau à la suite de la construction d'une carrière dans une parcelle agricole.

Orthophotographie aérienne de 2020  
 Orthophotographie aérienne de 2023  
 Résultats du modèle IA permettant l'identification de l'évolution de l'hydrographie



**ORTHOPHOTOGRAPHIES AÉRIENNES  
ET UTILISATION DU MODÈLE IA  
PERMETTANT L'IDENTIFICATION  
DE L'ÉVOLUTION DES BÂTIMENTS**  
LIEU : IFS (CALVADOS)  
Dates : 2020 et 2023

La cartographie des surfaces non agricoles permet de suivre finement les surfaces exploitées ainsi que la part des infrastructures agroécologiques comme les alignements d'arbres, les bosquets ou les mares essentiels à l'équilibre environnemental des territoires. ●

-  Orthophotographie aérienne de 2020
-  Orthophotographie aérienne de 2023
-  Résultats du modèle IA permettant l'identification de l'évolution des bâtiments



**SUIVI DES CULTURES INTERMÉDIAIRES  
SUR UNE MÊME PARCELLE AGRICOLE  
À TROIS DATES DIFFÉRENTES  
(CAPTURES D'ÉCRAN DE L'INTERFACE  
PIXAGRI DE TerraNIS)**

LIEU : HAUTE-GARONNE (OCCITANIE)

Dates : de haut en bas, octobre,  
novembre et décembre 2022


Le service CoverSat permet d'estimer la biomasse produite par un couvert végétal sur une parcelle à différentes dates d'acquisitions satellitaires, sans avoir à réaliser de prélèvements terrain chronophages. À partir de cette biomasse et en spatialisant la méthode d'estimation des restitutions par les cultures Intermédiaires (MERC), des indicateurs sur les minéraux organiques fixés par les cultures intermédiaires et restituables au sol après destruction sont estimés (exemple ici de l'azote). ●




### VISUALISATIONS DE PARCELLES AGRICOLES

LIEU : GERS (OCCITANIE)

Date : 5 avril 2023

 Vue par le satellite Sentinel-2  
d'une parcelle agricole, image  
avec les vraies couleurs

Dans CoverSat, la biomasse des couverts est estimée à partir d'une variable biophysique, le LAI (Leaf Area Index). Cet index est calculé à partir des bandes spectrales Sentinel-2 en utilisant un modèle d'IA (Deep Learning). ●

 LAI généré par TerraNIS  
sur cette même parcelle



### LE PROJET PIXAGRI

par Anne-Sophie Beaudru,  
Marketing et développement  
commercial Agriculture France  
chez TerraNIS ↓

Créée en 2014, la société française TerraNIS œuvre pour accompagner la transition agroécologique et la résilience des villes et des territoires, confrontés aux impacts du changement climatique.

Experte dans les données spatiales et la télédétection, TerraNIS a mis en place en 2022 Pixagri, une plateforme de services d'agriculture de précision dédiée aux grandes cultures. Celle-ci a pour but d'accompagner les exploitants, les coopératives agricoles et les négoce dans leur transition agroécologique.

Pixagri utilise le Deep Learning pour le suivi de la biomasse des cultures intermédiaires. L'algorithme développé par TerraNIS permet, à partir des mesures du satellite optique Sentinel-2, de calculer le LAI, pour Leaf Area Index (ou indice foliaire en français). Un modèle donne ensuite accès à la biomasse des cultures intermédiaires.

Ces données sont utilisées dans une méthode agronomique appelée MERCI, pour méthode d'estimation des restitutions par les cultures intermédiaires. Cette méthode, développée par la chambre régionale d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine, permet d'estimer les quantités d'azote, de soufre, de potassium, de phosphore et de magnésium qui seront restituées par le couvert mis en place, au bénéfice de la culture suivante, permettant à l'agriculteur de diminuer l'apport d'engrais.

Grâce au développement de ses outils, TerraNIS a été distinguée en 2024. L'entreprise est lauréate du lot « Détection des parcelles agricoles irriguées et suivi de la densité du couvert végétal » du projet « Hydrologie spatiale » dans le cadre de France 2030, le plan d'investissement proposé par l'État afin d'investir dans les technologies innovantes et de soutenir la transition écologique. ●

## Identification des cultures

SAISON 2022 - 2023



Surface agricole totale

**Surface agricole utile** 4430 km<sup>2</sup> **64%**

Cultures majoritaires

**Prairies, jachères** 1174 km<sup>2</sup> **26%**

**Maïs** 760 km<sup>2</sup> **17%**

**Blé** 730 km<sup>2</sup> **16%**

### IMAGE SATELLITAIRE DES CULTURES AGRICOLES EN FRANCE

LIEU : TERRITOIRE DE BELFORT ET CHARENTE-MARITIME  
Date : juin 2023

Un certain nombre de pratiques agricoles durables sont observables depuis l'espace. La solution Nimbo de l'entreprise Kermap produit de nombreux indicateurs de suivi de ces pratiques partout en Europe grâce à l'IA, dont l'identification des cultures, le suivi de la durée et du taux de couverture des sols, des haies bocagères, de l'irrigation...  
Objectif : accompagner les acteurs de la filière dans le pilotage et la valorisation des pratiques durables mises en place par les agriculteurs. ●



## Indicateurs parcellaires

JUIN 2023



Culture en cours

**Maïs**

Rotation

**Blé / Colza / Maïs**

Superficie

**3,2 ha**

Indice NDVI médian

**0.4**

Évolution NDVI (indice de vigueur végétale) sur l'année



## Suivi environnemental

SAISON 2022 - 2023



Durée de couverture

**162 jours**

-132 par rapport à la moyenne de la région agricole



Indice d'irrigation

**Maïs irrigué**

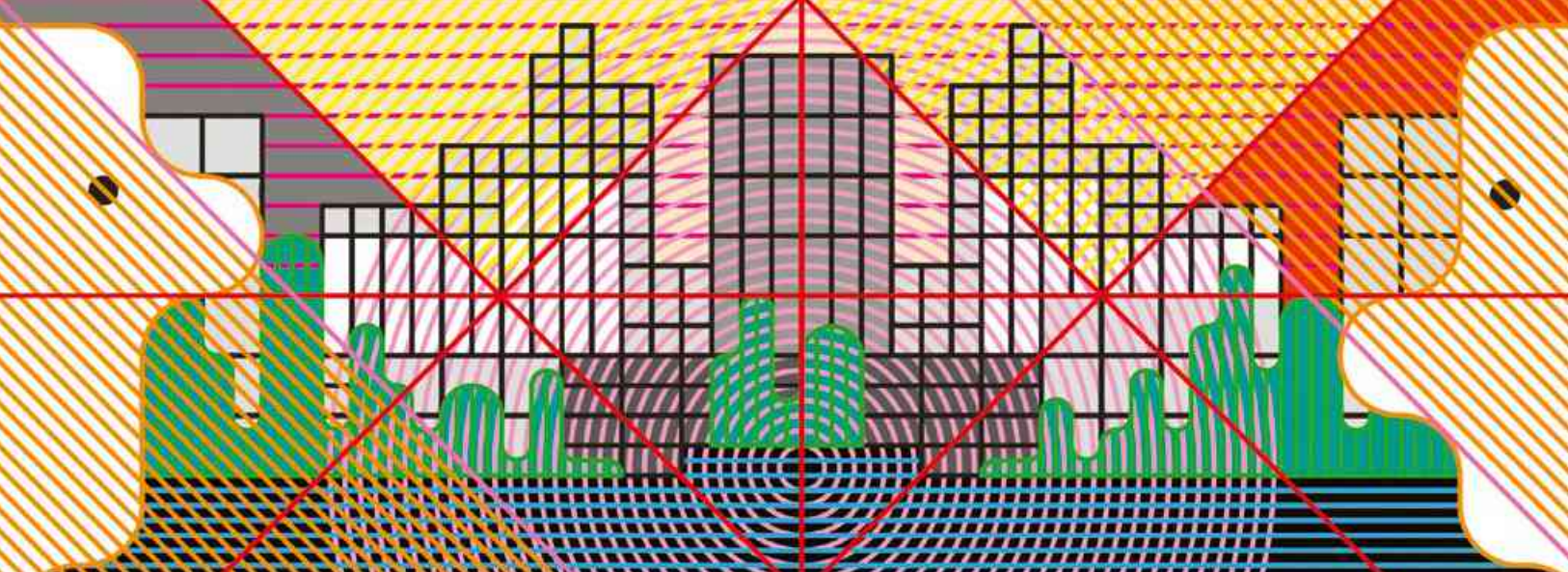
39% de SAU irriguée sur la région agricole



Haies bocagères

**374 m/l** sur

l'exploitation agricole



# 5

# URBANISME

Chaque année, entre 20 000 et 30 000 hectares d'espace naturel disparaissent en France sous la pression de l'artificialisation des sols. La loi ZAN (zéro artificialisation nette) a été promulguée pour chercher à endiguer cette tendance. L'urbanisation est, à ce titre, une des premières causes de ce phénomène, avec des répercussions importantes sur la perte de la biodiversité et l'assèchement des sols. Contenir l'extension des villes constitue, par conséquent, une priorité nationale qui demande une observation permanente des zones urbaines et une collaboration étroite des acteurs du territoire possédant une information de terrain. L'apport de l'intelligence artificielle constitue désormais un gain de temps précieux pour accélérer la connaissance du terrain et conduire les politiques publiques en matière d'urbanisme. ➔

# UN SUPERCALCULATEUR POUR SUIVRE L'ÉVOLUTION DE LA VILLE

Avec la participation de Frank Fuchs, Chef du département d'appui à l'innovation (IGN)

**Le travail de mesure à grande échelle des zones urbaines sollicite des ressources importantes en matière de modélisation et d'apprentissage machine. Pour y répondre, l'IGN exploite désormais les capacités du supercalculateur Jean-Zay, l'un des plus puissants à l'échelle française et européenne. Cette capacité alimente les politiques d'aménagement du territoire et contribue à la lutte contre l'artificialisation des sols.**

Les paysages urbains sont des territoires complexes. Ce sont des zones denses, bâties d'éléments dissemblables, d'une taille souvent réduite à l'échelle d'un territoire et dont il est parfois difficile d'en identifier les usages précis. De plus, les espaces urbains évoluent rapidement, ce qui les rend particulièrement complexes à cartographier. Un des grands défis consiste précisément à produire une segmentation sémantique de ces zones à l'issue des prises de vues aériennes réalisées. C'est-à-dire faire en sorte d'identifier chaque parcelle pour en qualifier une fonction qui lui est propre. Et qui correspond évidemment à la réalité du terrain. Ce travail mené à l'IGN contribue à nourrir les politiques d'aménagement du territoire visant à atteindre en particulier l'objectif de zéro artificialisation nette des sols fixé par le cadre de la loi Climat et Résilience, promulguée en août 2021.

## SOIXANTE MILLIARDS DE PIXELS POUR CARTOGRAPHIER LE TERRITOIRE

À l'instar du monde numérique, le territoire est quadrillé en pixels,

qui constituent la particule élémentaire de cet inventaire. Chaque pixel couvre une surface de 20 centimètres de côté et est ensuite classé selon 15 classes spécifiques. Les images captées, puis vectorisées sont ensuite vérifiées par l'œil expert des photo-interprètes, qui en précisent la classification et produisent des annotations vitales pour l'apprentissage machine. Soixante milliards de pixels ont ainsi été annotés à la main. Un volume de travail nécessaire, fruit du savoir-faire métier de l'Institut, permettant de nourrir la base de données d'occupation des sols à grande échelle (OCS GE), qui répertorie l'ensemble de ces informations.

## SUPERCALCULATEUR JEAN-ZAY : LES MOYENS POUR Y ARRIVER

C'est là que l'intelligence artificielle prend le relais de l'intelligence humaine. Car il ne s'agit pas de couvrir l'ensemble du territoire, mais plutôt de laisser à la machine le soin de le modéliser sur une base de zones représentatives définies à l'avance. Ce travail, qui demande un temps et une puissance de calcul importants

pour calibrer les modèles, est désormais fourni par le supercalculateur Jean-Zay, qui accélère ainsi le processus d'itération de l'apprentissage machine. Ainsi, grâce à ses capacités, on réalise en une demi-journée ce qui demandait 500 heures de calculs aux ordinateurs traditionnels pour bâtir des modèles. Ce gain de temps est crucial pour permettre aux ingénieurs IA de travailler dans de bonnes conditions.

Pour mener à bien ce travail de mesure à grande échelle en matière d'urbanisme, ces allers-retours entre la puissance des machines et l'expertise métier humaine sont fondamentaux. Une boucle d'interaction qui seule conditionne la qualité des données et leur efficacité. ●



**TL; DR/Too long; didn't read**

### Nous avons demandé au chat de Mistral de synthétiser cet article.

L'IGN utilise le supercalculateur Jean-Zay pour suivre l'évolution des zones urbaines, soutenant ainsi les politiques d'aménagement du territoire et la lutte contre l'artificialisation



des sols. Les villes étant complexes et en constante évolution, l'IGN produit une segmentation sémantique à partir de prises de vues aériennes, en identifiant chaque parcelle pour en qualifier l'usage précis. Le territoire est divisé en pixels de 20 centimètres de côté, classés en 15 catégories. Soixante milliards de pixels ont été annotés à la main puis vérifiés par des photo-interprètes. Le supercalculateur

accélère le processus d'apprentissage machine, réalisant en une demi-journée ce qui prenait 500 heures aux ordinateurs traditionnels, améliorant ainsi les conditions de travail des ingénieurs en IA et permettant une meilleure modélisation du territoire.

