



Étude économique de l'écosystème géonumérique en France



RAPPORT COMPLET – SEPTEMBRE 2024



agence nationale
de la cohésion
des territoires



Géosciences pour une Terre durable



CENTRE NATIONAL
D'ÉTUDES SPATIALES



Conseil national
de l'information
géolocalisée



Innovation - Écologie - Territoires



Résumé exécutif

Ce rapport, commandé par l'Afigéo et 6 partenaires (ANCT, BRGM, CNES, ECOLAB/CNIG, IGN, OGE), a été réalisé par les sociétés de conseil ATAWAO et INNHOTEP.

Il vise à proposer une analyse économique de l'écosystème « géonumérique » en France. L'étude examine les tendances mondiales et nationales, évalue le poids économique du secteur et propose des recommandations stratégiques pour tirer parti des ruptures d'innovations et des opportunités en cours, pour dynamiser davantage encore ce secteur.

Une des propositions qui est faite dans le rapport, est d'unifier les appellations autour d'un seul concept : le géonumérique. C'est le mot qui sera utilisé ci-dessous.

Le secteur géonumérique, à la confluence du numérique et du spatial, fait face à une transformation significative en raison de la convergence des technologies au développement exponentiel : services numériques, intelligence artificielle, services satellitaires aval issus du New Space et drones.

Ces évolutions technologiques et les services associés permettent de revisiter des sujets anciens (aménagement du territoire, génie civil, BTP, gestion d'infrastructures) en y apportant une valeur ajoutée nouvelle, parfois croisée à d'autres propositions de valeur (BIM, jumeaux numériques). Et permettent également d'ouvrir aux civils un champ jusque-là réservé aux militaires. Il s'agit de la géo-intelligence, qui est au croisement des services satellitaires démocratisés par le New Space, de la GeolA permettant des analyses sans comparaison avec celles possibles il y a encore quelques années, et de la plateforme avec de nouveaux modèles économiques. Cette activité nouvelle de géo-intelligence civile crée de nouveaux marchés pour des clients experts métiers ou décideurs.

Les différentes évolutions mises en relief et analysées dans le rapport, sous cet angle mondial, peuvent ainsi être résumées :

- Principales tendances du côté de la demande :
 - o De nouveaux besoins liés à la transition climatique et énergétique
 - o De nouveaux besoins liés aux enjeux de défense
 - o De nouvelles questions du côté des décideurs adressables grâce aux innovations technologiques
 - o Des besoins dans les pays émergents qui deviennent adressables de manière plus scalable, plus rapide et à moindre coût
- Principales tendances du côté de l'offre technologique :
 - o La numérisation, l'intelligence artificielle appliquée à la fusion de données
 - o La révolution du « New Space », la forte croissance des marchés liés aux nouveaux services satellitaires (observation de la Terre, GNSS)
 - o Une capacité et un besoin inégalé de précision géographique et de réactivité
 - o Une place de plus en plus importante de l'expertise métier (au sens sectoriel)
 - o Des technologies et services de plus en plus duaux, c'est-à-dire à double usage, civil et militaire

- o La nécessité de tenir compte des acteurs technologiques américains, dominants à l'échelle mondiale, dans le développement des offres
- o De nouveaux besoins en compétences orientées autour de la géo data science et du développement informatique croisées aux expertises métiers
- o De nouvelles opportunités de marché pour développer des offres à valeur ajoutée pour un grand nombre d'usages et de secteurs, mais aussi pour des marchés exports (pays émergents notamment)

Le rapport analyse ensuite le marché français, au miroir des évolutions mondiales ci-dessus. Une attention particulière a été portée aux points de vue des acteurs de l'écosystème national : plus de 200 acteurs mobilisés dans le cadre de plusieurs ateliers de travail thématique et de dizaines d'entretiens.

Les recommandations ont été articulées autour des questions suivantes :

- L'écosystème géonumérique est-il un ensemble hétérogène ou peut-il être défini comme un regroupement économique cohérent (un secteur ou une filière) et à quelles conditions ? Si oui, comment dynamiser cette filière sur les prochaines années (horizon de 3-5 ans), dans un contexte de croissance de marché ?
- Quelles actions spécifiques les entreprises traditionnelles de l'offre pourraient mettre en œuvre pour renforcer leur dynamisme économique et leur attractivité ?
- Comment les agences de l'Etat spécialisées autour du géonumérique, pourraient accompagner la dynamique économique des entreprises de l'offre ?
- Comment l'Afigéo pourrait-elle s'adapter pour porter et représenter cette dynamique ?

Une analyse spécifique a été menée autour des enjeux liés aux différences entre le public et le privé et des recommandations tant sur la méthode que sur le contenu ont été faites pour redéfinir et dynamiser ces partenariats. Cela, avec une attention particulière mise sur les questions de souveraineté, de compétitivité et d'innovation.

La méthodologie a été basée sur :

- Étude de faisabilité (2021, Afigéo & CNES)
- Entretiens avec les acteurs de l'écosystème
- Moissonnage automatique (2 700 sociétés)
- Enquêtes : 5 cibles (200 réponses)
- Workshops thématiques : Territoires, Compétence, Climat, Partenariats public/privé, Grands Comptes et Défense
- Analyse bibliographique (une centaine d'études et articles étudiés)

Sommaire

RESUME EXECUTIF	1
SOMMAIRE	3
AVANT-PROPOS ET REMERCIEMENTS	4
INTRODUCTION	6
PARTIE 1 : LE GEONUMERIQUE A L'ECHELLE MONDIALE	8
A. Définitions, chaîne de valeur et poids économique mondial	8
1. Géonumérique : de quoi parle-t-on ?	8
2. Le marché géonumérique mondial est significatif et en forte croissance	13
B. Une économie mondiale de plus en plus géodépendante	20
1. Les données et services géonumériques participent à l'économie numérique	20
2. La numérisation de la représentation des territoires et infrastructures	23
3. Une géo-dépendance inégale	29
C. Des révolutions technologiques transforment le géonumérique	35
1. Révolution numérique, automatisation et IA	35
2. Révolution New Space	43
3. Technologies et services duaux : création de nouveaux marchés	50
4. Des acteurs, majoritairement américains, s'imposent sur le marché mondial	53
D. Les autres moteurs de développement dans les prochaines années	54
1. De nouveaux besoins liés au changement climatique	54
2. De nouveaux besoins liés aux enjeux de défense	58
3. Des besoins dans les pays émergents adressables de manière scalable, rapide et à moindre coût	62
PARTIE II : LE SECTEUR GEONUMERIQUE FRANÇAIS	65
A. Caractéristiques économiques de l'écosystème français du géonumérique : un ensemble hétérogène mais dynamique et au cœur des grands enjeux actuels	66
1. L'écosystème français du géonumérique	66
2. Un écosystème dynamique en France et à l'international	77
B. Le poids économique du secteur du géonumérique en France	81
1. L'évolution de l'emploi dans la filière	81
2. Le recrutement dans la filière	83
3. L'ouverture des formations numériques à la géographie	83
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	85
ANNEXES	86
Synthèse des enquêtes réalisées	86
Évaluation du poids économique de la filière en France	90

Avant-propos et remerciements

Ce document est le rapport final de l'étude économique de l'écosystème géonumérique, il est le fruit d'un consortium de 7 acteurs (AFIGEO, ANCT, BRGM, CNES, CNIG/ECOLAB, IGN, OGE). Son pilotage a été confié à l'Afigéo et sa réalisation confiée aux sociétés ATAWAO et INNHOTEP. Cette étude a pour objectifs de :

- **Connaitre et caractériser l'écosystème,**
- **Mesurer le poids économique direct de l'écosystème,**
- **Évaluer les conditions de mise en œuvre d'un observatoire.**

Pour mener cette étude, les consultants ont réalisé :

- Une analyse bibliographique détaillée dans les annexes du rapport d'étude.
- Des échanges avec plus de 200 personnes au travers d'entretiens, de workshops et d'enquêtes.

Les travaux menés l'ont été sous la supervision d'un Comité de pilotage mensuel composé des représentants du consortium et d'un comité opérationnel hebdomadaire constitué d'un groupe plus restreint de membres.

Les membres du comité de pilotage :

- Jacques BEAS-GARCIA - Sous-directeur Valorisation et donnée, CNES
- François CHIRIE - Pilote du programme Gouvernance ouverte, IGN
- Thomas COTTINET - Directeur de ECOLAB, Ministère de la Transition Écologique
- Elsa DHENAIN - Responsable de la stratégie des données, CNES
- Maximilien DUBOIS - Chef de projet études et partenariats, ANCT
- Arnaud GARNIER - Directeur du numérique pour les géosciences, BRGM
- Clément JAQUEMET - Chargé de mission infrastructures, ECOLAB
- Élise LADURELLE-TIKRY - Directrice des opérations, Afigéo
- Pierre LAULIER - Secrétaire général, CNIG
- Sylviane LE GUYADER - Cheffe du Pôle Analyse et Diagnostics territoriaux, ANCT
- Bertrand MONTHUBERT - Président du CNIG
- Claude PENICAND - Directeur adjoint des programmes et directeur délégué à la stratégie, IGN
- Lucien POISSON - Chargé de mission Animation, Afigéo
- Christian ROUAIX - Secrétaire du Conseil supérieur, Ordre des géomètres-experts
- Éric THALGOTT - Vice-Président, Afigéo

L'Afigéo tient à remercier les différents acteurs de cette étude :

- Les 6 partenaires ANCT, BRGM, CNES, CNIG/ECOLAB, IGN, OGE pour leur soutien financier ainsi que leur participation dans les différents comités de pilotage, de la phase d'avant-projet jusqu'à la publication de l'étude. L'implication sans faille de ces partenaires a permis un résultat d'une étude inédite à destination de tout l'écosystème.
- Les consultants des sociétés ATAWO et INNHOTEP pour leur investissement total permettant de répondre aux objectifs de l'étude. Le minutieux travail d'enquête, l'analyse bibliographique et leur expertise offrent un résultat de qualité et des recommandations ambitieuses allant au-delà de l'écosystème.

Les plus de 200 participants aux enquêtes : entreprises du secteur, chefs d'entreprises, responsables SIG, écoles, adhérents de l'Afigéo. A travers des entretiens et workshops, les consultants ont pu mettre en lumière les dynamiques et les enjeux du secteur.

Cette version du document a été revue et mis en page par l'Afigéo.

Il l'a fait objet d'une version de synthèse.

Introduction

L'explosion des lancements de satellites, l'avènement des micro et nanosatellites, ainsi que le développement exponentiel de l'Internet des objets ont considérablement accru les volumes de données géonumériques disponibles. Parallèlement, les progrès de l'intelligence artificielle permettent d'exploiter et d'analyser ces masses de données spatiales avec une précision et une capacité de compréhension inédites.

Cette convergence technologique (le triptyque numérique-IA-New Space) offre des perspectives nouvelles pour le secteur géonumérique, lui conférant des capacités d'innovation et d'exploration de nouveaux marchés qui sont sans précédent. La capacité à exploiter de larges volumes de données et à les fusionner offrent à un grand nombre de secteurs économiques, domaines scientifiques et métiers, des possibilités de compréhension inédite et une aide à la résolution de problèmes de plus en plus complexes.

De nouveaux secteurs économiques pour le géonumérique, comme l'Assurance, autrefois peu consommateurs de données et services géospatiaux, commencent à en voir tout l'intérêt. Les secteurs traditionnels d'usage de l'information géonumérique (Énergie, Aménagement du territoire) s'interrogent également sur le potentiel de ces innovations et sur la mise en œuvre de chaînes d'acquisition et de traitement de données très innovantes. Cela par exemple, afin de pouvoir détecter un changement, sur des intervalles de temps (jusqu'au temps réel), liés aux spécificités métiers et aux zones d'intérêt.

Cette convergence du numérique, des capacités d'observation de la terre et de l'IA intervient dans un contexte de profondes mutations économiques, énergétiques, écologiques et géopolitiques qui donnent à l'information géonumérique une valeur souvent déterminante. La transition écologique et énergétique, l'émergence de nouvelles zones de crises géopolitiques et armées, la numérisation de secteurs économiques comme l'industrie automobile (Voiture « as-a-service » et voitures autonomes par exemple) sont autant de défis et d'opportunités pour le géonumérique.

Ces évolutions bousculent en profondeur la filière géonumérique française, obligeant à repenser la chaîne de valeur, à intégrer de nouveaux acteurs des filières numériques, GreenTech ou DeepTech et à développer de nouvelles compétences. Cette filière d'expertise de la géographie et de la donnée numérique va devoir se développer sur un rythme plus soutenu encore, attirer de plus en plus de talents du numérique et de l'IA, développer des algorithmes innovants et monter en proposition de valeur dans les outils d'aide à la décision des entreprises.

L'évolution de la géomatique, qui était plutôt limitée à des spécialistes de l'information géographique, à la géo-intelligence, qui s'adresse plus aux experts métiers et aux décideurs, est une opportunité de création de nouveaux marchés. En effet, les "nouveaux clients" du géonumérique ne sont plus seulement des géomaticiens et autres profils proches de la géographie, mais de plus en plus des responsables métiers, experts et décideurs non spécialistes. Ils consomment l'information géographique de plus en plus comme un support à la décision métier, car la donnée géographique est fusionnée avec un nombre croissant de données métiers. Cette fusion croissante permet à tous les secteurs économiques de s'approprier les

méthodes de géo intelligence utilisées dans le renseignement militaire. Cela conduit également à développer des technologies duales servant aussi bien les militaires que les civils.

Ces évolutions ont une conséquence importante sur l'emploi. Les besoins en compétences numériques et sectorielles se développent considérablement, tandis que les expertises en géographie intègrent les bibliothèques de codes, ce qui diminue le besoin d'experts dans ce domaine.

Pour la France et pour l'Europe, il y a là à la fois la nécessité d'adapter l'organisation publique et privée de la filière et une grande opportunité économique à saisir. Le géonumérique est un secteur très dynamique capable de développer de la valeur. Cela nécessitera une ouverture importante et rapide aux écosystèmes du numérique, de l'intelligence artificielle et du New Space pour renforcer son rayonnement et son attractivité. Cette ambition est atteignable car les acteurs français disposent de nombreux atouts :

- Une bonne dynamique d'innovation en France sur ces sujets, et une capacité des acteurs de l'offre à se mettre au diapason du marché mondial. Mais ces dynamiques sont à amplifier pour faire émerger des acteurs d'envergure européenne, voire mondiale.
- Des agences publiques qui font partie des acteurs les plus robustes du géonumérique en Europe.

Des acteurs de la demande nationale qui font partie des plus importants d'Europe (grandes entreprises d'utilité publiques, grandes entreprises dans de nombreux secteurs, etc.).

Le rapport :

- analyse le marché, les technologies et les dynamiques d'innovation du géonumérique à l'échelle mondiale ;
- caractérise le marché français et met en relief ses forces, ses axes de progrès et ses besoins tels que perçus par ses acteurs ;
- propose des recommandations reprises par l'Afigéo et ses partenaires pour proposer de créer des synergies sur 3 axes : pour dynamiser davantage ce secteur.

Partie 1 : le géonumérique à l'échelle mondiale

La révolution numérique, qui se traduit par la mise à disposition d'un nombre exponentiel de données et d'algorithmes d'intelligence artificielle de plus en plus sophistiqués, impacte tous les aspects du quotidien.

Dans le domaine du géonumérique, cette révolution est amplifiée par le développement du « **New Space** ». La démocratisation de l'accès à l'espace démultiplie les possibilités d'accès à l'imagerie spatiale, qui devient plus abondante, plus précise et fréquente. Le résultat se traduit par une profusion sans précédent de services basés sur la géolocalisation. La fusion de données multi-capteurs et multi-sources est d'un usage courant dans pratiquement tous les secteurs de l'économie. A l'échelle mondiale, le secteur technologique américain est aujourd'hui le grand gagnant économique de ces évolutions.

Cette partie définit le secteur géonumérique, un ensemble de technologies, sociétés et secteurs économiques, dont le secteur public, qui sont liés à l'information géolocalisée. Une fois le secteur défini, elle propose une définition de sa chaîne de valeur, son poids dans l'économie numérique et les facteurs d'évolution dans les 3 à 5 ans à venir.

L'objectif est de montrer en particulier :

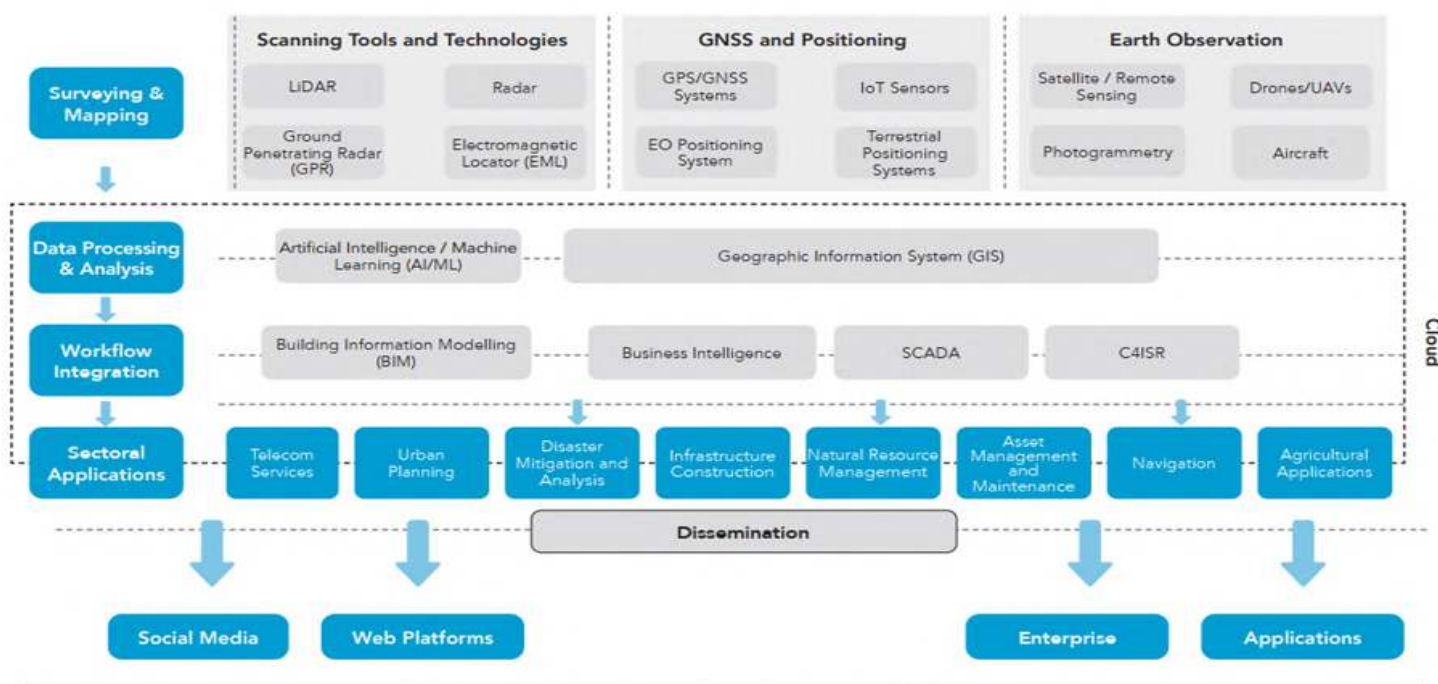
- La **dépendance** croissante de l'économie à l'information géolocalisée ;
- L'importance du **changement climatique** et des menaces sécuritaires dans le développement du marché géonumérique ;
- La décroissance de la valeur apportée par les données au profit de celle apportée par les **algorithmes** ;
- L'importance des acteurs américains pour les marchés grand public et même professionnels.

A. Définitions, chaîne de valeur et poids économique mondial

1. Géonumérique : de quoi parle-t-on ?

L'étude économique porte sur « **l'écosystème du géonumérique** ». Il est important de bien préciser ses contours pour qu'ils soient suffisamment robustes et compréhensibles dans l'analyse économique, nationale ou internationale. Par ailleurs, ces contours doivent être stables sur la période de 0 à 5 ans, correspondant à la perspective temporelle de l'étude. Le schéma suivant¹ présente l'ensemble des éléments associés à cet écosystème, que nous définirons et présenterons par la suite.

¹ UN-GGIM, Geospatial World, *Geospatial Industry Advancing Sustainable Development Goals*, 2021



Contributing to World Economy and Society
Figure 1-1-1-1 – Chaîne de valeur géospatiale

• LE GEONUMERIQUE

Le terme **géonumérique**, et par extension celui de **géomatique**, associe la géographie, ses outils, et l'usage du numérique. Alors que la géomatique correspond plutôt aux outils informatiques de cartographie, le géonumérique fait référence aux outils, aux plateformes d'exploitation de géo catalogue et aux activités de création et utilisation de ces informations. Le terme fait également référence à la **transition géonumérique**², correspondant à la digitalisation de tous les acteurs travaillant au quotidien avec des informations géographiques. Il s'agit donc d'usages et d'outils cartographiques à l'ère numérique et non d'un secteur ou d'une filière économique.

• L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE, LA GEODATA, L'INFORMATION GEOLOCALISEE

Si l'on s'en remet à la définition du MTECT (Ministère de la Transition Écologique de le Cohésion du Territoire)³ : « On appelle information géographique, une information contenant une référence à un lieu, qu'il s'agisse d'un point précis du territoire, d'une infrastructure linéaire telle qu'une route ou encore d'un périmètre donné : aire protégée, zone d'emplois, ville... ».

² Desbois Henri, *La transition géonumérique*, 2008

³ www.ecologie.gouv.fr/linformation-geographique

La définition donnée par l'Afigéo correspond plutôt à celle de la **GeoDATA** : « donnée (data) dotée d'une référence spatiale (GeoDATA), l'information géographique est récoltée, stockée, traitée, analysée puis transformée pour de multiples usages⁴ ».