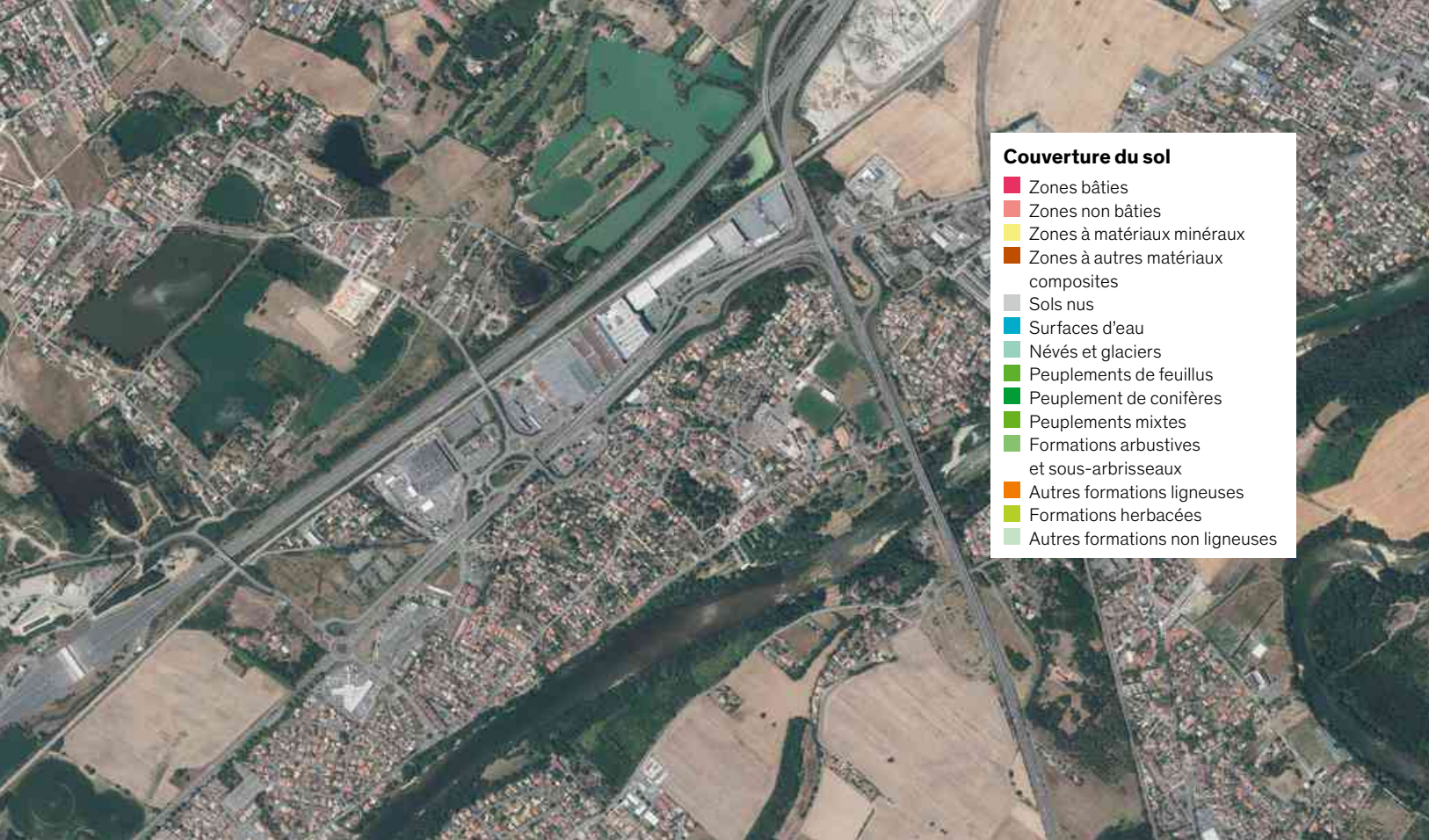


**LE CENTRE DE RECHERCHE  
PIERRE FABRE**

LIEU : TOULOUSE  
Date : 2022

-  Prise de vues aérienne
-  OCS GE

Cette cartographie nous montre en détail l'occupation du sol de plusieurs éléments clés. Le Centre de recherche Pierre Fabre, situé dans le sud-ouest de la France, est identifiable par ses bâtiments et ses espaces verts attenants. La Garonne, traversant la ville de Toulouse du nord au sud, est représentée par une large bande bleue. Un parc photovoltaïque, situé à proximité du centre (les panneaux solaires, étant surélevés au-dessus d'un sol couvert de végétation, sont cartographiés dans l'OCS GE comme des surfaces herbacées). La base verte de Pech-David Haute-Garonne, à l'est, est visible comme une grande étendue verte combinant à la fois des zones de végétation haute et des zones de végétation basse. Au sud-est, quatre stades sont identifiables sur la carte, l'un d'entre eux est représenté en rose clair, indiquant un sol imperméable. ●



### Couverture du sol

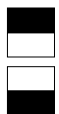
- Zones bâties
- Zones non bâties
- Zones à matériaux minéraux
- Zones à autres matériaux composites
- Sols nus
- Surfaces d'eau
- Névés et glaciers
- Peuplements de feuillus
- Peuplement de conifères
- Peuplements mixtes
- Formations arbustives et sous-arbrisseaux
- Autres formations ligneuses
- Formations herbacées
- Autres formations non ligneuses



### LES SABLIERES MALET

LIEU : PORTET-SUR-GARONNE  
(SUD DE TOULOUSE)

Date : 2022



Prise de vues aérienne

OCS GE

Sur cette carte, plusieurs éléments paysagers sont clairement représentés. Une sablière est visible au nord, identifiable par ses zones sableuses et ses activités d'extraction. La Garonne est représentée par une large bande bleue. Des lacs parsèment le paysage au nord-ouest, formant des étendues d'eau bleue qui contrastent avec les terres environnantes. De vastes champs agricoles jouxtent harmonieusement le paysage urbain dense. L'autoroute A64 traverse la zone du nord au sud-ouest, identifiable par son tracé linéaire continu. Une zone commerciale est visible aux abords de l'autoroute, représentée par une concentration de bâtiments et de parkings. ●



**COSIA : L'IA POUR UNE MEILLEURE  
COMPRÉHENSION DE L'OCCUPATION  
DU SOL FRANÇAIS**

LIEU : LE CONQUET (FINISTÈRE)

Date : 13 juin 2021

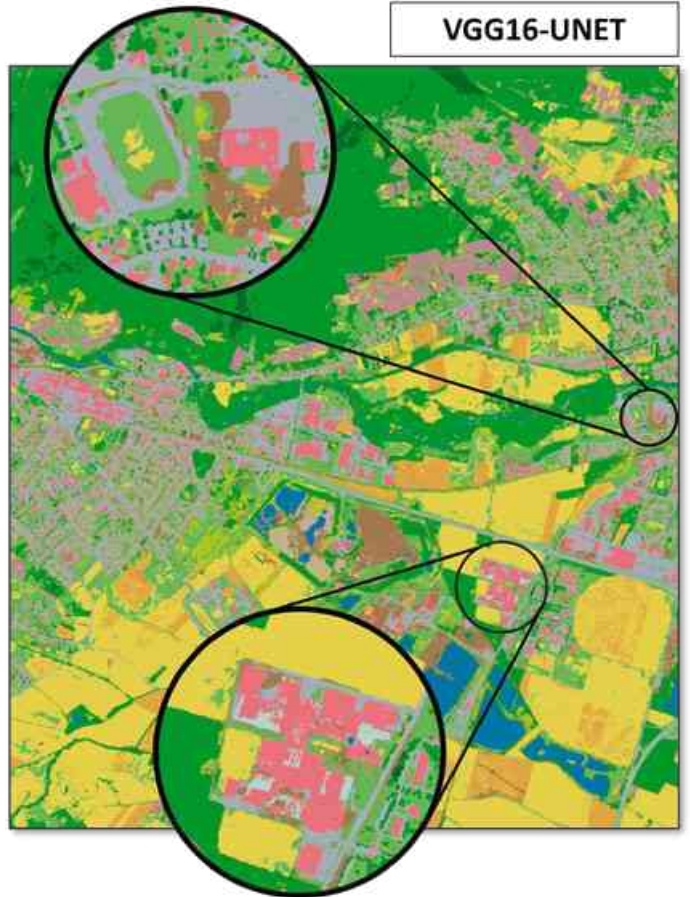
CoSIA, carte issue d'une IA qui analyse les images aériennes de l'IGN, permet le suivi de l'occupation du sol sur tout le territoire français. CoSIA en fournit une vue instantanée, aide à identifier les tendances et contribue aux politiques d'aménagement du territoire. Le visuel souligne les zones artificialisées, agricoles, herbacées et arborées. L'IA montre ici tout son potentiel pour comprendre et gérer notre environnement. ●

**Légende**

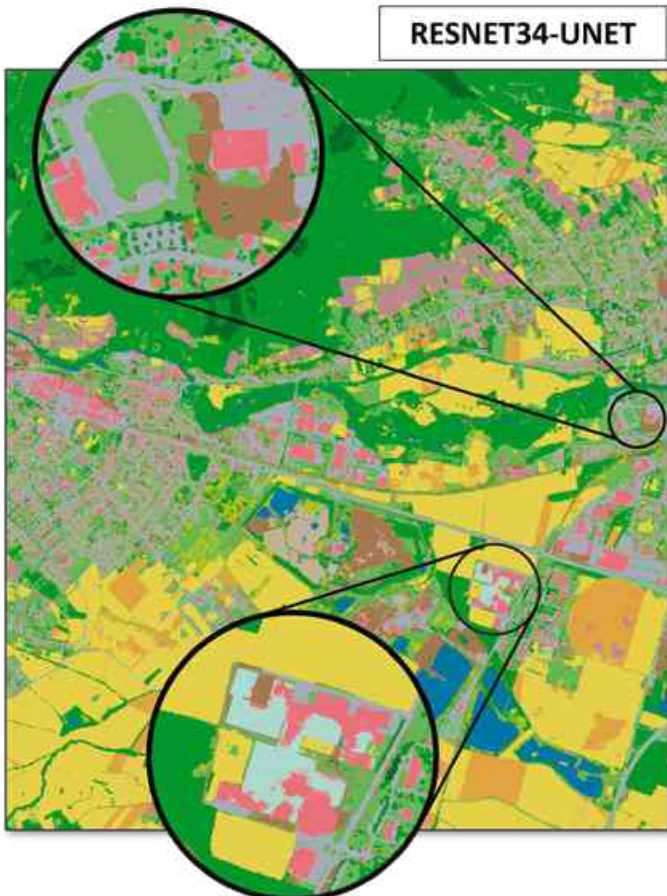
- Bâtiments
- Zones imperméables
- Zones perméables
- Piscines
- Sols nus
- Surfaces d'eau
- Neiges
- Conifères
- Feuillus
- Broussailles
- Vignes
- Surfaces herbacées
- Cultures
- Terre labourée
- Serres



VGG16-UNET



RESNET34-UNET



SWIN-UPERNET



**FLAIR : STIMULER L'INNOVATION  
EN IA POUR L'ANALYSE GÉOGRAPHIQUE**  
LIEU : CERNAY (HAUT-RHIN)  
Date : 8 septembre 2021

Sous le label FLAIR, l'IGN a initié plusieurs défis (FLAIR #1 et FLAIR #2) sur l'occupation des sols et la donnée géographique à l'attention de la communauté scientifique et technique. En partageant données, codes et modèles, ces défis offrent une contribution active à l'amélioration des performances de l'IA. Cette veille technologique permet à l'Institut de créer des cartes plus précises, comme l'illustre l'évolution des architectures de production. ●



**LE PROJET ANR HIATUS**  
par Célestin Huet,  
Ingénieur d'études innovation  
à l'IGN ↓

**Le projet HIATUS (Historical Image Analysis for Territory Evolution Stories) a pour objectif de produire des séries temporelles d'orthophotographies et de modèles numériques de surface afin de retracer les évolutions des territoires, notamment en termes d'occupation des sols.**

Le projet a vu le jour grâce à la numérisation des prises de vues argentiques aériennes réalisées par l'IGN depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale jusqu'aux années 2000. Plus de 3 millions de photographies représentant 26 000 zones ou chantiers constituent aujourd'hui ce fonds photographique et documentaire. Un des enjeux du projet est donc d'automatiser au maximum la production de ces orthophotographies historiques, ce qui nécessite en particulier d'identifier dans les clichés des points d'appui, c'est-à-dire des points de référence dont on peut retrouver les coordonnées terrain. Pour ce faire, des algorithmes de traitement d'image, reposant pour certains sur des techniques d'IA, ont été mis en œuvre afin d'identifier automatiquement, et bien plus rapidement que ne le ferait l'action humaine seule, des points communs entre une photographie ancienne et une orthophotographie récente (donc déjà bien géoréférencée) d'un même territoire.

Ce projet partenarial a été financé par l'Agence nationale de la recherche et développé à l'IGN au sein de l'UMR LASTIG. ●

**IDENTIFICATION DE POINTS D'APPUI PAR L'IA**  
LIEU : PROVINS (SEINE-ET-MARNE)  
Dates : 1972 et 2021

Pour géoréférencer une image, on a besoin de points d'appui, c'est-à-dire de points dont les coordonnées exactes en France sont connues. Voici deux orthophotographies de Provins, l'une en 1972 et l'autre en 2021. L'IA a identifié, rapidement et automatiquement, de nombreux points identiques entre les deux images. L'image actuelle étant géoréférencée, on connaît les coordonnées des points d'appui : on peut donc localiser l'image ancienne. ●





**L'ÉVOLUTION DE L'OCCUPATION  
DU TERRITOIRE**

LIEU : LA DÉFENSE (PARIS)

Dates : 1921, 1950, 1960, 1963, 1971 et 1983

Voici six images de La Défense, à Paris, où le terrain a été complètement transformé en cent ans. L'IA n'est pas capable de géoréférencer l'image de 1921 à partir de l'orthophotographie actuelle. Cependant, il est possible de localiser l'image de 1983 et de s'en servir pour localiser l'image de 1971 et ainsi de suite sans perdre trop en précision. Ces séries temporelles sont utiles pour étudier ensuite l'évolution de l'occupation du territoire. ●



## LE PROJET SIMPLU3D

par Julien Perret,  
Directeur de recherche à l'IGN ↓

**Le projet SimPLU3D est un projet innovant dans le domaine de la simulation urbaine.**

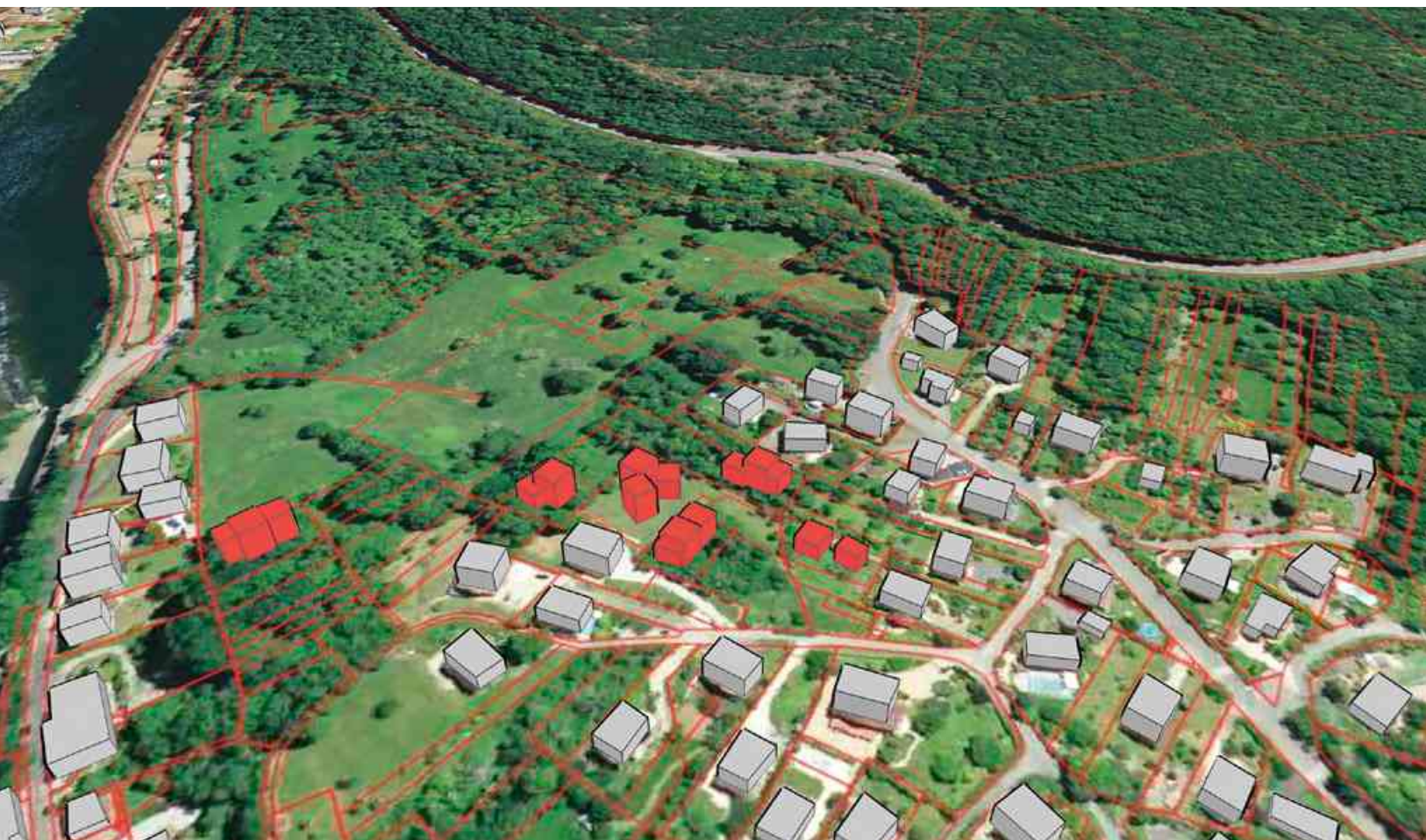
SimPLU3D est un modèle grâce auquel on peut simuler des formes bâties 3D en tenant compte des contraintes morphologiques, telles que celles issues des plans locaux d'urbanisme (PLU). Cette approche permet de modéliser l'impact des réglementations locales sur le développement urbain, répondant à des questions cruciales sur la densité de construction, l'évolution des quartiers et les risques de construction nuisant à l'environnement. Pour explorer ce modèle, nous travaillons avec l'équipe OpenMOLE de l'Institut des systèmes complexes (ISC-PIF).

Notre collaboration porte aussi sur ArtiScales, un couplage de modèles grâce auquel on peut simuler des développements résidentiels sur plusieurs échelles. Il vise à formaliser les contraintes d'aménagement et d'urbanisme grâce à plusieurs modélisations, puis de simuler les effets combinés de divers documents de planification sur le développement résidentiel d'une région urbaine. En couplant les modèles SimPLU3D, Parcel Manager et MUP-City, ArtiScales facilite la construction de scénarios de développement et la comparaison de différentes options pour guider la rédaction de documents d'aménagement et de planification. L'IA permet d'automatiser et d'optimiser les processus d'intégration et de simulation, offrant une analyse plus rapide et précise des impacts des réglementations urbaines sur le développement résidentiel. De plus, l'IA peut aider à identifier des solutions efficaces pour atteindre des objectifs spécifiques en matière d'aménagement urbain. ●

### COMPARAISON DE LA SITUATION INITIALE DE LA VILLE AVEC UN SCÉNARIO DE SIMULATION DE L'URBANISATION

LIEU : CHAUCENNE (DOUBS)  
Date : juin 2024

Ces quatre visuels permettent de comparer la situation initiale d'une ville à un scénario de simulation de l'urbanisation. Ces simulations sont réalisées en utilisant ArtiScales et SimPLU3D. Les bâtiments existants sont en gris et les bâtiments simulés en rouge. Ces scénarios sont notamment déterminés par l'intensité et le contraste du développement résidentiel (voir thèse de Maxime Colomb). Ils sont de plus influencés par les objectifs de création de logements du programme local de l'habitat (PLH) du Doubs. ●



LIEU : AVANNE-AVENEY (DOUBS)  
Date : juin 2024

**Références bibliographiques :**

Mickaël Brasebin, Julien Perret, Sébastien Mustière, Christiane Weber. «3D urban data to assess local urban regulation influence». Computers, Environment and Urban Systems, 2018, 68, pp. 37-52. 10.1016/j.compenvurbsys. 2017.10.002. hal-03766235

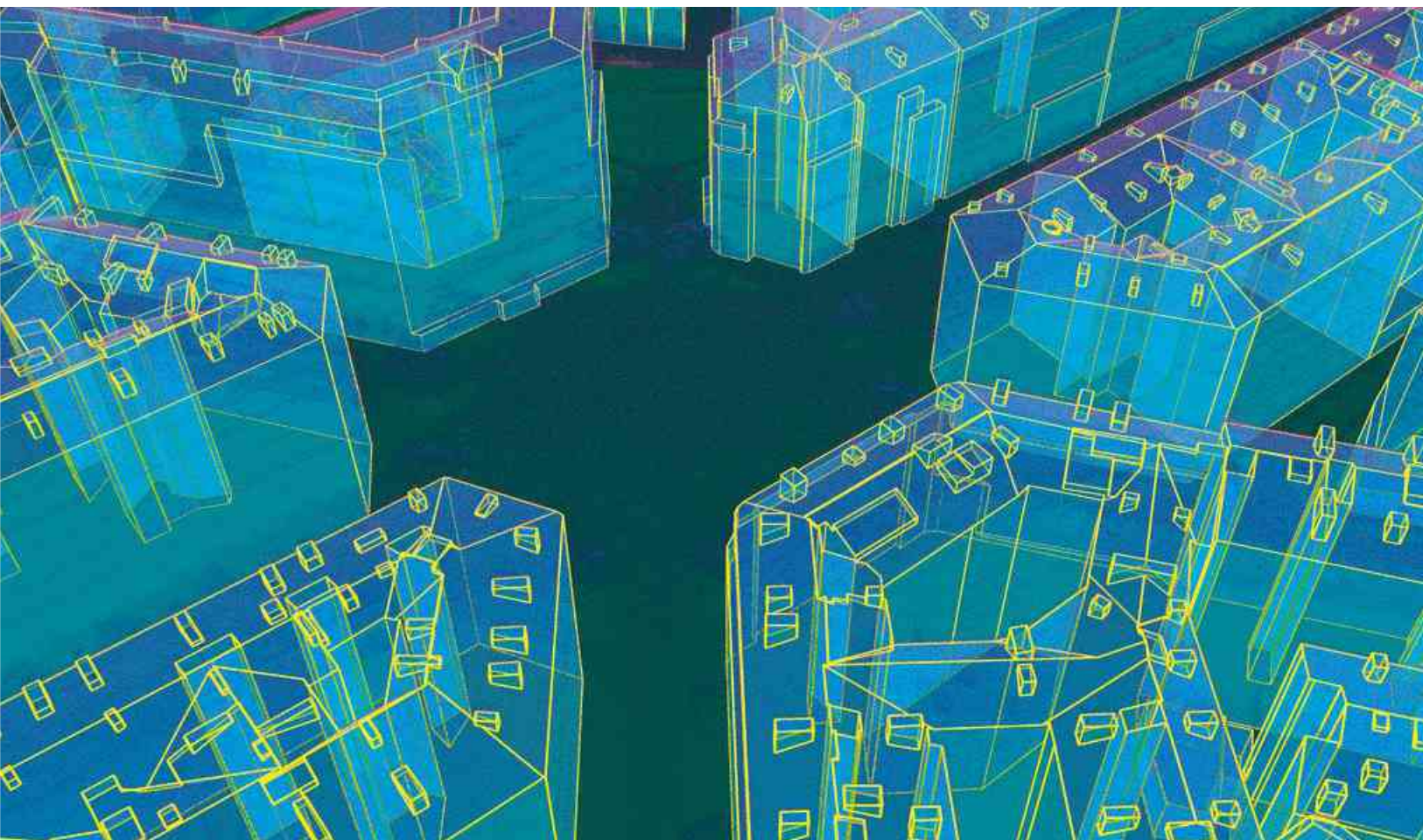
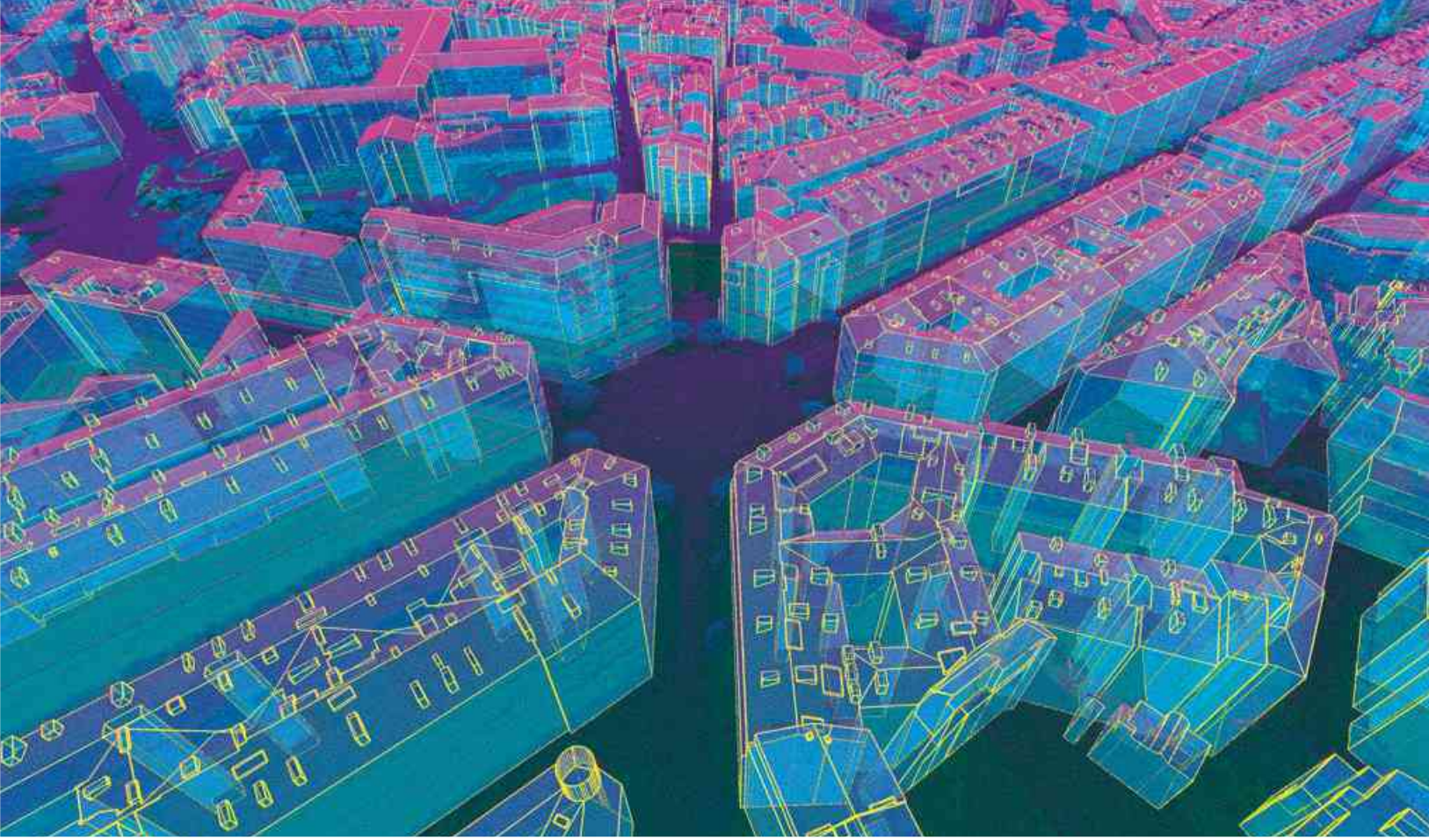
Maxime Colomb. «Simulation de formes réalistes de développement résidentiel, de l'échelle du bâtiment à celle de l'ensemble d'une région urbaine». Modélisation et simulation. Université Paris-Est Marne-la-Vallée, 2019. Français. NNT : tel-02497711 ●