Pour l'IGN⁵, la **GeoDATA** est essentiellement un ensemble de données géographiques.

Pour le CNIG, une information géolocalisée désigne « toute donnée qui comporte une composante localisée accroissant sa valeur, en particulier en servant de base à son croisement avec d'autres données »⁶.

Ces différents termes sont des concepts orientés sur un certain nombre d'activités ou sur certaines caractéristiques de données numériques. Mais ils sont trop étroits pour conduire une étude économique de large portée visant à représenter un secteur d'activité.

• LE GEOSPATIAL

Le terme français géospacial fait référence au positionnement sur la Terre. Même s'il a la même définition en anglais, il caractérise également un marché composé de 4 segments mutuellement dépendants de technologies et de services. Ce marché se décompose en chaîne de valeur comprenant différents modes d'acquisition de données, des infrastructures de communication, de stockage et de gestion et les services et solutions que l'on peut construire avec ces données.

Ce marché se décompose lui-même en différents champs d'application comme le *geospatial intelligence* ou le *geospatial information*.

La définition que nous retiendrons **du terme géonumérique sera plus proche du mot *geospatial* (en.)**, dans la mesure où il nous permet de regrouper le sens technique du terme et de délimiter en partie le marché que nous considérons.

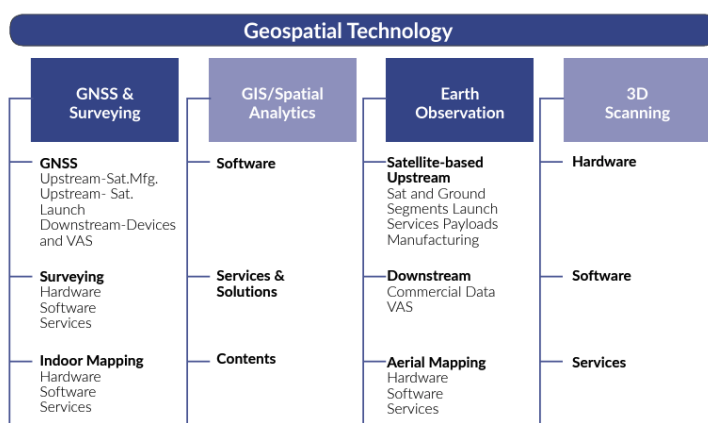


Figure 1-1-1-2 - Technologies géonumériques

⁴ www.Afigéo.asso.fr/Afigéo/information-geographique

⁵ www.ign.fr/reperes/quoi-servent-les-geodata

⁶ cnig.gouv.fr/categorisations-a15646.html

- **GEOINTELLIGENCE, GEOINT**

Une première définition⁷ correspond à considérer le terme Géointelligence comme une **technique visant à fusionner des bases de données et des données géographiques** afin de répondre à des problèmes d'optimisation. Elle peut être appliquée à différents secteurs économiques : assurance, agriculture, météorologie, ...

Une seconde définition anglosaxonne définit la Géointelligence comme une analyse de données visant à renseigner sur les **positions et intentions de cibles localisées**⁸.

Elle donne alors naissance à un diminutif répandu créé par le renseignement américain, **GEOINT** (cf. 8). Alors que le **GEOINT militaire** est un ensemble de techniques d'acquisition de données, de manipulation de larges bases de données (Big data), de géomatique et d'interprétation métier (géopolitique, stratégie militaire, renseignement), le terme de **GEOINTELLIGENCE** a étendu cette approche au domaine civil pour mettre l'accent sur l'interprétation de données à valeur ajoutée en vue pour une entreprise de renforcer ses outils de prise de décision sur des enjeux internes ou de créer une supériorité informationnelle par rapport à ses concurrents⁹. Comme l'explique P.Boulanger, expert français sur le sujet, *"destiné à l'origine au renseignement militaire au profit des unités et des autorités politico-militaires, son emploi s'est diffusé à toutes les activités économiques et publiques"*¹⁰. Cela est confirmé par l'emploi qu'en font de grands acteurs technologiques mondiaux comme ESRI par exemple.

- **GEO IA**

Le terme de GEO IA désigne l'application des algorithmes de deep-learning aux données géographiques, discipline en plein essor. Elle se consacre à l'étude, au développement et à l'application de programmes informatiques avancés, à base d'apprentissage machine (ML-Deep-Learning), pour le traitement automatique des données géonumériques à des fins d'analyses, de modélisation et de prédiction.

L'exemple ci-suivant, appliqué à l'hydrologie¹¹, illustre le flux exponentiel de données et l'importance de la GEO IA en appui aux interprétations, modélisation et prédiction métier.

⁷ (déduit de) artiques.com, un industriel spécialisé dans le géo décisionnel

⁸ PennState University, 2006

⁹ Suwannatrai D (2023) "Geospatial Intelligence for Business and Market Analysis" in Geoinformatics & Geostatistics: An Overview

¹⁰ P.Boulanger, "Le geoint, nouveau processus de connaissance des lieux et des hommes", 23 mars 2022, The Conversation

¹¹ Gonzales-Inca, C.; Calle, M.; Croghan, D.; Torabi Haghighi, A.; Marttila, H.; Silander, J.; Alho, P. *Geospatial Artificial Intelligence (GeoAI) in the Integrated Hydrological and Fluvial Systems Modeling: Review of Current Applications and Trends*. Water, 2022

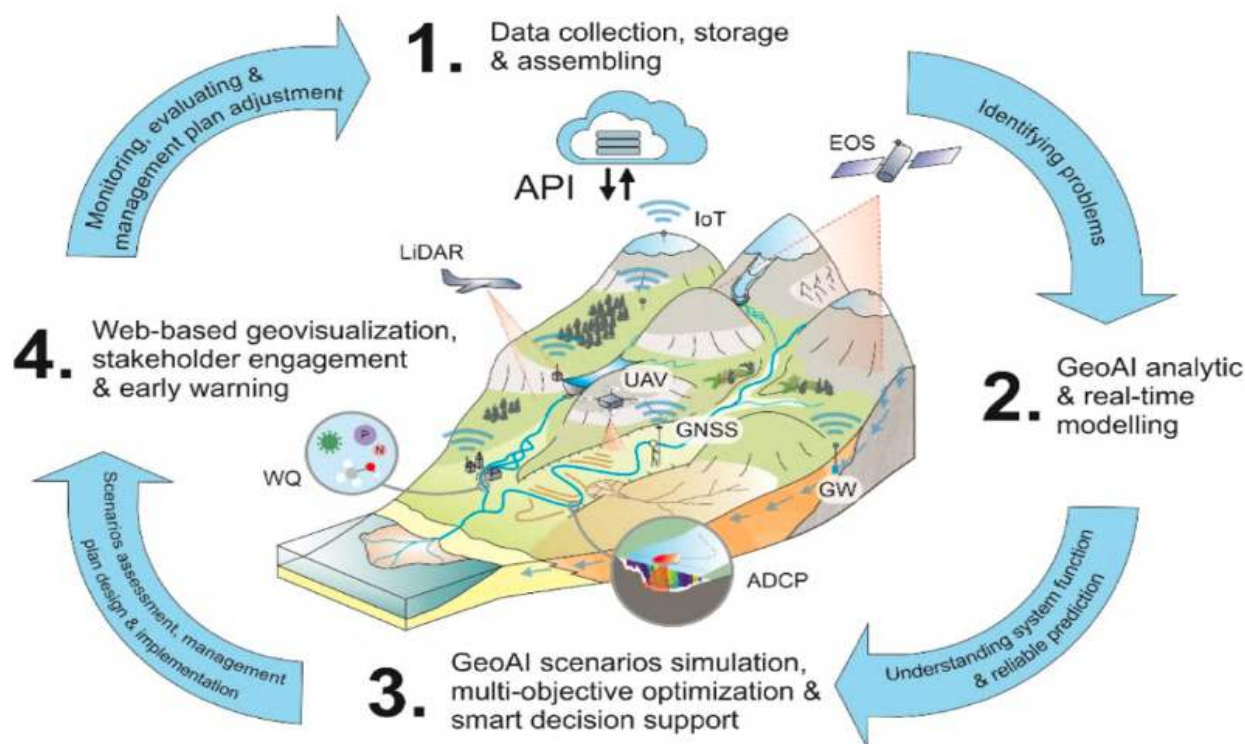


Figure 1-1-3 – Chaîne de valeur de l'information hydrologique

Compte-tenu de ces définitions, le terme qui nous semble le plus adapté pour définir l'écosystème est celui de la **GEOINTELLIGENCE** renforcée par les techniques d'intelligence artificielle. Cette évolution tend à faire dans les prochaines années, de la géographie, un champ d'application de l'IA.

Nous emploierons le terme **géonumérique** dans la suite du document, qui est le thème mis en avant dans le titre de l'étude.

RECOMMANDATION : Développer la visibilité de l'écosystème

Adopter un langage commun : Publier une définition unique, large, moderne, attractive qui caractérise l'écosystème pour que tous les acteurs s'y retrouvent.

2. Le marché géonumérique mondial est significatif et en forte croissance

À l'échelle mondiale, le secteur géonumérique est en croissance soutenue depuis plusieurs années, tout comme celui du numérique. En 2022¹², le marché géonumérique mondial s'élevait à **384 Mds€** avec une croissance de **14%** par an.

On estime par ailleurs (14) que l'impact positif des technologies géonumériques sur l'économie mondiale serait compris entre **15 000 et 28 000 Mds€** (soit un facteur multiplicateur compris entre 40 et 75). Le **marché européen** représentait une part de 25% du marché global, soit **93 Mds€** et celui des **États-Unis** une part de 30% soit **111 Mds€**.