**RECONSTRUCTION AUTOMATIQUE  
EN 3D DE BÂTIMENTS DEPUIS  
UN NUAGE DE POINTS LIDAR HD**

LIEU : MARSEILLE  
Date : 2022

Voici un exemple de reconstruction automatique en 3D, en jaune, d'un environnement urbain à Marseille, réalisée grâce à l'intelligence artificielle et à la géométrie computationnelle à partir d'un nuage de points LiDAR HD. Cette technologie de reconstruction, développée par LuxCarta (SimpliCity), illustre parfaitement les capacités avancées de ces outils modernes. ●





# ÉNERGIE

Les sujets liés à la production et à la performance énergétiques sont désormais des enjeux stratégiques nationaux pour assurer la transition énergétique du pays. On comprend, dès lors, l'importance d'une collaboration étroite de tous les acteurs de l'observation du territoire permettant d'acquérir une connaissance fine de ses propriétés. L'IA ouvre, à ce titre, des perspectives inédites pour modéliser le territoire et révéler le potentiel d'implantation des énergies renouvelables ainsi que pour visualiser leurs impacts éventuels sur l'environnement. En croisant les faisceaux d'informations multiples, comme la durée d'ensoleillement, le relief ou encore la force des vents, l'IA permet d'acquérir une connaissance fine des propriétés du territoire et de nourrir, par la suite, la puissance publique. ➔

# LE JUMEAU NUMÉRIQUE AU SERVICE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Avec la participation de Claude Penicand, Directeur adjoint des programmes et de l'appui aux politiques publiques, délégué à la stratégie (IGN)

**L'énergie est un domaine complexe, autant par le nombre d'acteurs qu'il convoque que par les enjeux stratégiques qu'il représente en matière de souveraineté, de développement économique et d'environnement. En regroupant ces acteurs autour de la donnée géographique et de solutions techniques, l'IGN entend stimuler l'innovation et développer des cas d'usage en appui de la transformation énergétique du pays. Une ambition qui rejoint l'objectif de faire émerger un jumeau numérique couvrant tout le territoire.**

La circulation de la donnée constitue un élément essentiel pour la maîtrise de l'énergie. Elle permet de mesurer l'efficacité de la chaîne énergétique et d'en optimiser les flux. Deux conditions cruciales dans une période de transition énergétique devenue priorité nationale. Et un domaine où l'intelligence artificielle revêt une importance capitale pour faire parler une information souvent disparate et massive. En tant qu'opérateur des données géographiques, l'Institut se positionne comme chef d'orchestre d'une information au service de cette transformation. Avec pour volonté de mettre à disposition des collectivités mais aussi de l'écosystème d'innovation, un socle de données et des outils permettant d'améliorer l'usage des réseaux et d'assurer le déploiement des énergies renouvelables sur le territoire.

## FÉDÉRER ET SOUTENIR L'INNOVATION

Lancé en 2023 avec le concours du Cerema et du ministère de la Transition énergétique, le portail cartographique des énergies renouvelables (EnR), recensant toute l'information

disponible, symbolise la volonté de l'Institut de fédérer l'écosystème autour d'outils partagés. Au même titre que la mobilisation du savoir-faire de la start-up namR, au travers du réseau Datalliance, pour un projet de cartographie par IA des parcs de panneaux photovoltaïques au sol. L'ambition de l'IGN est ici de jouer les agents fédérateurs autour des données et de contribuer à faire émerger des expérimentations faisant avancer l'état de l'art.

## DE L'IA AU JUMEAU NUMÉRIQUE

Derrière les capacités de modélisation de l'IA émerge un grand nombre d'opportunités en matière de maîtrise de l'énergie, comme la capacité à prédire avec précision la consommation future, à optimiser la distribution et les capacités de stockage, à présumer des pannes ou des dysfonctionnements du réseau, à réguler la consommation des bâtiments et des véhicules grâce à l'émergence des objets communicants et à assurer de la maintenance prédictive. Autant de mesures et de simulations qui font percevoir les marges de progrès dans le domaine énergétique.

Dans ce cadre, la volonté de faire émerger un jumeau numérique du territoire permettant de contextualiser les données et de tester un certain nombre d'hypothèses en temps réel pousse encore plus loin ces perspectives.

## L'AMBITION D'UN JUMEAU NUMÉRIQUE NATIONAL

Le principe des jumeaux numériques territoriaux n'est pas nouveau. Mais les initiatives manquent encore de cohésion. Elles se partagent entre des projets locaux, souvent portés par des collectivités, qui couvrent un territoire limité et des projets nationaux dédiés à un domaine métier, tels que ceux pris en charge par les énergéticiens sur des problématiques qui leur sont propres. L'ambition de l'Institut est ici aussi de faciliter la mutualisation des initiatives pour faire émerger progressivement un jumeau numérique national, interopérable, offrant une capacité d'analyse multithématique afin de confronter les interactions entre différents choix de politique publique. Un espace appelé à s'enrichir à l'avenir. ●



**TL; DR/Too long; didn't read**

## Nous avons demandé au chat de Mistral de synthétiser cet article.

Le jumeau numérique est un outil essentiel pour la transition énergétique, permettant de modéliser le potentiel des énergies

renouvelables et d'évaluer leur impact sur l'environnement. L'IGN joue un rôle clé dans la circulation des données nécessaires à la maîtrise de l'énergie. En tant que chef d'orchestre, l'IGN fédère les acteurs et met à disposition des collectivités et des entreprises innovantes un socle de données et des outils pour optimiser l'usage des réseaux

et déployer les énergies renouvelables. L'IA offre de nombreuses opportunités pour la maîtrise de l'énergie, telles que la prédiction de la consommation future et la maintenance prédictive.

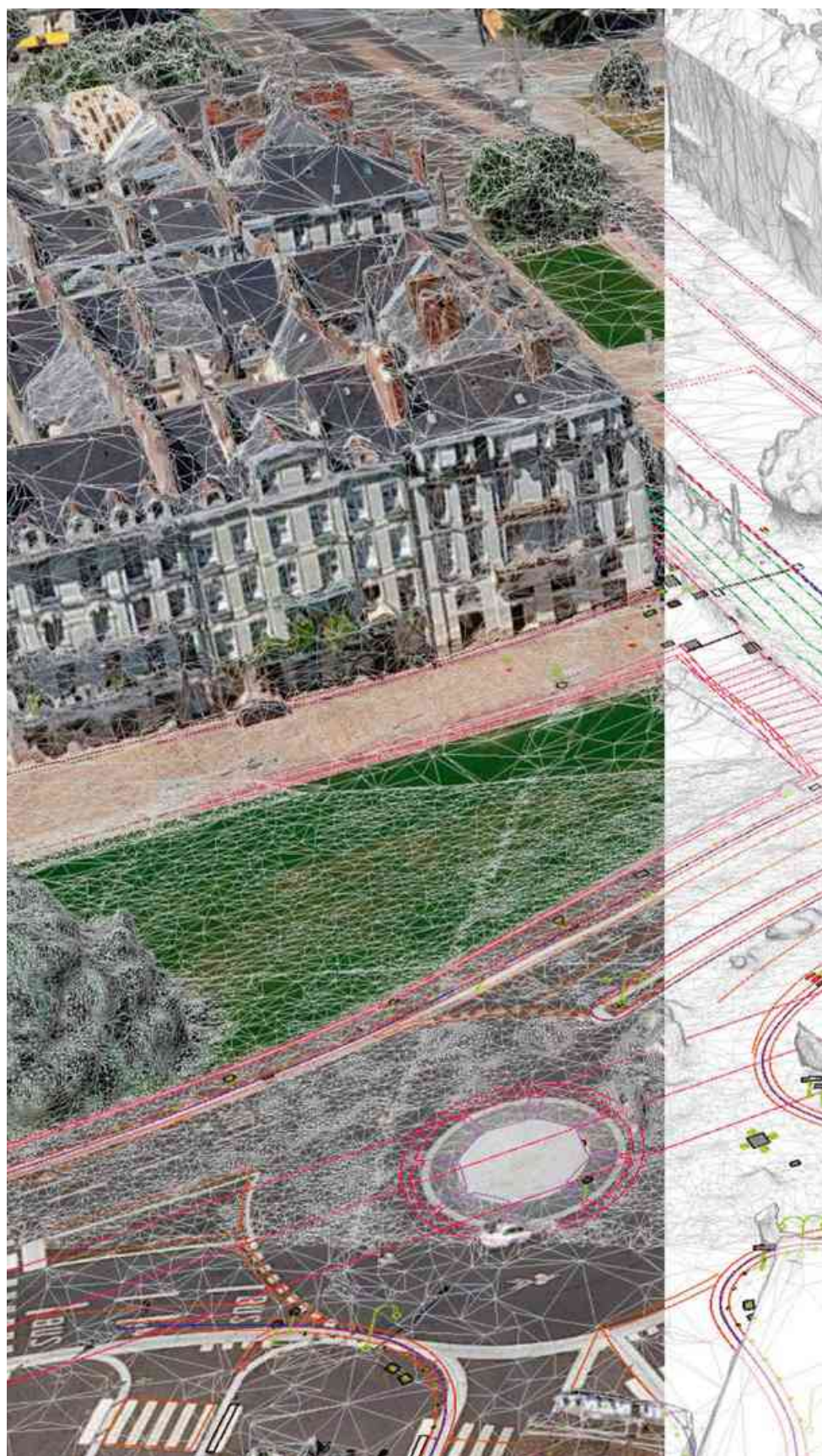


## LE PROJET JUMEAU NUMÉRIQUE

**Pour relever les défis environnementaux, dont celui de la transition énergétique, les politiques publiques doivent se doter de nouveaux outils.**

En mai dernier, l'IGN, le Cerema et Inria ont lancé un appel à communs pour construire le Jumeau numérique de la France et de ses territoires. Cet appel invite tous les acteurs publics et privés (État, collectivités, organismes de recherche, associations, start-up, industriels) à rejoindre l'équipe de France du jumeau numérique que souhaitent impulser les trois institutions. Le Secrétariat général pour l'investissement (SGPI) a en effet donné mandat aux trois établissements pour façonner ce projet de jumeau numérique dans le cadre de France 2030. Objectif : approfondir certains cas d'usage, mutualiser les initiatives, passer à l'échelle nationale des solutions partielles, ou encore dessiner un futur socle technique partagé.

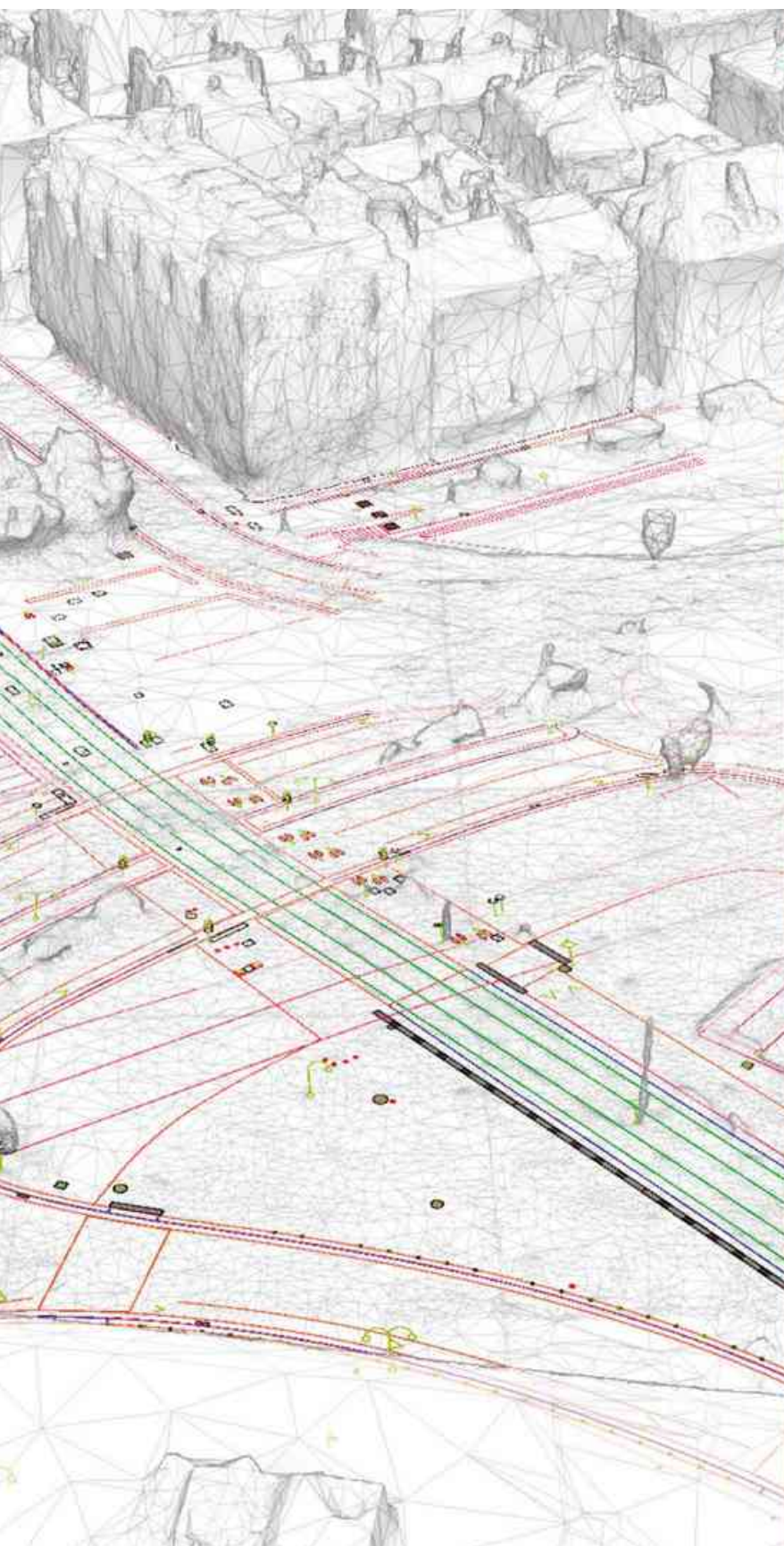
À terme, cette réplique du territoire permettra de mieux comprendre les phénomènes qui agitent celui-ci, mais aussi d'imaginer, d'anticiper et de simuler son évolution sur de nombreux plans, allant de la transition énergétique à l'aménagement, en passant par la gestion durable des ressources agricoles et forestières, ou encore par la prévention des risques naturels. L'IA jouera un rôle central : tout d'abord, dans la production des données – dont les millions obtenues dans le cadre du programme LiDAR HD – ; ensuite, dans la simulation de différents scénarios ; enfin, l'IA pourrait être le moteur d'une interface accessible aux utilisateurs non spécialistes, qui leur permettrait d'explorer la richesse des données et de ses potentialités. ●



**PHOTOMAILLAGE 3D  
DE LA VILLE DE NANTES**  
LIEU : NANTES (LOIRE-ATLANTIQUE)  
Date : 2022

Photomallage 3D de la ville de Nantes réalisé à partir de prises de vues aériennes PCRS (plan de corps de rue simplifié). L'illustration montre la version texturée avec le maillage filaire de la géométrie, puis une version non texturée au centre et la version texturée sans la géométrie filaire à droite. La précision de ce photomallage 3D permet la superposition





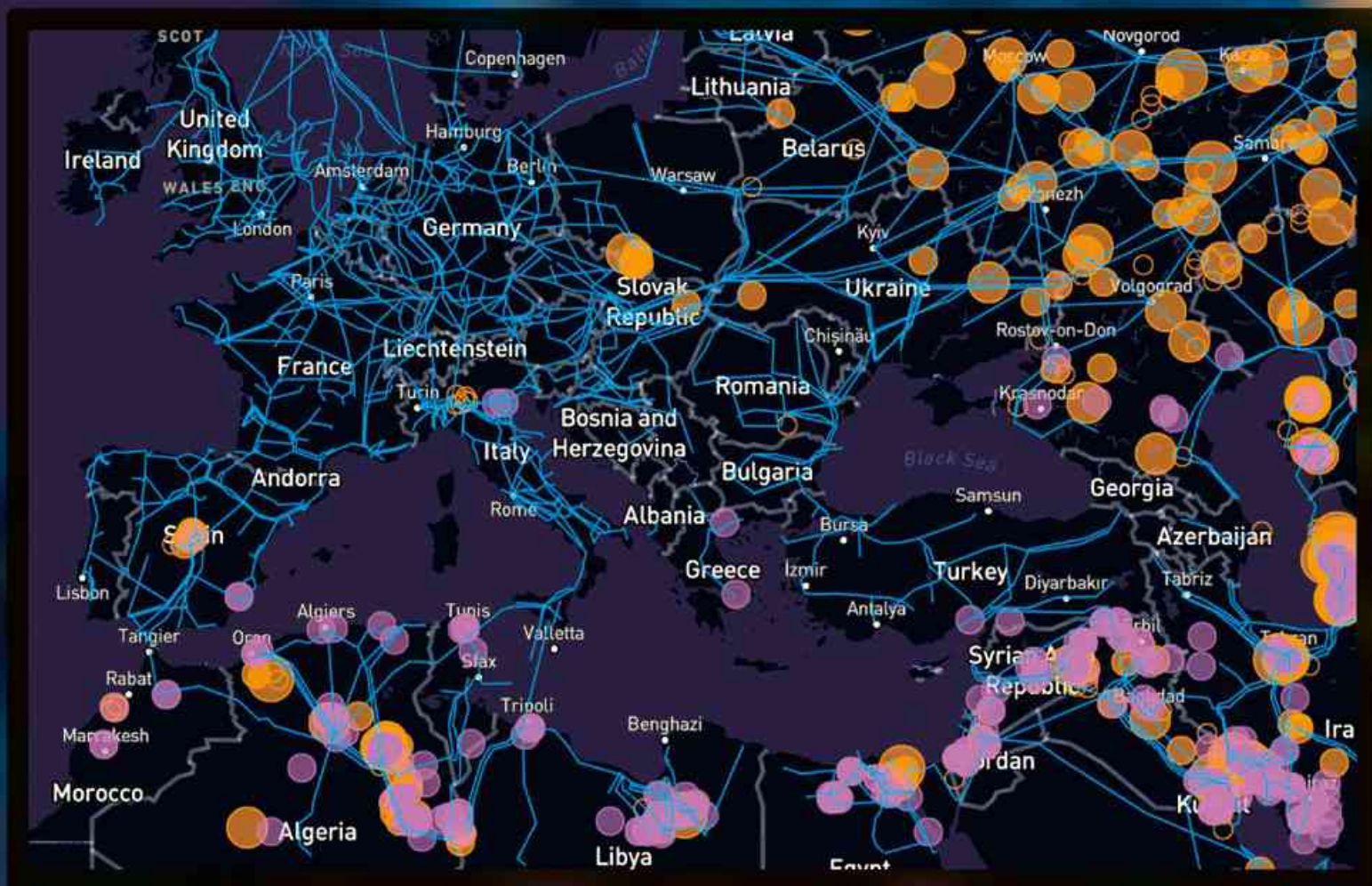
avec les objets vecteurs constitutifs d'un PCRS. L'IA facilite la production de ce type de maquette numérique (extraction automatique d'objets), mais conçoit également des modèles de simulation de certains phénomènes s'appliquant à l'environnement décrit par la maquette numérique, c'est-à-dire le flux de circulation en fonction des jours et des horaires.

© GEOFIT- IGO - PhotoMaillage 3D de Nantes - Utilisation PVA PCRS 5 cm - Vecteurs PCRS - 2022. ●



**CARTE DES DÉTECTIONS  
DE SUPER-ÉMETTEURS DE MÉTHANE**  
LIEU : FRANCE MÉTROPOLITAINE  
Dates : janvier 2021 - décembre 2023

L'entreprise d'ingénierie environnementale Kayrros utilise des satellites et l'intelligence artificielle pour détecter les fuites de méthane. Cette carte représente les détections par satellite des sites ultra-émetteurs de méthane (>100 kg/heure) de janvier 2021 à décembre 2023 en France métropolitaine. Hormis un panache de gaz d'une décharge à ciel ouvert dans le nord de la France, la carte ne recense aucune autre émission. ●



LIEU : EUROPE  
 Dates : janvier 2022-décembre 2023

La carte Europe et du bassin méditerranéen de janvier 2022 à décembre 2023 permet de visualiser en orange et mauve les émissions issues de multiples secteurs et sources. Les pipelines en bleu offrent une représentation des émissions importées. ●

**Satellites**

- Sentinel-5P
- EMIT

**Données supplémentaires**

- ≡ Pipelines

**Taux d'émission de CH<sub>4</sub> (t/h)**

- >150 (t/h)
- <10 (t/h)



## LE PROJET DE DÉTECTION DU POTENTIEL PHOTOVOLTAÏQUE DES BÂTIMENTS

par Annelise Castres Saint Martin,  
Chief product officer chez namR ↓

Créée en 2017, namR a développé une IA dédiée à l'avenir écologique de l'habitat, pour que celui-ci soit toujours habitable en 2050.

Membre du réseau Datalliance de l'IGN (le réseau de partenaires publics et privés combinant le meilleur des savoir-faire technologiques innovants), namR s'appuie sur des techniques de l'intelligence artificielle que sont le Machine Learning, le Deep Learning ou le Computer Vision. L'objectif est de modéliser un ensemble de données inédites sur les logements recueillies auprès de centaines de milliers de sources parmi lesquelles, par exemple, l'IGN, les régions ou encore l'ADEME, données complétées et enrichies par les prédictions des algorithmes.

La solution permet ainsi aux institutions publiques, aux assureurs, aux banques et à tous ceux qui accompagnent la transformation de l'habitat, de connaître le potentiel des logements et d'accompagner l'action avec des propositions personnalisées à l'adresse.

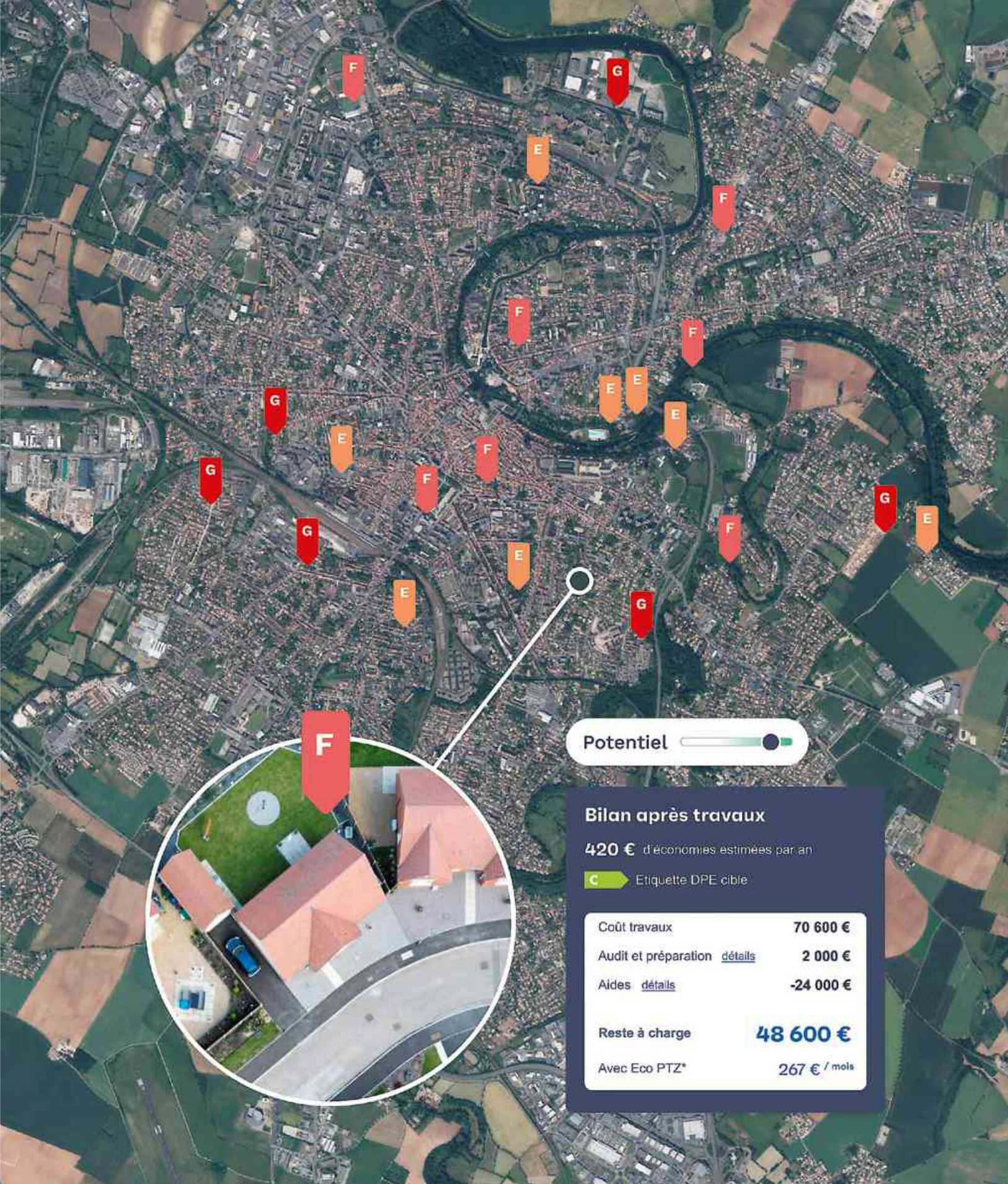
Grâce à ce modèle de données unique, il est désormais possible pour tous ces acteurs de visualiser les potentialités d'un logement en termes d'énergies renouvelables, de rénovation énergétique, d'adaptation aux risques climatiques, et de qualifier chaque projet pour mieux décider (coûts et bénéfices associés à chaque action). Aujourd'hui, namR est capable de fournir les données énergétiques et climatiques pour décider de l'avenir de 100 % des logements français. ●