• La chaîne de valeur de l'information géographique

La chaîne de valeur géonumérique peut se décomposer de la manière suivante :

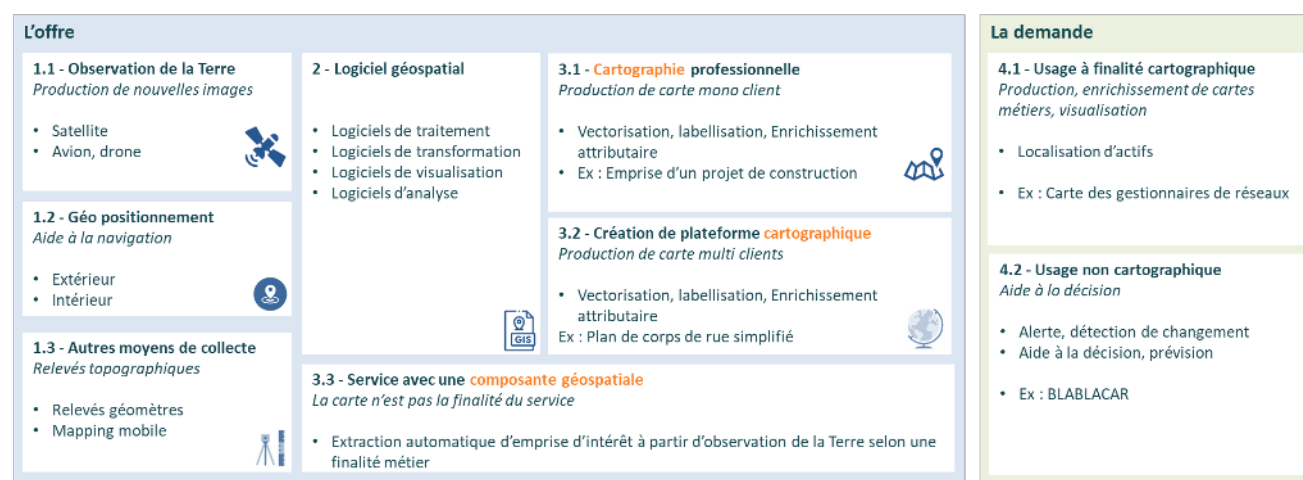


Figure 1-1-2-1 – Chaîne de valeur traditionnelle de l'information géonumérique

1.1 - L'observation de la Terre. La création de cartes et de services géonumériques reposent sur la production de nouvelles données géoréférencées comme celles fournies par l'observation satellitaire ou la photographie aérienne. L'apport de données nouvelles croît continuellement aussi bien en volume qu'en précision. Actuellement, selon l'UNOOSA¹³, sur les 4 000 satellites actifs en 2021, près **d'un millier sont dédiés à l'observation de la Terre**. Selon Spherical insights¹⁴, le marché des satellites d'observation de la Terre représentait un chiffre d'affaires mondial de **7,7 Mds€** en 2021, avec une croissance annuelle de 7%. De nombreux acteurs privés (émergence du New Space) sont entrés dans ce marché qui s'est considérablement développé depuis le début des années 2000.

¹² Geospatial World, *geospatial knowledge infrastructure*, 2022

¹³ www.geospatialworld.net/prime/business-and-industry-trends/how-many-satellites-orbiting-earth/

¹⁴ www.globenewswire.com/en/news-release/2022/10/18/2536258/0/en/Global-Satellite-Earth-Observation-Market-Size-to-grow-USD-14166-Billion-by-2030-CAGR-of-7.html

1.2 - Le géo positionnement (GPS, GNSS). En dehors des télécommunications, le géo positionnement est le segment le plus important du marché satellitaire, bien plus important que celui de l'observation de la Terre. Selon l'ESA¹⁵ le marché combiné de l'observation de la Terre et du géo positionnement représentait en 2021, un chiffre d'affaires de près de **200 Mds€** (soit plus de 190 Mds€ pour le seul marché du positionnement). Ce marché qui est devenu une commodité devrait doubler dans les 10 prochaines années.

1.3 - Les autres moyens de collecte correspondent aux dispositifs d'acquisition terrestres. Les relevés topographiques constituent une composante essentielle de tout chantier de construction. Selon une étude de l'OMPL (Observatoire des Métiers dans les Professions Libérales)¹⁶ de 2016, les métiers de géomètres, topographes et photogrammètres, ont enregistré une baisse régulière de leurs effectifs depuis la crise immobilière de 2008 (1 400 salariés en moins sur un effectif global actuel de 13 000 personnes). Le marché des équipements de topographie est lui globalement en croissance due à la demande de précision, à l'urbanisation, au besoin croissant de logements et d'infrastructures pour la population mondiale. Ce segment représentait¹⁷ un marché mondial de **6,6 Mds€** en 2020 (dont 50% pour les stations et les théodolites), en croissance de 6%. Le mobile mapping est également un segment de collecte de données en très forte croissance. Le chiffre d'affaires mondial correspondant, était de plus de **24 Mds€** en 2021¹⁸ avec une croissance annuelle de 27%. Le développement des villes intelligentes explique la croissance majeure de ce segment qui permet de cartographier facilement les évolutions de l'espace urbain au quotidien.

2 – Les logiciels géospatiaux constituent les principaux outils d'usage de la donnée géonumérique. Ils sont utilisés pour construire et manipuler des bases de données géonumériques (*géocodage, géoréférencement, rasterisation, vectorisation, gestion de méta données, production de cartes, géo analyse*). Depuis la création des premiers logiciels géographiques dans les années 80, la gamme s'est considérablement développée pour adresser l'ensemble des besoins de production géonumérique.

¹⁵ EUSPA, *EO and GNSS market report*, 2022

¹⁶ www.ompl.fr/images/Publications/EtudesBranches/cdv/geometres/ompl_etude_portrait_geometre_web_10_16.pdf

¹⁷ www.alliedmarketresearch.com/land-surveying-equipment-market-A07620

¹⁸ www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/mobile-mapping-market-198266968.html

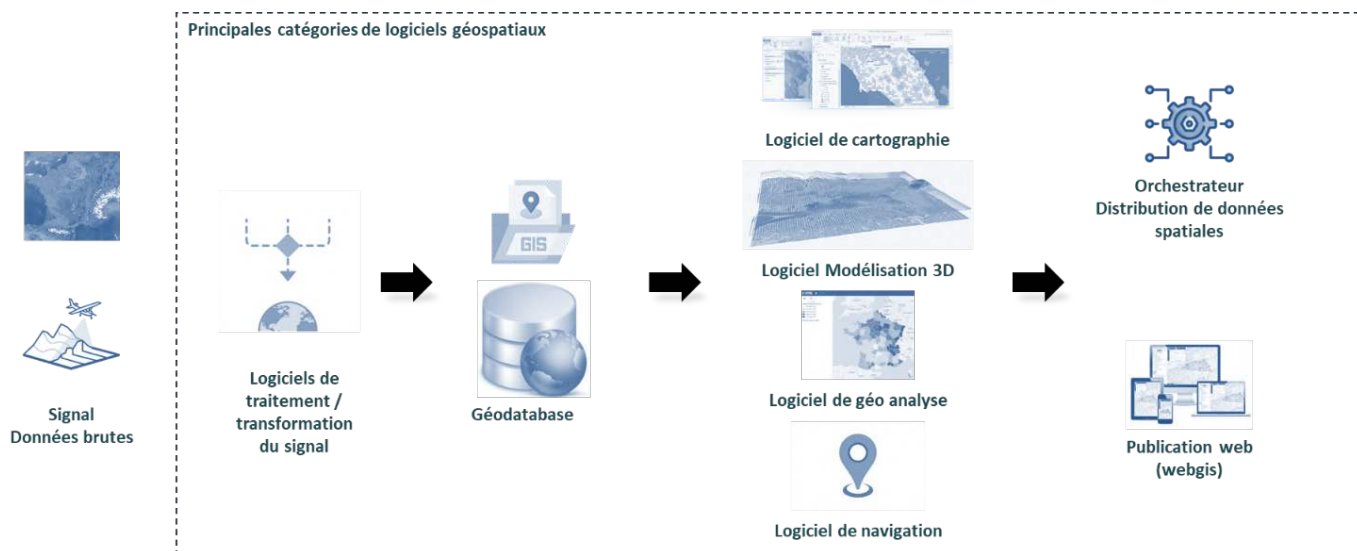


Figure 1-1-2-2 – Principales catégories de logiciels géospatiaux

Selon une étude¹⁹, en 2020, le marché mondial des solutions logicielles géonumériques s'élevait à **6 Mds€**, soit environ 1.6% du marché géonumérique. Le segment des logiciels pour les stations de travail domine largement l'ensemble du segment. Selon une seconde étude²⁰, à l'échelle mondiale, le segment des logiciels était évalué à **4,9 Mds€**, un chiffre proche de l'estimation précédente. Il est à noter que sur ce segment, la société ESRI qui emploie environ 4 000 personnes aujourd'hui a réalisé en **2022** un chiffre d'affaires mondial d'environ **1 Md€** (53 M€ en France en 2022) soit 17% du chiffre d'affaires du segment.

3.1 et 3.2 – La production de cartes mono ou multi clients est le métier historique des acteurs de la filière. Initialement à usage militaire puis professionnel, ce segment s'est complètement démocratisé avec le développement d'internet et la mise en ligne d'outils cartographiques tels qu'**Open Street Maps** en 2004. Il est difficile d'évaluer précisément la taille de ce segment compte tenu de la diversité des usages géographiques possibles à l'intérieur ou non d'applications métiers, mais selon une étude²¹ (*qui ne permet pas de distinguer la production de carte de la plateforme de diffusion*), il était estimé mondialement en 2022 à **60 Mds€**, soit environ 16% du marché global.

3.3 – Les services avec une composante géospatiale correspondent au segment en plein développement au sein de la filière du fait de la combinaison de plusieurs facteurs. Avec l'augmentation considérable de la disponibilité des données, de nouvelles analyses (extraction de plus de détails, détection de changement, etc...) impossibles à réaliser il y a 10 ans sont désormais possibles. Le développement de plus en plus rapide de l'économie numérique permet de créer en quelques mois des services numériques innovants dès lors que des données sont disponibles en nombre suffisant.

¹⁹ Allied Market Research, *Geographic Information System (GIS) Software Market*, 2020

²⁰ Global Geographic Information System (GIS) Software Industry Research Report, *Competitive Landscape, Market Size, Regional Status and Prospect*, 360 research report, 2022

²¹ MarketsandMarkets, *Geospatial analytics Market*, 2022

En synthèse, comme en témoigne le graphique ci-dessous, tous les segments de la chaîne de valeur sont en croissance ou stables, avec un phénomène de développement sectoriel de plus en plus rapide des offres géonumériques.

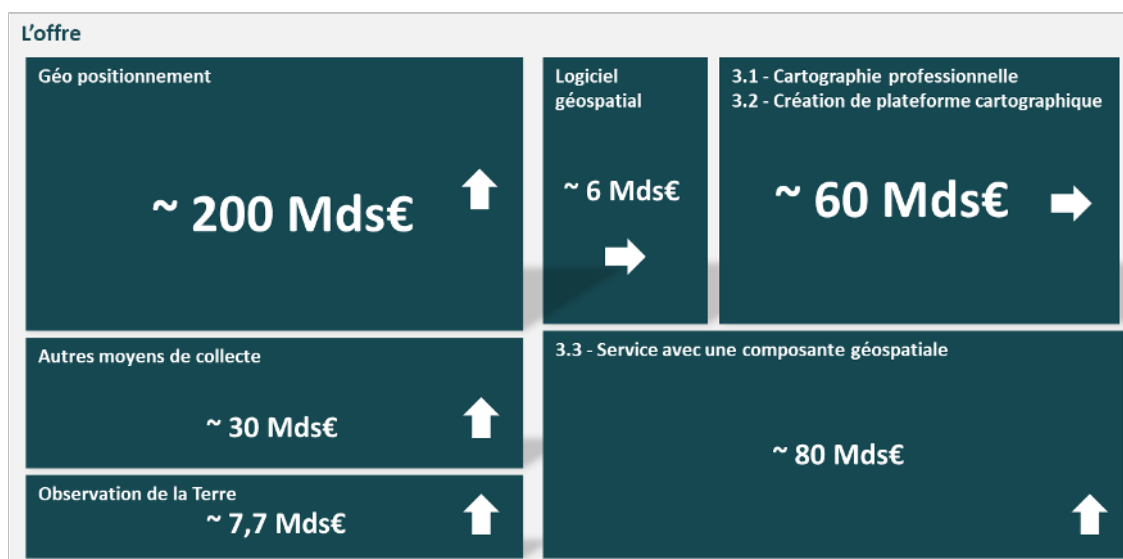


Figure 1-1-2-3 – Poids des segments de la chaîne de valeur géonumérique

- **L'évolution du marché**

En 2020, l'Organisation des Nations Unies a réalisé une étude²² sur le rôle indispensable de l'information géonumérique dans la gestion du **changement climatique**. Elle fait partie du 17^{ème} objectif de développement durable.