### CONNAÎTRE LE POTENTIEL SOLAIRE DES TOITS POUR ACCÉLÉRER LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

LIEU : CENTRE-VILLE D'UNE VILLE CÔTIÈRE DU SUD-OUEST DE LA FRANCE  
Date : juin 2024

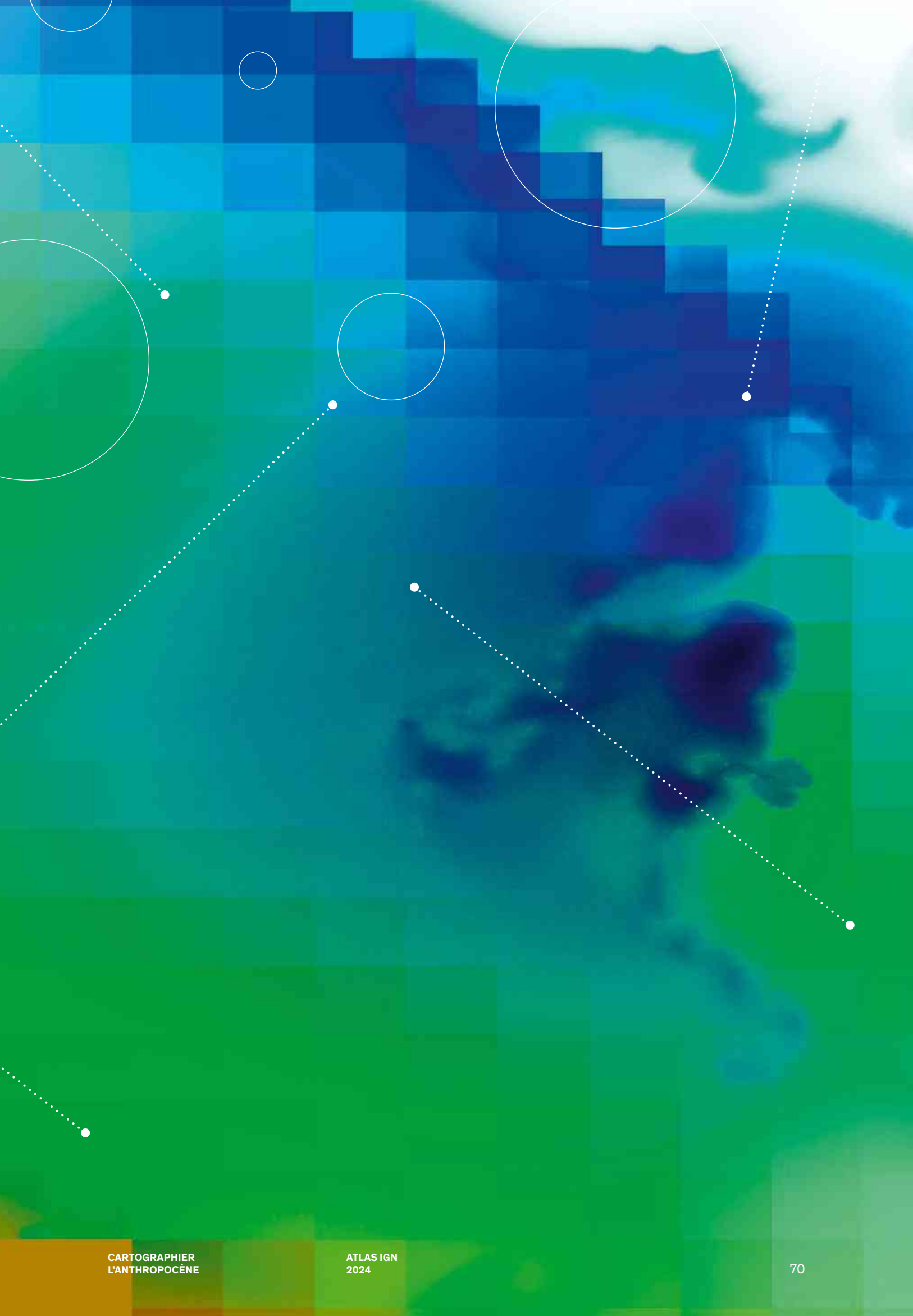
L'algorithme identifie la configuration optimale pour l'installation de panneaux solaires sur le toit, puis des informations concrètes sur le projet sont restituées : le coût, les économies réalisables, le carbone évité. ●



**CONNAÎTRE LE POTENTIEL DE RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DE CHAQUE LOGEMENT**

LIEU : CENTRE URBAIN D'UNE VILLE MOYENNE  
Date : juin 2024

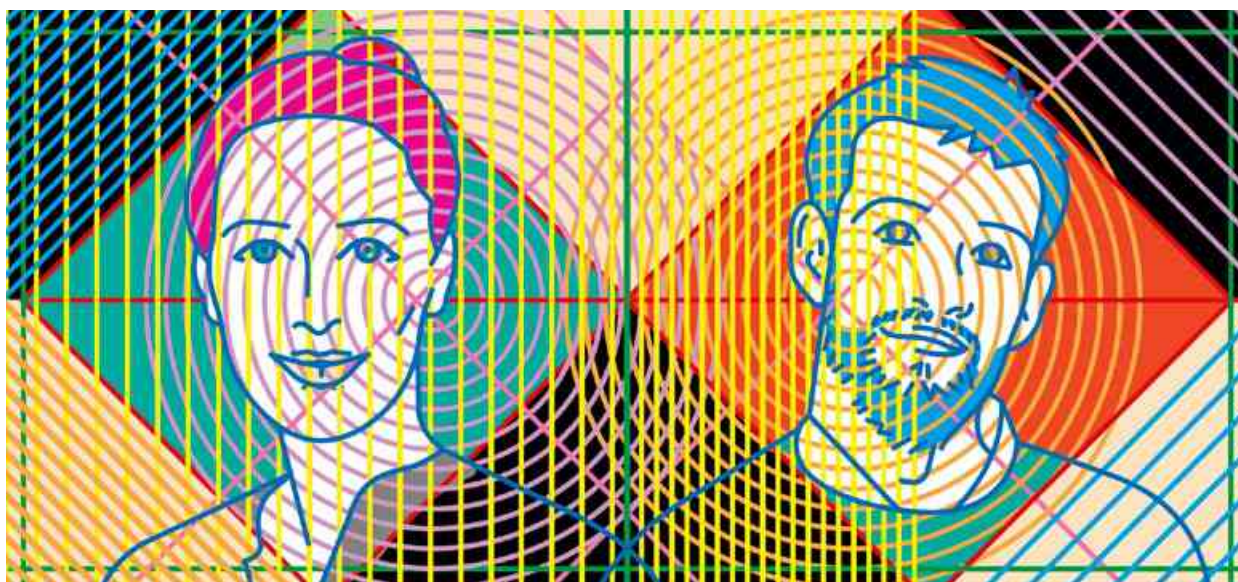
La start-up namR prédit le diagnostic de performance énergétique (DPE) de chaque logement et propose des scénarios de rénovation, configurables en fonction du budget. Chacun d'entre eux est caractérisé en termes de coûts, en tenant compte des aides publiques disponibles, et d'économies d'énergie. ●



# « WHAT IF MACHINES COULD DO MORE THAN THINKING? »\*

Des données plus fines, une collecte qui s'automatise, des modèles robustes qui ne cessent d'être optimisés... l'IA nourrit un imaginaire des possibles qui doit et devra se conjuguer avec une démarche visant à limiter son impact énergétique. L'IA a fait son entrée au cœur des organisations, il s'agit désormais de l'accompagner collectivement, et de lui donner ce cadre propice à l'innovation au service du plus grand nombre jusqu'à ce qu'elle fasse partie du quotidien de tous. Mais sous quelle forme? L'avenir est en cours d'écriture. →

\* « Et si les machines pouvaient faire *plus* que penser? »



**VALENTINE BRUYERRE (V.B.)**

Responsable de la stratégie Datalliance  
et chargée de partenariats industriels (IGN)

**NICOLAS BERTHELOT (N.B.)**

Responsable de la Fabrique des géocommuns (IGN)

## CONSTRUIRE UN AVENIR (GÉO)COMMUN

Dans le cadre de ses dispositifs d'innovation Datalliance et de la Fabrique des géocommuns, l'IGN introduit un principe crucial : favoriser le faire-ensemble autour de la donnée géographique. Ces approches visent à stimuler l'émergence d'innovations et la création de nouveaux services d'observation du territoire. Le développement de l'expertise IA s'enrichit également au travers de ces démarches.

**En quoi le principe de géocommuns constitue-t-il une transformation dans la manière dont l'IGN appréhende la donnée géographique ?**

**N.B.** L'enjeu des géocommuns est, pour l'IGN, de se mettre dans une position de ne plus être seul propriétaire de la donnée produite. On passe d'une situation d'entretien et de valorisation d'un référentiel à une logique de contribution à un commun de l'information géographique. Ce n'est pas toujours simple, car il y a un rapport affectif aux marques propres de l'IGN, comme la BD TOPO® ou le Géoportail. Le fait de se dire que ces données appartiennent désormais à tout le monde est un réel changement culturel. Mais c'est aussi un horizon qui séduit.

**V.B.** En janvier 2021, le passage à l'open data des données IGN a permis à un plus grand nombre d'acteurs de se saisir des données de l'Institut. Issu d'une transposition dans le droit national d'une règle européenne, l'open data a pour objectif de démocratie en permettant l'accès à la donnée publique, ainsi que celui d'encourager le développement économique. Depuis, des acteurs connus comme nouveaux se sont saisis de ces données ouvertes pour proposer des services inédits. En se positionnant dans des démarches d'innovation ouverte, telles que la Fabrique des Géocommuns ou Datalliance, l'IGN se tourne vers ces acteurs qui ont pensé des nouveaux usages valorisant la donnée géographique.

**Justement, pouvez-vous nous expliquer comment se crée cette dynamique de contribution aux géocommuns ?**

**N.B.** En entrant dans une logique de collaboration, celles et ceux qui participent à la production d'une ressource se mettent non seulement en situation de réutilisation, mais aussi de contribution. On le voit bien dans des projets comme OpenStreetMap. Pendant plusieurs années, des collectivités ont préféré ce service car elles pouvaient l'enrichir de leurs propres informations. Impliquer les individus dans une telle mécanique, c'est aussi leur permettre d'en être ambassadeurs. L'appropriation contribue au succès d'un projet.



*« La coopération nous permet de sortir de notre posture d'experts et de reconnaître que d'autres acteurs peuvent réaliser des choses auxquelles nous n'aurions pas pensé. »*

— VALENTINE BRUYERRE

**V.B.** Il y a aussi l'idée qu'on ne peut pas tout concevoir seul, ni prévoir tous les usages possibles de nos données. La coopération nous permet de sortir de notre posture d'experts et de reconnaître que d'autres acteurs peuvent réaliser des choses auxquelles nous n'aurions pas pensé, que ce soit à cause de verrous technologiques ou capacitaires. Travailler en commun nous permet de valoriser d'autres innovations, toujours dans l'objectif de produire un meilleur service public.

**Comment se crée cette rencontre entre l'IGN et les différents acteurs de cette dynamique collaborative, notamment pour les dispositifs Datalliance et la Fabrique des géocommuns ?**

**N.B.** La Fabrique des géocommuns fonctionne à travers un système d'appels qui a trois objectifs : identifier des problématiques sur lesquelles il y a des attentes de communs, repérer des porteurs de solutions et trouver des partenaires pour coconstruire. C'est, par exemple, ce que l'on mène sur le projet de jumeau numérique de la France, on a lancé un appel à communs afin de constituer une équipe qui rassemble différents profils d'acteur pouvant chacun jouer un rôle.

**V.B.** Datalliance permet de développer une complémentarité entre trois typologies d'acteur. Premièrement les commanditaires publics, comme les ministères, qui expriment des besoins à l'échelle nationale et engagent les financements. Ensuite les experts publics, comme l'IGN, qui peuvent contribuer de leur expertise sur des sujets communs identifiés et s'enrichir de l'innovation ouverte. Enfin, les start-up et les PME nationales, qui proposent des outils ou des services numériques innovants autour de la géodonnée, et qui ont dépassé l'étape du POC mais connaissent des difficultés à passer à l'échelle.

L'enjeu est de faire discuter ensemble ces acteurs autour de problématiques identifiées, pour faire émerger des pistes de coopération.

**Comment l'IA intervient-elle dans ces mécanismes de collaboration ?**

**N.B.** Dans le cadre de la Fabrique des géocommuns, je raconte souvent que l'IGN est en position d'« encapaciteur » à faire du Machine Learning. La Fabrique travaille aussi bien sur la production de référentiels de données dont les algorithmes sont friands, que dans le développement de ces algorithmes. Par exemple dans Panoramax, on développe, à partir d'annotations collaboratives, des outils de traitement des images et de détection d'objets.

**V.B.** Avec Datalliance, on a un enjeu d'identifier des acteurs en pointe sur certaines technologies, dont l'IA. Or, ce n'est pas toujours très simple de définir l'IA, de déterminer où elle commence et où elle finit... Les limites sont parfois fines. Il s'agit de comprendre, au moment de la sélection des membres du réseau, comment ils utilisent l'IA. Les 12 entreprises qui font partie de Datalliance revendiquent toutes le fait de faire de l'IA, mais pas nécessairement à la même échelle ni à la même étape. Certaines produisent des données permettant l'entraînement des modèles. D'autres se concentrent sur le traitement ou la diffusion de la donnée.

**Quels sont les arguments apportés par l'IGN pour initier ces partenariats ?**

**N.B.** Dans ces partenariats, la proposition de valeur essentielle de l'IGN repose sur sa position d'intermédiaire de confiance, à plusieurs titres. En tant qu'établissement public, nous avons une vocation de service public qui rassure les interlocuteurs nationaux, à plus forte raison en l'absence de but lucratif. Nous sommes aussi identifiés comme producteur d'une donnée socle fiable avec des compétences techniques très solides. C'est une force quand il faut démontrer qu'on est capables d'évaluer de façon pertinente les solutions technologiques des start-up et de les valoriser auprès de nos partenaires publics.

**V.B.** L'IGN est un établissement public qui innove beaucoup sur le plan technologique. La Fabrique des géocommuns et Datalliance sont au service de ces innovations. La Fabrique permet d'inventer des services publics là où il y a un manque, tandis que Datalliance identifie des initiatives privées qui fonctionnent à l'échelle locale pour les aider à passer à l'échelle nationale. L'un comme l'autre cherchent avant tout à offrir des cadres pour stimuler l'innovation technologique, mais aussi et toujours en réponse aux besoins des politiques publiques. ●

*« Dans ces partenariats, la proposition de valeur essentielle de l'IGN repose sur sa position d'intermédiaire de confiance. »*

— NICOLAS BERTHELOT

# AUGMENTER NOTRE PUISSANCE DE CALCUL

## VU PAR...

**MAROUANE ZELLOU,**  
Ingénieur recherche & développement (IGN)

Pour pouvoir mener à bien ses missions, l'IGN doit innover. Cette innovation revêt une double dimension : à la fois dans les technologies d'intelligence artificielle avec lesquelles l'Institut travaille et les moyens mis en place pour que ces technologies puissent fonctionner de façon optimale. Bien qu'ayant des objectifs différents, cette démarche doit permettre à nombre de nos services, tels que l'innovation, la recherche ou la production, de travailler demain avec plus d'efficacité. L'acquisition récente d'une quinzaine de serveurs de calculs témoigne de cette volonté et de cette ambition.

### DE PUISSANTES RESSOURCES DE CALCUL

Les solutions d'IA sont aujourd'hui incontournables dans notre travail. Mener à bien les grands projets cartographiques (OCS GE, jumeau numérique) nécessite de puissantes ressources de calcul.

Jusqu'à récemment, l'Institut avait fait le choix de faire appel à des ressources externes en cloud de calcul, comme le supercalculateur Jean-Zay développé par GENCI (Grand Équipement national de calcul intensif) et le CNRS (Centre national de la recherche scientifique). Depuis 2023, l'objectif de l'IGN et de sa cellule innovation est de bâtir une infrastructure interne complémentaire à celle-ci.