Par ailleurs, une étude réalisée en 2022 par GEOSPATIAL KNOWLEDGE INFRASTRUCTURE pointe un certain nombre de **facteurs technologiques** qui vont impacter la chaîne de valeur de l'information géonumérique. Ces facteurs sont illustrés dans le schéma suivant :

²² WHO, *Future trends in geospatial information management: the five-to-ten-year vision*, Ordnance Survey, 2020

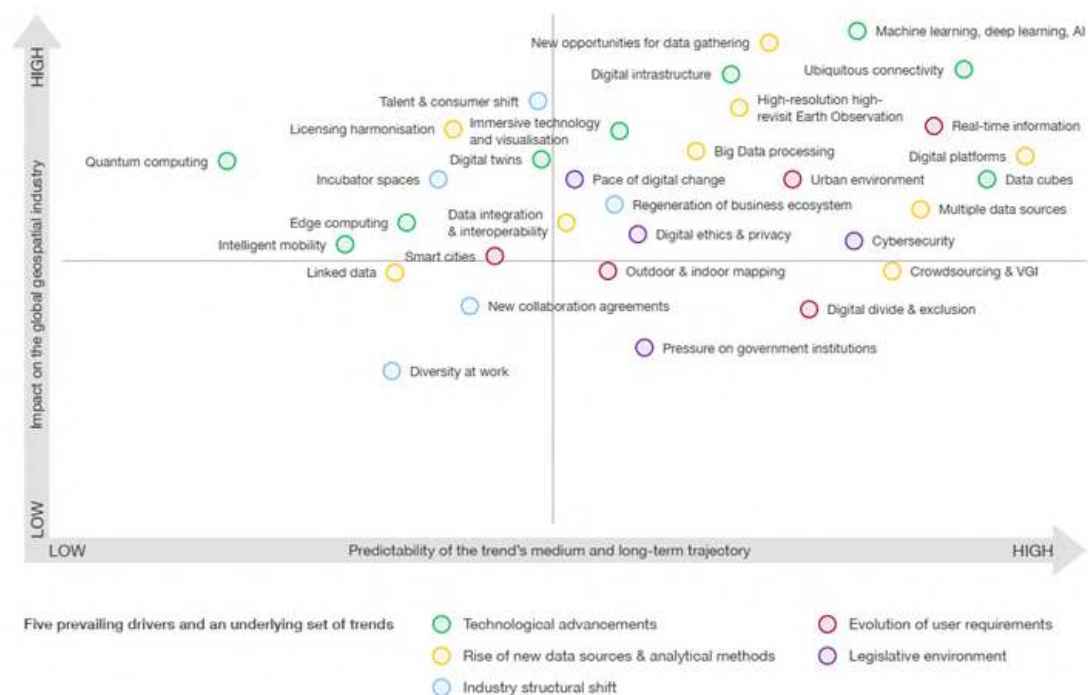


Figure 1-1-2-4 – Les facteurs d'influence du secteur géonumérique dans les 10 prochaines années²³

Cette double influence des innovations technologiques et des préoccupations de réglementation et de sécurité environnementale devrait faire évoluer les poids des segments de la chaîne de valeur. Voici une perspective de développement, sous forme de reconfiguration de la chaîne de valeur traditionnelle.



- **L'acquisition de données comme un service** fait référence à la possibilité de : Déployer un réseau de **n'importe quel type de capteurs IOT** en fonction des besoins sur **n'importe quelle localisation sur la planète**.
- Envoyer **en continu un flux de données** via un réseau de communication, jusqu'à un centre de données et ce à un **coût constant ou en diminution**.

La densification des réseaux de communication et le développement des acteurs privés dans le spatial permettent d'envisager l'instrumentation de n'importe quelle localisation de la planète.

Ces innovations vont rendre de moins en moins utile la production d'atlas, c'est-à-dire la production de données de référence sur une large superficie. Comme c'est déjà le cas, mais le phénomène va

²³ Geospatial World, *GEOSPATIAL KNOWLEDGE INFRASTRUCTURE*, 2022

s'accentuer, chaque entreprise sur son secteur va souhaiter disposer de plus en plus d'informations géonumériques métiers, aussi bien en qualité, en précision et en fraîcheur. Compte tenu des capacités d'acquisition qui se développent, adresser cette réactivité et cette précision deviennent possibles à des coûts de plus en plus faibles. Cette tendance va s'amplifier et les entreprises vont se focaliser sur les quelques endroits sur la planète, clés pour leurs activités. Sur ces endroits, elles souhaiteront disposer d'indicateurs métiers précis et pertinents uniquement. Les données ayant servi à la construction de ces indicateurs deviendront inutiles à présenter.

La donnée géonumérique va devenir tellement abondante qu'il est probable que les acteurs positionnés uniquement sur la collecte voit leur valeur diminuer au cours du temps, si la donnée produite n'est pas transformée en information d'intérêt.

- **Le pré-traitement algorithmique correspond à celui des spécialistes de l'intelligence artificielle**

La chaîne de valeur du traitement de la donnée géographique va également évoluer, comme sur le segment correspondant à transformer un signal en donnée exploitable. Sur cette étape l'intelligence artificielle vient considérablement accélérer la mise à disposition de données de qualité.

Cette première étape de traitement est hautement automatisable. En conséquence, elle attire de nombreux acteurs du développement numérique. Les sociétés de ce segment regroupent les spécialistes du développement algorithmique, c'est-à-dire des mathématiciens et des développeurs informatiques. Leur offre est composée de bibliothèques d'algorithmes sous forme de solution logicielle et/ou d'APIs.

Une majorité de bibliothèques algorithmiques est issue de la recherche académique et de grands centres universitaires (même si les géants du numériques investissent de plus en plus dans la mise à disposition de bibliothèques payantes). Elles sont le plus souvent accessibles en données ouvertes, mais peu exploitables, l'enjeu pour les acteurs de ce segment est les rendre plus facilement utilisables par des non informaticiens.

Les éditeurs de solutions géonumériques devraient majoritairement se développer sur ce segment en proposant des algorithmes à plus forte valeur ajoutée.

- **Le traitement géonumérique métier, les plateformes géonumériques métiers**

Ce segment correspond à une évolution du travail de l'analyse spatiale et de labellisation qui consiste à ajouter des données métiers aux localisations pour faciliter le travail d'aide à la décision. Même si ce segment tend également à se numériser, il comporte encore des étapes manuelles, liées à la grande

hétérogénéité des données à associer ou fusionner. La principale difficulté correspond à définir voire imaginer des indicateurs métiers pertinents à partir de ces données hétérogènes et de rendre leur calcul aussi automatique que possible. Cela permet de répondre à des questions comme, « *Est-ce qu'un bien immobilier a une valeur durable ?* » en se basant sur une prise de vue aérienne, un suivi météorologique, etc.

Les nouveaux acteurs de ce segment regroupent des développeurs informatiques et des experts sectoriels. Il est très important que les acteurs traditionnels tels les bureaux d'études se développent sur ce segment et être capables de proposer :

- Sous forme de flux numériques accessibles via une interface de type API, toutes les informations qu'ils produisent en plus de leurs livrables traditionnels.
- Une valeur ajoutée métier en amélioration régulière, notamment en recrutant des professionnels métiers dans les secteurs qu'ils adressent.
- **Aide à la décision géonumérique et métier, les spécialistes de l'analyse géonumérique**

Ce segment correspond aux acteurs de conseil et de services agréant des données de plusieurs bases géonumériques pour fournir des géo-analyses à des clients finaux. Ce segment n'est pas nouveau et correspond à l'ensemble des activités de géo intelligence, mais il bénéficie d'un volume beaucoup plus important d'informations à analyser et surtout d'une fréquence de rafraichissement inégalée.

Dans un futur proche, la production d'un rapport d'analyse sera obsolète avant même l'écriture du premier mot de ce dernier. L'analyse portera de plus en plus sur la prévision d'évolution de données reçues en quasi-temps réel. Dans un tel contexte, l'analyse devrait s'orienter logiquement vers la prévision extrêmement précise de situations futures, comme c'est le cas en météorologie.

Il est possible qu'une partie de ce segment fusionne avec le segment précédent si l'expertise sectorielle métier se développe au sein notamment des bureaux d'études.

B. Une économie mondiale de plus en plus géodépendante

1. Les données et services géonumériques participent à l'économie numérique

• CONVERGENCE GEONUMERIQUE ET NUMERIQUE, SIMILARITE DES MODELES ECONOMIQUES

La matière première de l'économie géonumérique est la **géo donnée**, plus couramment la **GéoDATA**. Historiquement gérée par les géographes et géomaticiens, elle est de plus en plus manipulée par des acteurs numériques sans expertise géographique. Il se produit une convergence entre les modèles d'usage des données numériques et géonumériques. Seule la combinaison ou la fusion de données multi-sources permet de répondre à des questions métiers de plus en plus précises.

La **combinaison de données** se retrouve sous plusieurs formes : la *fusion des données* qui intervient avant la modélisation, la *calibration des modèles* qui intervient avant interprétation en comparant les modèles des données intégrées, l'*explication multi-échelle* qui est une comparaison voire une somme des résultats de différents modèles avant interprétation et la *comparaison de données* qui se réalise après interprétation indépendante²⁴. Comparaison et calibration sont à ce jour les méthodes privilégiées²⁵.

La **fusion de données** requiert cependant des capacités de traitement et de stockage de plus en plus importantes, largement développées par ailleurs par l'industrie numérique. C'est également l'industrie numérique qui impose le modèle de restitution de l'information, sous forme de bibliothèques d'APIs (l'information produite est destinée à être utilisée dans un autre système numérique) ou sous forme de plateforme accessible et consommable immédiatement par l'utilisateur final. Google a initié la normalisation le mode de consommation de la donnée géo numérique en 2005 avec Google Maps.

Cette convergence crée de nouveaux modèles économiques tournés vers les services métiers à plus forte valeur ajoutée²⁶. La donnée seule, même fusionnée, a de moins en moins de valeur. Elle réside de plus en plus dans sa capacité à être « **decision ready** ». Les nouveaux modèles économiques qui se développent sont les suivants :

- **XaaS** : « X as a service » encore appelé « *anything* as-a-service » : il s'agit de tous les services offerts à travers une infrastructure « Cloud »
- **IaaS** : « Infrastructure as-a-service » : services « Cloud » de type Amazon Web Services permettant de sauvegarder des données géonumériques ;
- **Content-as-a-Service** : contenu géonumérique as-a-service (CaaS) permettant la mise à disposition de contenus divers (cartes, images, ...). Ex : Hexagon, Here Market Place ;

²⁴ Alvarez, Corpetti et Houet, *UAV & Satellite synergies for OR*, 2021

²⁵ *idem*, fig. 5

²⁶ *idem*

- Platform-as-a-Service (PaaS) : c'est le modèle le plus large permettant non pas de vendre uniquement des données, mais d'offrir des services à valeur ajoutée et des applications consommables à la demande. C'est le cas de la plateforme d'ESRI ArcGIS Platform lancée en 2021 par l'éditeur, ou celle de Palantir : Foundry ;
- Software as a Service (SaaS) : mise à disposition d'un logiciel particulier sur abonnement- Ex : Google Earth pro, Salesforce Maps... ;
- **Coopétition et partenariat** : accord de consortium pour créer une offre de services à valeur ajoutée en commun à des clients (ex : Overture Maps qui réunit notamment Tom Tom, ESRI, Meta, Microsoft) ;
- **Paie ment à l'usage** (Pay-per-Use) - Ex : Mapbox ;
- **Prestations d'études sur mesure** – Ex : bureaux d'études divers ;

Une enquête récente menée par Geospatial World²⁷ montre que le modèle économique **XAAS** est le plus prisé (23%) par l'industrie géonumérique, suivi de très près par le classique modèle de prestations de types études spécialisées (22%). Concernant les XaaS, près de 80% d'entre eux portent sur 3 axes : **contenus à valeur ajoutée, analyses de données et logiciels**. La carte (**mapping as a service**) arrive à la quatrième position.

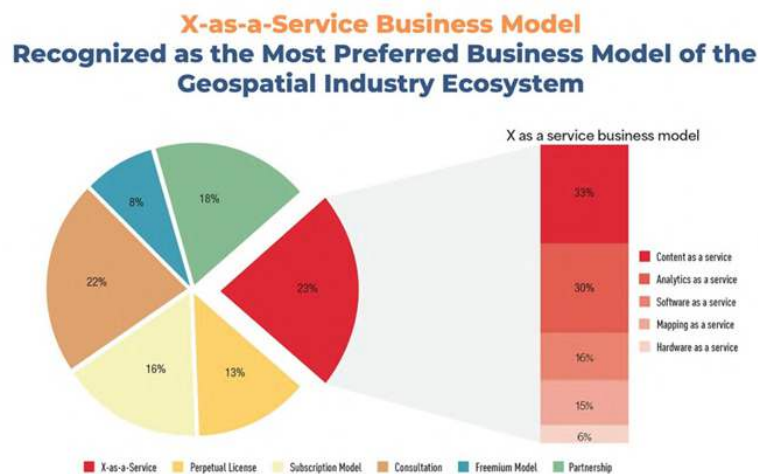


Figure 1-2-1-1 – Modèle X-aaS, répartition dans le géospatial

• IMPORTANCE DES SERVICES DE LOCALISATION POUR LES SERVICES NUMERIQUES

Le GPS, *Global Positioning System*, est une constellation MEO américaine²⁸, par la suite classée parmi les GNSS (*Global Navigation Satellite System*), met en orbite à partir de 1978 pour un usage exclusivement militaire avant que son signal ne soit progressivement ouvert au secteur civil.

Le GPS aurait généré 1.4T\$ de valeur aux États-Unis depuis sa mise en orbite²⁹. Il permet à des applications (comme Uber, Lime-Bird ou PokemonGo...) de multiplier leur valeur initiale par près de 700.

²⁷ Geospatial World Report, 2023

²⁸ <https://aerospace.org/article/brief-history-gps>

²⁹ Anderson, SpaceEconomy, 2022

Pour moins de 50 mds€ investis dans les satellites, le GPS a créé un marché annuel aval de plus 800 Mds€³⁰, grâce à l'intégration de cette technologie dans tous les smartphones.

Les retombées du GPS sont à la fois technologiques et économiques :

- Sur le premier point, les services numériques au sol dépendent désormais majoritairement du GPS. Les services géolocalisés se comptent dans notre quotidien par dizaines (VTC, flottes libre-service, navigation en transport en commun, suggestions individualisées, applications de sauvetage, ...) et dépendent de deux signaux dont le premier est nettement plus disponible et adapté que le second pour cette mission : le GPS et le bornage (Wi-Fi, antennes, ...).
- Sur le second point, le modèle économique induit, constitue désormais un modèle de dissociation des investissements sur une infrastructure de captation ou de diffusion de données et sur la distribution et les applications de ces données⁽³¹⁾. Dans cette perspective, le premier maillon d'une chaîne de valeur devient le premier maillon d'une chaîne de dépendances.

Au-delà du seul GPS, les enjeux actuels et à venir autour de la géolocalisation portent sur le développement de services à valeur ajoutée (haute précision et haute fiabilité pour différents usages critiques) qui reposeront à la fois sur des récepteurs multi-constellations GNSS³¹, le développement de composants IoT intégrant des capteurs de géolocalisation et des capteurs INS³², et l'hybridation de tout cela par des logiciels avancés³³.

• LA SPECIFICITE DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

L'information géographique est la représentation d'un objet ou d'un phénomène réel ou imaginaire, présent, passé ou futur, **localisé dans l'espace à un moment donné** et ce, quelles qu'en soient la dimension et l'échelle de représentation.

Deux composantes géométriques et une composante informationnelle caractérisent une information géographique :

La géodésie³⁴ : La géodésie est la science qui étudie les dimensions et la forme de la Terre, ainsi que son champ de pesanteur, elle permet d'établir les systèmes de coordonnées. Cette composante est fondamentale et spécifique à l'information géographique. Le **système international de référence terrestre** (ITRS³⁵) évolue en moyenne tous les cinq ans. En France, le référentiel géodésique est défini par la Loi³⁶. Sa réalisation est confiée à l'Institut Géographique National qui a produit sa dernière version en 2020.

³⁰ The GPS Playbook, SpaceCapital et SVB, 2020

³¹ GPS, GLONASS, Galileo, et BeiDou

³² Inertial Navigation System : navigation inertielle – ex : capteurs d'accélération et de rotation.

³³ Cf Ngoc Tan TRUON, thèse de doctorat, « Hybridation multi-sources pour améliorer les fonctions de détection, pistage, localisation et positionnement dans des environnements difficiles », ENSTA Bretagne, 2020

³⁴ IGN : [La Géodésie](#) ; [Systèmes géodésiques](#)

³⁵ www.iers.org

³⁶ CNIG

La **topologie**³⁷ est « la description des relations spatiales entre les entités d'une couche d'information géographique ». Grâce à la topologie, on passe d'une représentation descriptive d'informations à une **description opérationnelle**. La représentation d'un réseau routier sous forme de lignes et d'intersections entre ces lignes permet aux algorithmes de calculer l'itinéraire entre deux points

La **composante informationnelle** : aujourd'hui pratiquement tous les types d'informations peuvent être attachés à une localisation, depuis une adresse jusqu'à une pathologie (pour étudier l'épidémiologie des maladies) par exemple. Même si l'information géonumérique intéresse au premier plan les acteurs qui gèrent ou occupent une grande superficie (métropole, région, gestionnaire de réseau, agriculture, environnement, etc...),

Par ailleurs, les données géographiques peuvent **évoluer dans le temps**, ce qui offre de nouvelles possibilités en termes de services : suivi des déplacements, conditions météorologiques par exemple.

En synthèse, l'**information géonumérique** fait appel à des domaines scientifiques spécifiques, dont les mathématiques, pour modéliser les caractéristiques géographiques de la planète, permettant de construire ensuite des systèmes d'aide à la décision dans pratiquement tous les secteurs de l'économie.

Autre spécificité de l'information géographique, elle est constituée, en partie, de **données souveraines**³⁸. Comme le précise le rapport consacré à ce sujet³⁹ : « La souveraineté d'une donnée géographique se définit par sa destination ou par son usage, qui est de servir de support direct aux décisions de la puissance publique. Une donnée n'est donc souveraine que si sa disponibilité conditionne la possibilité même de la décision publique, c'est-à-dire qu'elle présente pour la puissance publique une véritable criticité ». Ici, la puissance publique ne se limite pas à l'Etat. « Elle désigne l'ensemble plus vaste formé par l'État, les établissements publics, les collectivités territoriales et certaines personnes privées chargées d'une mission de service public ».

2. La numérisation de la représentation des territoires et infrastructures

• LA REPRESENTATION NUMERIQUE D'UN TERRITOIRE

Les technologies de digitalisation et de virtualisation de l'environnement physique (cartographie numérique, photogrammétrie, LIDAR, réalité augmentée, réalité virtuelle) sont devenues très matures aujourd'hui. Elles interviennent de plus en plus systématiquement pour générer un environnement virtuel représentant exactement un espace physique que ce soit un objet industriel, un bâtiment ou une superficie plus étendue.

³⁷ IGN : ([Fiche signalétique géodésie](#)) et Espace Interministériel de l'Information géographique ([Glossaire](#))

³⁸ <https://cnig.gouv.fr/donnees-souveraines-a19738.html>

³⁹ *Les données géographiques souveraines - Rapport au Gouvernement* – Madame Valéria FAURE-MUNTIAN Députée de la Loire, Juillet 2018

En fonction des usages, on emploie alternativement le terme de BIM (Building Information Management) qui adresse les usages de la construction, de NIM (Network) pour les réseaux, CIM (Common) pour les villes, LIM (Landscape) pour l'environnement ou de jumeau numérique de portée plus large et pouvant désigner n'importe quel objet, système ou environnement du monde réel représenté numériquement⁴⁰.

Lorsque des données géographiques sont associées à ce jumeau numérique, on utilise souvent les termes de jumeau numérique de territoire, jumeau numérique d'infrastructure ou smart city selon les usages associés. Quel que soit le terme ce sont des outils de plus en plus utilisés, notamment du fait de l'accroissement de données et usages à gérer. Les environnements numériques créés permettent de communiquer sur le rendu final d'un projet futur, mais ils sont également devenus très interactifs, ce qui en fait des outils de gestion à part entière.



Figure 1-3-1-1 – Reconstruction automatique de modèles 3D à partir d'acquisition LIDAR

L'utilisation généralisée de la donnée LIDAR permet, non seulement la création de modèles numériques de terrain et d'élévation, mais identifie également tous les objets présents sur une superficie (végétation, bâtiment, route, etc...) permettant d'établir un inventaire très précis des surfaces. Le fait de pouvoir dresser un inventaire automatique d'un territoire révolutionne sa gestion. Mais cela apporte également une très grande complexité de gestion de cette donnée de par son volume et sa diversité.