### EXPÉRIMENTER POUR CONVAINCRE

Dotés d'une quinzaine de serveurs tri-GPU dont six à destination du service innovation, des premiers cas d'usages pertinents commencent à voir le jour, notamment en IA générative. Notre enjeu est de confirmer et de vérifier au travers de projets concrets l'efficacité de ce matériel. À l'heure actuelle, notre cellule travaille, entre autres, sur la détection d'objets. En phase de POC (Proof of Concept, ou preuve de concept), nous expérimentons plusieurs méthodes qui nous offrent la possibilité de tester la faisabilité et la viabilité de ce projet. Centrés sur quatre classes d'objet (les éoliennes, les centrales

*« Notre objectif est de fournir des outils qui pourront à terme améliorer la qualité de nos bases de données. »*

photovoltaïques, les terrains de sport et les cimetières), les programmes permettent la détection de certaines classes dans près de neuf cas sur dix. En nous appuyant sur les technologies du Deep Learning, notre objectif est de fournir des outils qui pourront à terme améliorer la qualité de nos bases de données.

### L'INDUSTRIALISATION AU SERVICE DE NOTRE MISSION

Les POCs réalisés permettent de soumettre des propositions d'amélioration aux services de production. Pour cela, il faut mettre en place des outils et méthodologies cohérents entre nos services. Se doter d'une infrastructure de calcul commune peut lever certains verrous techniques tout en rationalisant nos capacités. Ceci soulève cependant des questionnements sur le plan environnemental. Ces nouveaux

services induisent une augmentation de la consommation énergétique, et il est aussi nécessaire de juger de la pertinence de ces solutions vis-à-vis de ce critère.

### ÊTRE UTILE AU PLUS GRAND NOMBRE

Les techniques d'intelligence artificielle ouvrent d'exceptionnelles perspectives en termes d'automatisation. Elles permettent de traiter massivement les données dont nous disposons afin d'améliorer celles que nous produisons. Ces avancées doivent amener à la mise à disposition de données plus riches et plus précises sur l'ensemble du territoire français. En tant qu'établissement public, notre performance se mesure à la capacité que nous avons d'être profitables et utiles au plus grand nombre, au service de l'action publique. C'est le sens de notre travail. ●

# L'IA GÉNÉRATIVE AU SERVICE DE NOS MÉTIER S ET DU SAVOIR

## VU PAR...

**RUBEN GRÈS,**  
Ingénieur intelligence artificielle (IGN)

L'IA générative est en passe de transformer notre rapport à l'information, au langage et à la connaissance en générant de manière autonome et automatique des contenus textuels, des images ou encore des sons. Dans ce contexte, les LLM sont capables de comprendre et d'analyser des données linguistiques permettant de générer du texte après avoir été entraînés sur des bases de connaissances. En apprenant à reproduire chaque type de langage, l'IA générative, à la différence des premiers systèmes d'IA, pourrait alors être capable de comprendre et d'exprimer toute la complexité du monde.

### LA MISE AU DÉFI DES LLM

Depuis mai 2024, nous menons aux côtés de l'ENSG-Géomatique (École nationale des sciences géographiques) et de son laboratoire LASTIG des expérimentations sur des programmes d'IA impliquant des LLM capables de reconnaître, d'interpréter et de générer du texte en langage humain en balayant de larges ensembles de données. Si ces modèles ouvrent des perspectives, ils ont des limites : par exemple, ils ne sont pas capables de citer leurs sources et peuvent même produire des informations obsolètes, ou même ce que l'on nomme des hallucinations (des réponses fausses mais correctes d'un point de vue grammatical et syntaxique). Pour tenter de contrecarrer ces erreurs, nous développons *UniFinder*, notre propre RAG. Le RAG (génération augmentée par récupération) est une technique de traitement du langage proposant aux LLM de se nourrir

d'informations pertinentes en utilisant un modèle de recherche sémantique appliqué à une base de connaissances dont l'autorité et la pertinence ne peuvent être contestées. Autre avantage central : avoir accès aux sources de l'information.

### UNE APPLICATION CONCRÈTE : LA BD UNI

La BD Uni est la base de données qui répertorie les informations géographiques sur le territoire français. Pour l'alimenter, nos collecteurs parcourent manuellement nombre de sites web, articles de journaux et autres sources et les recourent pour vérifier les changements ayant pu se produire : nouveau nom de rue, nouvelle route, nouveau bâtiment ou infrastructure... Avec *UniFinder*, l'objectif est d'accélérer ce processus et de faciliter la tâche des collecteurs en ciblant les documents les plus pertinents pour répondre à leur recherche.

Par exemple, si je souhaite m'informer sur des changements cadastraux intervenus sur une zone spécifique, après avoir rédigé un prompt, le LLM me répondra de manière textuelle. Il me fournira aussi les sources ayant permis de produire sa réponse et je pourrai, en toute confiance, les consulter et y puiser des informations complémentaires.

### BIEN COMPRENDRE LA QUESTION POUR BIEN Y RÉPONDRE

Le moteur de recherche sémantique se base sur les mêmes technologies que les LLM et permet de trouver des documents avec une approche totalement nouvelle. Grâce à une compréhension sémantique fine de la question de l'utilisateur, nous sommes désormais capables de chercher et de trouver les documents les plus pertinents, quand bien même les demandes seraient écrites de manière très différente. C'est là tout l'enjeu de l'approche sémantique : ne pas se référer aux mots mais au sens de la demande.

Les modèles en français sont encore en retard par rapport à leurs équivalents anglophones, et peu d'efforts d'inclusivité en termes de langue sont actuellement réalisés.

Un des enjeux pour le service public français auquel nous appartenons est de combler ce retard en déployant des modèles adaptés à notre spécificité linguistique et à nos métiers. ●

« *L'approche sémantique améliore la précision de la recherche et produit des réponses correspondant au sens de la demande.* »

*Pour clore cet Atlas, un bref voyage dans un futur proche, teinté de science-fiction...*

# 2042

## L'ODYSSÉE D'ODYSSEUS

PAR PAUL VACCA, ÉCRIVAIN

À la veille des grands jours, pour être certaine d'être à l'heure, Alice programme toujours plusieurs réveils.

Ainsi, à 6 h 35 ce matin-là, ses trois friendroids lui chantent en chœur *Don't Stop Me Now* de Queen<sup>1</sup>. Alice bondit de son lit, leur dit bonjour d'une petite tape amicale sur la tête, puis après une douche à pulvérisation vapeur-express et un petit déjeuner servi comme elle aime, elle passe dans le sas pour revêtir sa combinaison du jour et son sac à dos ergonomique.

Ses trois compagnons lui livrent alors des nouvelles personnalisées : « Chère Alice, sais-tu que nous sommes le 9 mai 2042, un grand jour pour les pays membres de l'Europe, car aujourd'hui, c'est le lancement de... » Mais Alice a déjà franchi la porte coulissante, enfilé son casque XR panoramique et sauté sur sa trottinette aérosol.

Elle surfe en toute liberté dans un Paris encore désert empli de décorations, de gradins et d'écrans géants aux couleurs de l'Europe. Alors qu'elle se dirige vers la gare de l'Est, entourée d'arbres et éclatante sous le soleil matinal, Alice s'entretient en panoconférence :

— Léa? Karim? Amandine? Tout le monde est prêt pour le jour J?

<sup>1</sup>C'est aussi pour les grandes occasions qu'Alice programme ce morceau en guise de réveil. Elle a lu que, selon une étude menée par une université américaine, *Don't Stop Me Now* est la chanson la plus euphorisante au monde. Même soixante-trois ans après sa création!

Sa question est accueillie par un « YEEEEEESSS! » tonitruant qui fait vibrer son casque. Sur le quai de la gare, tous se sautent dans les bras et prennent place à bord du TUBC<sup>2</sup> de 7h48 qui glisse jusqu'à Strasbourg en une petite heure. Ils n'en reviennent toujours pas d'avoir été sélectionnés parmi tous les étudiants pour participer à l'événement! Un vrai hold-up. Ils ne sont pas peu fiers avec leur *pass VIP+* brillant à leur cou : ils vont pouvoir s'incruster à tous les spectacles, rencontres, débats et autres festivités de la journée!

\*  
\*\*

À la descente du TUBC à Strasbourg, la bande est emportée par une foule bigarrée et joyeuse. Partout dans la ville du Parlement européen, des oriflammes battent au vent avec un texte décliné dans toutes les langues européennes :

### « 9 MAI 2042 : L'ODYSSÉE D'ODYSSEUS »

Arrivés face à l'immense parc qui s'ouvre face à eux, tous ont la même réaction.

— Il y a trop de trucs à voir : là, là et là!

Alors chacun organisera son parcours comme il veut.

— Et on se retrouve à midi pour déjeuner, ok?

Tous filent.

\*  
\*\*

Alice ressent cette même excitation que lorsqu'elle pénètre enfant dans un parc d'attractions. Tout la tente, tout l'intrigue. Mais par quoi commencer?

Son regard est aussitôt attiré par un gigantesque globe argenté qui semble flotter sur l'eau d'un grand bassin reflétant le bleu du ciel et

<sup>2</sup>Pour « train ultra basse consommation ».



ses nuages moutonneux. Alice emprunte la passerelle qui surplombe le plan d'eau. Dès qu'elle pénètre dans le globe une voix l'enveloppe :

### « BIENVENUE DANS ODYSSEUS »

Elle est aussitôt absorbée dans un écran sphérique XR360+ et plongée dans des images où tout semble plus vrai que vrai : c'est toute l'Europe à portée de main ou plutôt à portée d'yeux ! De la texture des sols à la plongée dans les cours d'eau en passant par des travellings sur les littoraux, le rendu est époustouflant et invite à se perdre dans les forêts au cœur de toutes les variétés d'arbres, se faufiler dans les centres-villes et admirer les monuments historiques dans tous les coins et recoins des 10 millions de kilomètres carrés que couvre l'Europe, cartographiée en dynamique 4D d'Odysseus.

En quelques minutes à peine, Alice a plus voyagé dans les pays d'Europe que lors de son périple européen post-bac avec ses amis et son pass Interrail : du port de Lisbonne aux sommets des Alpes, de la côte amalfitaine aux splendeurs de Tallinn, du Finistère à Bucarest et les côtes de la mer Noire, des îles Éoliennes aux rives de la Moldau à Prague... Elle peut aussi emprunter tous les cours d'eau, découvrir toutes les forêts, escalader les massifs montagneux comme découvrir tous les types d'agriculture, la diversité des sols, l'infinie variété des styles architecturaux...

— C'est juste magique, s'exclame Alice.

Mais dans ce globe, le voyage dans l'espace se double d'un voyage temporel : Alice remonte le temps. Odysseus, grâce à sa mémoire des lieux, lui permet de voyager dans le passé et de voir les changements sur les décennies passées. La fonte des glaciers,

l'expansion des forêts, l'érosion des littoraux, l'évolution des sols et sous-sols, mais aussi les changements des centres urbains et des villages lui apparaissent clairement dans tous leurs effets contrastés.

Mieux encore, Alice fait des bonds dans le futur. Elle découvre comment, à la manière du plus sophistiqué des jeux vidéo, en y introduisant quelques critères — un changement de température, une tempête ou une sécheresse sévère, la renaturation d'espaces urbains... — Odysseus fait vivre en live une simulation et une visualisation ultra-réaliste des effets produits par ces variations. Ce qui permet à tous, scientifiques, politiques comme citoyens, d'anticiper les événements et de trouver ensemble des solutions avant qu'un incident n'advienne.

Alice, comme après un grand huit, sort de cette plongée avec une sensation de vertige. Mais un vertige délicieux, plein d'espoir, celui que l'on ressent quand tout devient possible. Car Alice en est persuadée : avec Odysseus voir, c'est désormais prévoir.

\*  
\*\*

C'est alors qu'au loin Alice aperçoit un grand cube recouvert d'une végétation luxuriante qui l'intrigue. Elle pénètre dans une jungle, aussitôt immergée dans une moiteur tropicale avec ses arbres, ses cascades et les bruissements exotiques d'oiseaux, de singes et de reptiles. Un peu perdue, elle continue sa progression quand elle découvre que se cache derrière les frondaisons, un théâtre à l'italienne avec à son fronton inscrit en lettres lumineuses :

LA GENÈSE D'ODYSSEUS  
*Un balleynote signé Tadeusz Kanteek*



Alice trouve juste à temps une place dans une loge car le rideau se lève. Des danseurs jaillissent sur scène et sur l'écran géant derrière eux apparaît en 3D le contenu d'une *keynote* : *Du jumeau numérique 2024 à Odysseus 2042* – où 2024 et 2042 se répondent en miroir.

Tadeusz Kanteek a décidé de fusionner dans le même geste artistique un ballet et une *keynote* – un balleynote – déployant dans des mouvements de plus en plus amples le récit de la genèse d'Odysseus.

Le premier mouvement incarne les tout premiers débuts : la mobilisation en 2024 des pionniers de l'équipe de France du jumeau numérique née de l'imagination de précurseurs qui ont fait le pari fou de faire dialoguer une diversité de profils et une multiplicité de disciplines. En associant la cartographie à la data visualisation des data scientists, la technologie 3D aux sciences du vivant, l'aéromodélisme aux spécialistes des transports, l'urbanisme aux jeux vidéo...; en mobilisant énergies, savoir-faire, idées géniales et utopiques de visionnaires universitaires, entrepreneurs ou gameurs; et en faisant s'unir autour d'un projet commun institutions publiques et entrepreneurs privés pour donner naissance à la première réplique virtuelle numérique de la France.

Lors d'un deuxième mouvement viennent s'adjoindre et se fondre à eux, des danseurs étoiles exécutant des figures insensées mettant au défi l'espace et les lois de la gravité : ce sont les start-up qui offrent au projet ses sauts technologiques toujours plus éclatants. De l'explosion de l'IA et du quantique dans les années 20<sup>3</sup> vers des innovations toujours plus spectaculaires, dont Alice – hélas! – ne retient ni les noms ni la nature. Mais dont elle a déjà découvert dans le dôme les effets éblouissants.