La gestion numérique et collaborative de territoire tire parti des capacités précédentes pour permettre à tous les acteurs de travailler ensemble grâce à une information riche et mise à jour en temps réel. Le schéma suivant présente un exemple des usages rendus possibles par ce type de dispositif.

⁴⁰ www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-digital-twin-technology

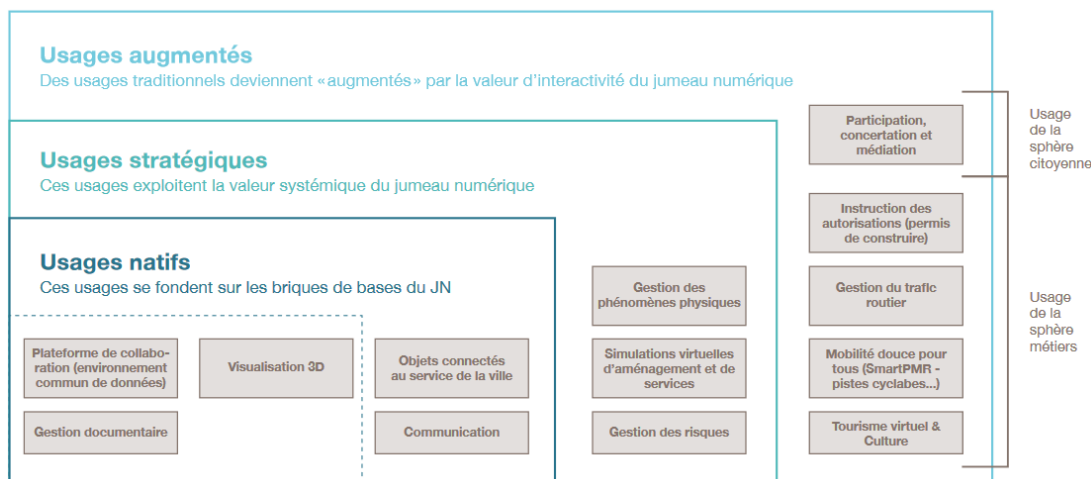


Figure 1-2-2-2 – Principaux usages du jumeau numérique (JN) de territoire⁴¹

• LES BESOINS ASSOCIES AUX JUMEAUX NUMERIQUES

Comme l'explique l'étude de la Banque des territoires consacré au concept de « Jumeau Numérique »⁴², il s'agit là d'un concept aux définitions mouvantes et qui en est à ses débuts en termes de mise en œuvre effective de projets dans le monde.

Dans la définition proposée dans ce document, un jumeau numérique est une réplique virtuelle d'un territoire qui intègre des données statiques et dynamiques pour représenter son fonctionnement en temps réel. Il va bien au-delà des systèmes traditionnels tels que les SIG (Systèmes d'Information Géographique) ou de concept un peu plus récent comme le BIM (Building Information Modeling), en offrant une source unique et fiable de données consolidées, basées sur des standards ouverts pour assurer l'interopérabilité des systèmes.

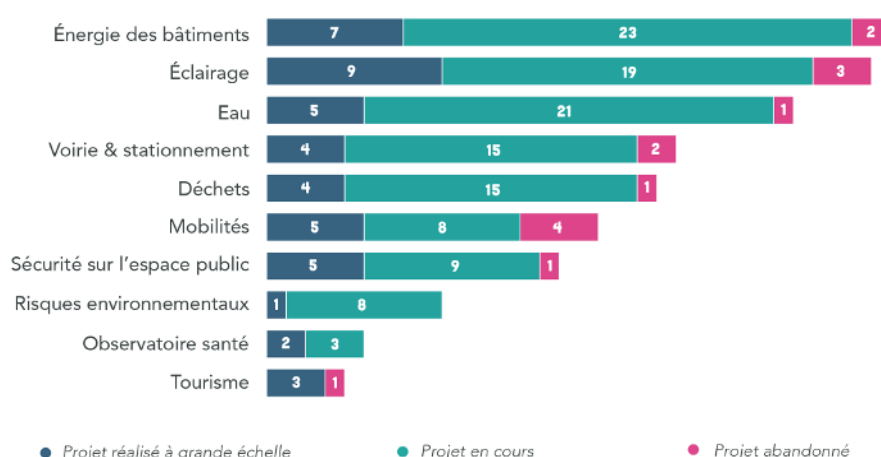
Les jumeaux numériques offrent de multiples usages :

- La communication : Facilite la visualisation 3D des projets urbains pour la participation citoyenne et l'attractivité du territoire,
- La simulation : pour détecter des anomalies sur les réseaux, par exemple, pour optimiser la maintenance et mieux maîtriser les coûts. Et plus largement, offre une réplique numérique complète de la ville pour simuler et analyser divers aspects urbains, tels que la gestion des infrastructures, la planification urbaine et la gestion des ressources,
- L'aide à la décision associée : permet une meilleure gestion des données urbaines et environnementales par exemple,
- Innovation : Favorise la création de nouveaux services digitaux,
- La E-administration : Améliore l'efficacité du pilotage et de la gestion des services offerts aux citoyens.

⁴¹ « Miroir, miroir... : le jumeau numérique du territoire », Banque des territoires, juillet 2021

⁴² Op. cit.

Il y a très peu de réels projets de territoires ayant déployé de véritables jumeaux numériques dans le monde. Ils sont par ailleurs généralement centrés sur des types d'usages précis et n'ont pas toujours les mêmes couvertures fonctionnelles : [Shanghaï](#), [Singapour](#), [Helsinki](#), [aéroport d'Amsterdam](#), [Rennes](#)



[Métropole](#), [Région Ile de France](#).

Figure 1-2-2-3 – Résultat de l'observatoire sur la digitalisation de l'espace physique ⁴³

Le graphique ci-dessus illustre les besoins prioritaires associés à la digitalisation de l'espace physique, pour la Région Île-de-France : Pour les répondants aux enquêtes de cette étude, les objectifs de numérisation des territoires portent sur :

- **Faire mieux avec autant.** Répondre aux nouvelles contraintes, aux nouveaux enjeux à budget constant.
- **Éclairer la décision, simuler.** Utiliser des outils numériques en amont de décisions liées aux politiques publiques.
- **Mieux communiquer.** Informer, sensibiliser les usagers pour les engager sur un usage durable de l'espace public.

Cette étude présente également les sujets métiers les plus pertinents à adresser par les outils numériques à des fins de gestion territoriale.

- **Eau :** Analyse des consommations, surveillance des fuites, priorisation de travaux, réduction des déplacements des agents de maintenance.
- **Energie :** Analyse des usages, réduction des consommations, détection d'anomalies, priorisation des rénovations.
- **Éclairage :** Réduction des interventions humaines, des consommations sans impacter la qualité de vie et la sécurité.
- **Risques :** Alerter plus rapidement, anticipation des risques, sécurisation des populations.

⁴³ www.banquedesterritoires.fr/pour-lobservatoire-des-territoires-connectes-et-durables-la-dynamique-dadoption-est-enclenchee

- **Déchets** : Optimisation des tournées, densification des poubelles, prévention des incivilités, localisation des déchets sauvages.
- **E-administration** : Modernisation de l'administration, dématérialisation de procédures, réduction des délais de traitement des demandes.

- **Les perspectives de développement du jumeau numérique de territoire**

Une communication abondante et de nombreuses initiatives alimentent les réflexions sur le développement du jumeau numérique de territoire idéal. Pour autant, la taille réelle du marché mondial et donc français reste très faible (même si les projections du schéma sont très ambitieuses) et les réalisations d'envergure peinent à se mettre en œuvre, notamment à l'échelle d'un territoire français.



Figure 1-2-2-4 – Prévisions d'évolution du marché des jumeaux numériques (en milliards de \$) ⁴⁴

L'Afigéo référence aujourd'hui une vingtaine de plateformes territoriales de données géographiques comportant chacune un vaste géo-catalogue et des fonctionnalités de gestion et de visualisation. L'Afigéo mène une veille active, avec l'animation du [Réseau des CRIGEs](#) sur les stratégies data dans les territoires et sur l'actualité et les enjeux prospectifs sur les usages de la géomatique. Pour autant, très peu de ces plateformes permettent de faire de la simulation, et leur capacité d'intégration de vastes quantités de données LIDAR (comme France HD) est émergente.

Les obstacles à la mise en œuvre de jumeaux numériques à l'échelle d'un territoire sont et resteront nombreux :

- Même si le concept et son utilisation se sont imposés dans le monde industriel et dans le bâtiment, son extension à d'autres secteurs reste à faire. Le volume de données croît régulièrement et les infrastructures qui hébergent la majorité des géo plateformes actuelles ne sont absolument pas

⁴⁴ Precedence research

dimensionnées pour exploiter ces volumes. Les vœux de normalisation et d'interopérabilité des données et des systèmes ont du mal à se traduire dans les faits, notamment du fait de la complexité de la question. Pour rappel, il a fallu 50 ans au code EAN des étiquettes de biens de consommation pour s'imposer dans le monde. La diversité des usages et des corps de métiers impliqués rend difficile à croire, la publication d'un modèle unique normalisé à court terme. Entre temps, chaque collectivité aura continué à développer son propre modèle d'outil géonumérique de pilotage.

- Un territoire quel que soit sa taille, reste un environnement très complexe à modéliser et pour le moment, aucun modèle de représentation numérique n'est capable d'adresser toute cette complexité. Le programme européen Destination Earth qui vise à développer des jumeaux numériques de haute précision et qui est doté d'un budget de 150m€ n'entrera en service que dans une décennie, témoignant de la difficulté de la tâche.

En conséquence, il nous paraît **peu probable qu'un outil permettant de visualiser toute la dynamique de fonctionnement d'un territoire voit le jour à court terme**. Il est même probable que si un tel outil voyait le jour dans les années qui viennent, peu de collectivités auraient la volonté de remplacer leurs infrastructures existantes, construite pendant des années.

Il convient donc de travailler sur **un enrichissement des plateformes territoriales existantes en adressant les besoins non couverts, comme le pilotage environnemental** par exemple. C'est d'ailleurs la direction prise par de nombreuses startups proposant des outils de type jumeau numérique.

Le schéma suivant présente une vision de ce que pourrait être l'ensemble des composantes d'un jumeau numérique global (donc de territoire). Dans cette vision, chaque composante doit se comprendre comme un projet technologique à part entière dont la mise en œuvre nécessiterait à chaque fois des ressources conséquentes.