Le troisième et dernier mouvement célèbre l'avancée qui s'ouvre désormais à d'autres pays enjambant les frontières. Un projet toujours plus ambitieux et collectif, plus ample et plus fluide. Odysseus rayonne en symbiose parfaite avec le projet européen :

<sup>3</sup>Les années 2020, bien sûr.



s'unir dans la diversité. Pour tous les Européens, il devient la langue partagée du changement climatique. D'ailleurs, le ballet se clôt sur une version proto-futuriste jubilatoire de l'hymne européen l'*Ode à la joie* qui fait brusquement se lever le public comme un seul peuple.

\*  
\*\*

C'est avec cette musique en tête qu'Alice rejoint ses amis pour un déjeuner au village. Tout en échangeant leurs frissons de la matinée, ils se restaurent auprès des food trucks multicolores qui leur proposent des produits de tous les terroirs européens : l'Europe sur un plateau. Dès qu'Alice porte la nourriture à sa bouche le silence se fait autour d'elle : chaque bouchée la renvoie vers les saveurs de son enfance, celles du potager des Pouilles de son *nonno* adoré... Mais trêve de nostalgie, les réjouissances sont loin d'être terminées.

\*  
\*\*

Alice pénètre dans un grand amphithéâtre romain en verre ultra-équipé plongé dans la pénombre avec une scène et des écrans géants 3D montrant une mosaïque de citoyens de tous âges et de toutes nationalités en duplex partout en Europe. Un titre barre l'écran géant :

## L'AGORA D'ODYSSEUS

*Comment Odysseus change la vie de 450 millions d'Européens*

Commence alors un immense avatar-call où à tour de rôle de Lyon à Naples en passant par Porto, Birmingham, Bratislava, Copenhague, Athènes ou Vienne... chaque holo-témoin livre au public son expérience du projet.

— Grâce à Odysseus, lance le jeune maire d'un village près de Dunkerque, j'ai pu sauver mon village... et ma vie de famille.



2042

Il raconte comment à la suite d'une inondation annoncée, les simulations opérées avec le jumeau numérique de son village lui ont permis de faire les aménagements nécessaires en urgence, de choisir avec les habitants les meilleures transformations à engager pour que sa commune s'adapte au mieux aux évolutions naturelles et aux besoins des habitants.

— La réplique virtuelle numérique de notre village, continue-t-il, rend mon job de maire plus simple. Elle facilite les prises de décision communes : ce n'est pas rien pour faire vivre la démocratie locale. Grâce au temps dégagé, je peux désormais passer plus de temps à écouter mes administrés... et les membres de ma famille !

Suivent d'autres récits spectaculaires où l'on apprend comment Odysseus a permis d'éviter — ou de minimiser — l'impact de catastrophes annoncées : des incendies de forêts, des érosions fatales, des dômes de chaleur, des inondations... Ascenseurs émotionnels garantis pour tous.

Puis, journalistes, professeurs et scientifiques témoignent de leur expérience du projet. Ce nouvel outil a révolutionné leur diffusion du savoir, transformant le regard de leurs publics et des 450 millions de citoyens sur le changement climatique et ses conséquences. Alors que jusqu'à présent le dérèglement climatique restait un horizon lointain et parfois abstrait, désormais grâce à Odysseus tous en ressentent l'urgence et peuvent participer à l'aventure concrète, quotidienne et collective pour un futur toujours plus désirable.

D'ailleurs, des témoignages de jeunes affluent attestant qu'Odysseus aussi a changé leur vie : il est devenu à la fois le plus addictif des jeux vidéo, la plus passionnante des encyclopédies et le seul réseau véritablement social créant une nouvelle communauté de « vrais amis » pour le plus beau des défis : celui de la réalité.

\*  
\*\*

Alice s'approche maintenant du Parlement européen qui resplendit dans la lumière de la fin d'après-midi. Elle s'installe dans la galerie

des visiteurs qui surplombe l'hémicycle pour assister à la session plénière extraordinaire qui officialise le lancement d'Odysseus : les dirigeants des 33 États membres<sup>4</sup> sont tous là pour fêter la mise en orbite d'Odysseus, le jumeau numérique Interconnecté Européen.

— C'est un événement! déclarent-ils en chœur. Quarante ans après le lancement de l'euro, Odysseus constitue un acte de cohésion beaucoup plus puissant encore. En interconnectant les territoires, il unit les destins de tous les peuples européens dans une même direction : la prise en compte du vivant comme priorité absolue. Avec Odysseus, l'Europe ouvre une nouvelle ère où les citoyens deviennent acteurs de leur destin et pas le seul jouet d'intérêts privés. Tous affirment solennellement que ce 9 mai 2042 marque la véritable naissance de la CEE : à savoir l'émergence d'une Conscience Écologique Européenne.

\*  
\*\*

Il est près de 20 heures quand Alice a rejoint ses amis dans un grand espace près d'un bois et d'un lac. Autour d'eux, des tentes et de multiples scènes où DJ et groupes préparent leur balance. Ravis, les amis échangent les expériences de leur journée...

Quand sur les écrans le compte à rebours est lancé...

9... 8... 7... 6... 5... 4... 3... 2... 1...

Zéroooooooooo!

La foule se lève en liesse... Odysseus est né!

Tous trinquent et dansent jusqu'au bout de la nuit.

Et alors que l'aube point, Alice perçoit les premiers accords de *Don't Stop Me Now* qui résonnent dans le lointain... Puis, de plus en plus proches... Couvrant le reste des rires et des chansons tout en se mêlant à la stridence de sonneries de réveil...

\*  
\*\*

<sup>4</sup>Outre les pays candidats qui ont suivi leur processus d'intégration, l'Europe s'est aussi élargie grâce au Brexin en 2029 et à l'entrée de la Suisse en 2032...



C'est alors qu'Alice ouvre l'œil. Elle bondit de son lit et éteint son smartphone et ses deux réveils...

Elle allume la radio : « *Il est 6 h 35. Nous sommes le 9 mai 2024...* »

Alice file pour une douche express, avale le petit déjeuner préparé par sa mère aux petits soins.

— Bonne chance ma chérie pour ce grand jour ! lui dit-elle en l'aidant à enfiler son sac à dos.

Alice file à vélo à la fac des sciences où elle retrouve Léa, Karim et Amandine...

— Ça va, pas trop stressée pour l'exam ? lui demande Karim. Moi, j'ai la tête farcie d'IA et de *dév dur*... Comme Wall-E.

Alice sourit.

— Moi ? Pas du tout ! J'ai passé une nuit formidable. Je vous raconterai.

Et le cœur plein d'allant, encore habitée par son rêve, Alice entre dans l'amphi terriblement confiante pour ses exams et pour l'avenir. ●

# REMERCIEMENTS

L'IGN remercie l'ensemble des agents IGN et ses partenaires ayant apporté leur contribution à l'élaboration de cet Atlas consacré à l'intelligence artificielle.

---

## FONDAMENTAUX

---

**Nicolas Paparoditis,**  
Directeur général adjoint à l'IGN

**Matthieu Porte,**  
Coordinateur des activités IA à l'IGN

---

## CONNAISSANCE ET SUIVI DE L'ENVIRONNEMENT

---

**Caroline Joigneau-Guesnon,**  
Responsable des relations  
partenariales et institutionnelles  
biodiversité à l'IGN



[inpn.mnhn.fr/programme/  
carhab](https://inpn.mnhn.fr/programme/carhab)

**Frank Fuchs,**  
Chef du département d'appui  
à l'innovation à l'IGN

**Marie Gombert,**  
Responsable du département  
données et produits à l'IGN



[ecophytopic.fr/recherche-  
innovation/exposition-et-  
impacts/projet-geo-k-phyto](https://ecophytopic.fr/recherche-innovation/exposition-et-impacts/projet-geo-k-phyto)



**Victor Liger,**  
Responsable innovation



[www.brgm.fr/fr](https://www.brgm.fr/fr)

**Ruben Grès,**  
Ingénieur intelligence artificielle à l'IGN



Dans sa démarche  
d'incitation à l'innovation,  
le modèle Seg2Sat est disponible  
en open source :

[https://github.com/  
RubenGres/Seg2Sat](https://github.com/RubenGres/Seg2Sat)

---

## GESTION DES RISQUES

---

**Raphaële Heno,**  
Directrice adjointe  
de l'ENSG-Géomatique  
chargée des enseignements

**Swann Lamarche,**  
Chargé de relations partenariales  
et institutionnelles à l'IGN et  
**Zacharie Coq,**  
consultant LiDAR HD à l'IGN



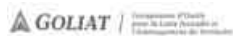
[geoservices.ign.fr/lidarhd](https://geoservices.ign.fr/lidarhd)



**Julien Camus,**  
Directeur des affaires publiques



[www.kayros.com/fr](https://www.kayros.com/fr)



**Ghinevra Comiti,**  
Apprentie en master  
à l'université de Corse et  
**Lucile Rossi-Tison,**  
Maître de conférences et  
**Paul-Antoine Bisgambiglia,**  
Maître de conférences



[goliat.universita.corsica](https://goliat.universita.corsica)

\* Membre du réseau Datalliance



**Laure Raynaud,**  
Chercheuse au Centre national  
de recherche météorologique



[meteofrance.com](https://meteofrance.com)



**Virginie Lafon,**  
Directrice générale



[i-sea.fr/nos-solutions/  
risques-littoraux/](https://i-sea.fr/nos-solutions/risques-littoraux/)

---

## FORÊT

---

**Arnaud Braun,**  
Coordinateur MOE du projet BD Forêt v3  
à l'IGN



[foret.ign.fr](https://foret.ign.fr)



**Romain Fau,**  
CEO et cofondateur



[www.kanop.io](https://www.kanop.io)

---

## AGRICULTURE

---

**Boris Wattrelos,**  
Chef de projet SI innovants à l'IGN

**Guillaume Marchand,**  
Chargé de relations partenariales et  
institutionnelles agriculture à l'IGN,  
**Agnieszka Tarko,**  
Spécialiste des données agricoles à  
l'équipe produit agriculture à l'IGN,  
**Maxime Hardy,**  
IA data scientist à l'IGN et  
**Anatol Garioud,**  
Ingénieur R&D à l'IGN



**Anne-Sophie Beaudru,**  
Business developer, Marketing



[www.terranis.fr/  
agriculture-pixagri](https://www.terranis.fr/agriculture-pixagri)



**Yann Daoulas,**  
Responsable communication  
et marketing



[kormap.com/  
plateformes/nimbo](https://kormap.com/plateformes/nimbo)

---

## URBANISME

---

**Frank Fuchs,**  
Chef du département d'appui  
à l'innovation à l'IGN

**Yanis Hamimi,**  
Consultant SIG à l'IGN



[geoservices.ign.fr/ocsg](https://geoservices.ign.fr/ocsg)

**Boris Wattrelos,**  
Chef de projet SI innovants à l'IGN



[cosia.ign.fr](https://cosia.ign.fr)

**Anatol Garioud,**  
Ingénieur R&D à l'IGN



[www.ign.fr/agenda/  
flair-one-challenge-  
ia-et-occupation-du-sol](https://www.ign.fr/agenda/flair-one-challenge-ia-et-occupation-du-sol)

\* Membre du réseau Datalliance

---

**Célestin Huet,**  
Ingénieur d'études innovation à l'IGN



[anr-hiatus.github.io/  
consortium.html](https://anr-hiatus.github.io/consortium.html)

---



**Julien Perret,**  
Directeur de recherche à l'IGN,  
**Juste Raimbault, Paul Chapron,**  
tous deux chargés de recherche à l'IGN et  
**Maxime Colomb,**  
Ingénieur à l'Inria



[iscpif.fr/projects/simplu](https://iscpif.fr/projects/simplu)

---



**Vincent Madelain,**  
Business Development Manager



[www.luxcarta.com/  
markets/smart-cities](https://www.luxcarta.com/markets/smart-cities)

---

## ÉNERGIE

---

**Claude Penicand,**  
Directeur adjoint des programmes et  
de l'appui aux politiques publiques,  
délégué à la stratégie à l'IGN

**Dimitri Sarafinof,**  
Pilote des programmes défense  
et jumeau numérique à l'IGN

---



**Visuel photomallage 3D de Nantes**

---



**Julien Camus,**  
Directeur des affaires publiques



[www.kayrros.com/fr/  
products-methane-  
watch-for-regulators](https://www.kayrros.com/fr/products-methane-watch-for-regulators)

---



**Annelise Castres Saint Martin,**  
Chief product officer



[namr.com/fr](https://namr.com/fr)

---

## PROJECTION

---

**Valentine Bruyere,**  
Responsable de la stratégie  
Datalliance et chargée de partenariats  
industriels à l'IGN et  
**Nicolas Berthelot,**  
Responsable de la Fabrique  
des Géocommuns à l'IGN

---

**Marouane Zellou,**  
Ingénieur recherche & développement  
à l'IGN

---

**Ruben Grès,** Ingénieur  
Intelligence artificielle à l'IGN

---



Plusieurs des travaux mentionnés dans cet Atlas ont bénéficié d'un accès aux ressources en IA de l'IDRIS, au travers de plusieurs allocations de ressources attribuées par GENCI

---

\* Membre du réseau Datalliance



CHANGER  
D'ÉCHELLE



L'IGN et l'agence All Contents remercient conjointement Anne-Margot Ramstein, illustratrice, et Paul Vacca, écrivain, pour leur collaboration à cet ouvrage.

**Directeur de publication** : Sébastien Soriano – **Direction éditoriale** : Dominique Jeandot et  
Matthieu Ravaud – **Conception, réalisation et rédaction** : All Contents – **Visuel de couverture** : Luxcarta,  
Reconstruction automatique 3D de bâtiments depuis un nuage de points LiDAR HD, Marseille, 2020  
– **Visuel deuxième et troisième de couverture** : IGN, prise de vues aérienne des Sables-d'Olonne,  
crédits GEOFIT – IGO – Géo Vendée – **Impression** : Imprimé en France par : ITF Imprimeur



FSC

IMPRIM VERT