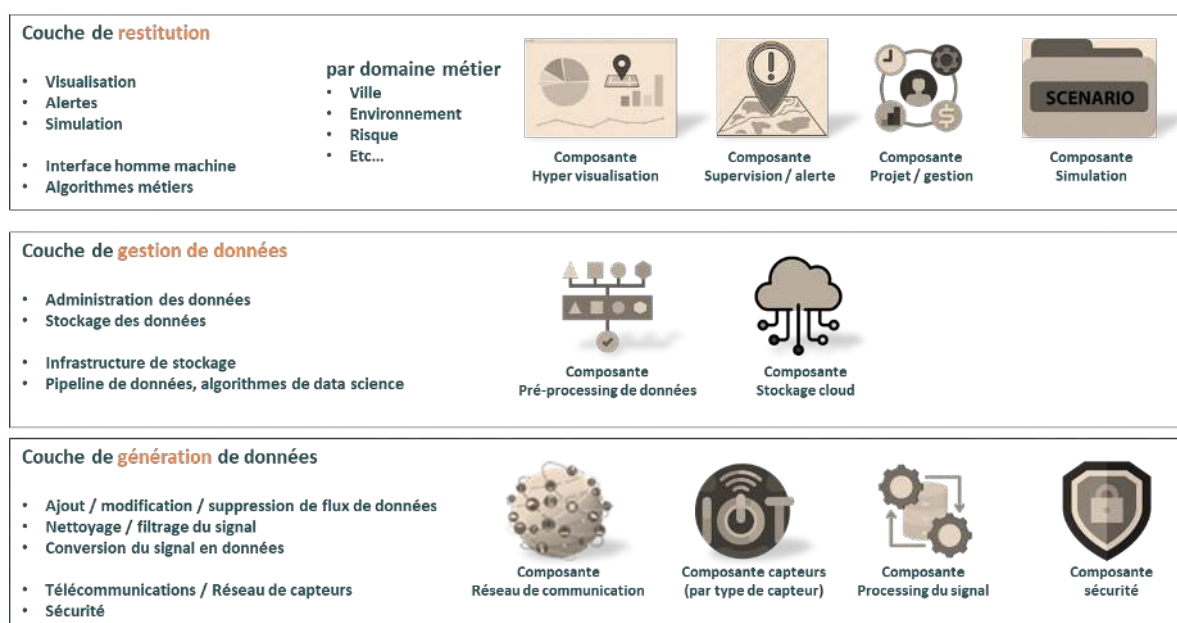


Figure 1-2-2-5 – Composantes principales d'un jumeau numérique de territoire

Pour toute collectivité disposant d'une géoplateforme, certaines de ces composantes sont déjà opérationnelles, en particulier dans la couche intermédiaire de gestion de données et dans celle de restitution sur la partie visualisation. A partir de ce socle, un travail progressif permettra de l'enrichir avec les composantes manquantes. Aujourd'hui, les composantes qui nous paraissent clés à adresser sont les suivantes :

- **La structuration de la couche de génération de données**, pour absorber et tirer parti du volume phénoménal des données de l'internet des objets. La structuration et l'hébergement de cette couche mobilisera des expertises importantes en infrastructures cloud, comme celles présentes chez un acteur français comme OVH par exemple. A ce titre l'expérience de l'IGN acquise sur les aspects hébergement de plateformes nationales pourrait être valorisé au profit des autres démarches pour leur montée en puissance.
- **L'hyper vision et la supervision pour les usages liés à l'environnement**. Les outils numériques de pilotage de la transition climatique restent à inventer. Dans ce domaine, de nombreuses startups françaises réfléchissent et proposent des interfaces très pertinentes, aussi bien du point de vue métier que sur le plan ergonomique. Mettre à disposition de ces startups un accès à la couche de gestion de données des géo plateformes existantes permettrait d'accélérer la mise au point de modules pertinents à moindre coût.

3. Une géo-dépendance inégale

Cette partie étudie la **croissance** de la dépendance des secteurs économiques à l'information géonumérique, donc le **potentiel marché de dépendance future**. Les secteurs traditionnellement géo-dépendants comme la construction ou la gestion d'infrastructures réseaux vont le rester. Mais la question à laquelle cette partie essaye de répondre, c'est dans quelle mesure cette géo dépendance va croître et permettre le développement de marchés supplémentaires.

Définition de la géo dépendance : Dans cette étude, le concept de **géo dépendance** est défini comme étant la dépendance d'une activité d'une entreprise ou d'une personne à une donnée géolocalisée (Ex : l'adresse d'un bâtiment, l'endroit où il va pleuvoir, etc...).

Pour introduire cette analyse, le graphique suivant présente une estimation de croissance du marché géonumérique pour plusieurs segments et secteurs économiques sur les 10 prochaines années.

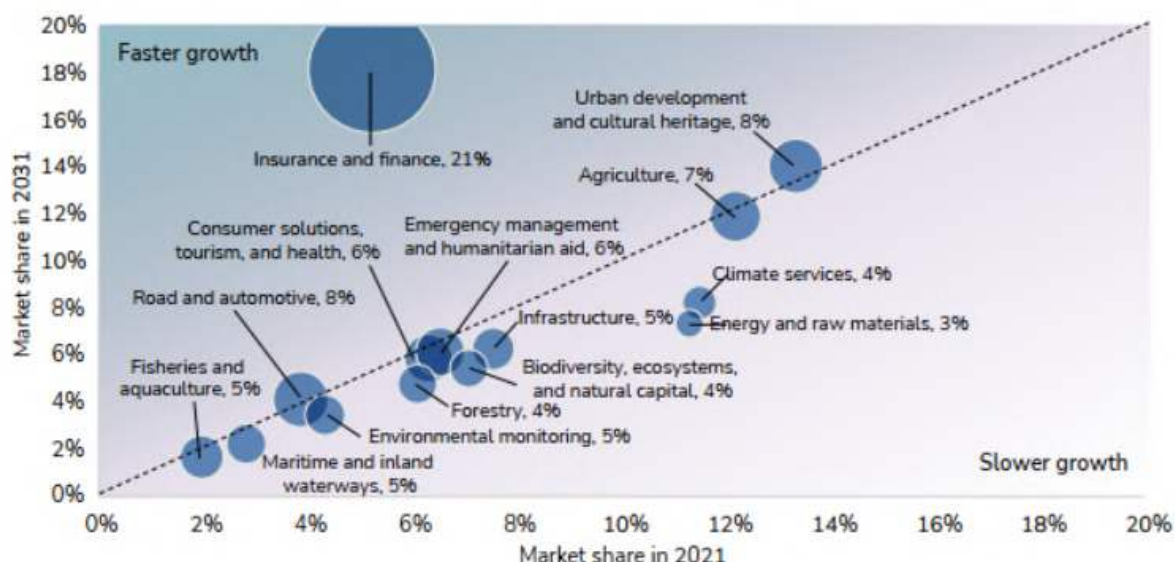


Figure 2-1-1-5 – Croissance des activités géonumériques par segment. (121)

Selon cette étude, en 2021, 50%⁴⁵ des revenus issus de la vente de services et de données d'observation de la Terre ont été réalisés dans les 5 secteurs suivants : **Urbanisme et aménagement du territoire** (13% de revenus), **Agriculture** (13%), **Services liés au climat** (11%), **Energie et matières premières** (11%) et **gestion des grandes infrastructures** (7%).

Les secteurs financiers (Banque et Assurances) sont ceux qui vont connaître la plus forte progression dans les prochaines années.

Dans les prochaines années, il n'y aura pas de révolution importante dans la hiérarchie des acteurs de la demande, donc de la géo dépendance. La demande des acteurs traditionnels va rester importante et quelques acteurs nouveaux vont avoir des besoins en information géonumérique.

Deux types de dépendance à l'information géographique sont étudiés :

- Une dépendance de type **besoins nouveaux** liée à l'évolution du contexte dans lequel évolue les acteurs d'un secteur. Par exemple, pour le secteur de l'agriculture, le changement climatique va avoir un impact très fort. De la même façon, l'évolution actuelle du contexte géopolitique va avoir un impact très fort sur l'organisation des armées.
- Une dépendance de type **capacités nouvelles** liée à l'innovation numérique : *nouvelles données, centres de calculs, algorithmes, etc.* La capacité à mesurer le niveau des rivières avec une précision millimétrique et en continu va impacter l'organisation de la protection civile par exemple.

⁴⁵ EUSPA EO and GNSS report 2022

L'AGRICULTURE

Dépendance	Niveau futur	Précisions
Besoins nouveaux	FORT	Le changement climatique a déjà un impact majeur sur le secteur agricole. L'agriculture aura besoin de nouveaux outils de pilotage en lien avec la rareté des ressources naturelles et les risques sanitaires par exemple.
Capacités nouvelles	FAIBLE	Le secteur utilise déjà largement les technologies IOT ou d'observation pour ses prévisions. La densification des réseaux d'information va apporter plus de précision sur les modèles.

LE BATIMENT ET LES TRAVAUX PUBLICS

Dépendance	Niveau futur	Précisions
Besoins nouveaux	FAIBLE	Les besoins de ce secteur ne vont pas évoluer de manière significative. Les innovations importantes du secteur sont liées à l'évolution des procédés constructifs (industrialisation, automatisation de la construction en particulier), mais pas à un bouleversement de la géographie.
Capacités nouvelles	FAIBLE	Le secteur peine à se digitaliser et à généraliser l'usage des outils BIM. L'adoption est lente et le besoin d'inclure la maquette numérique d'un bâtiment ou d'un ouvrage dans une géographie est limité.

LA DEFENSE ET LA SECURITE

Dépendance	Niveau futur	Précisions
Besoins nouveaux	FORT	Le contexte géopolitique est devenu de plus en plus menaçant pour l'Europe et la France. La volonté d'anticiper et de se prémunir des menaces contre la sécurité nationale ne fera que croître dans les prochaines années. Pour optimiser l'organisation des forces, les besoins en renseignement géographique notamment sont déjà et vont continuer à se développer.
Capacités	FORT	Comme présenté dans le rapport d'étude, l'explosion des moyens

nouvelles		d'observation va rendre le monde transparent. Pour autant, la planète couvre une superficie de plus de 500 millions de km ² et même en se limitant aux zones de crises, cela constitue une superficie colossale à analyser.
-----------	--	--

L'ECONOMIE VERTE, LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Dépendance	Niveau futur	Précisions
Besoins nouveaux	FORT	La gestion de la transition climatique et énergétique est un nouveau secteur en plein développement. Les préoccupations sont telles que ces besoins vont continuer à croître fortement.
Capacités nouvelles	FORT	La croissance importante des moyens d'observation de la terre est directement liée au changement climatique. La planète se dote des outils permettant d'ausculter sa santé et de réorienter les activités humaines vers plus de durabilité.

L'ENERGIE, LES INFRASTRUCTURES RESEAUX

Dépendance	Niveau futur	Précisions
Besoins nouveaux	MOYEN	Dans le domaine de l'énergie, les besoins nouveaux en lien avec la géographie correspondent à l'évaluation du potentiel d'énergie renouvelable disponible. Les besoins liés aux réseaux traditionnels sont déjà largement couverts aujourd'hui.
Capacités nouvelles	FORT	La surveillance géographique des réseaux d'énergie, de télécommunications ou d'eau est une activité ancienne, internalisée depuis longtemps chez les gestionnaires. Cette activité bénéficiera des capacités nouvelles liées à la densification des réseaux IOT, mais ils sont déjà largement utilisés aujourd'hui. La vraie nouveauté réside dans l'utilisation opérationnelle de satellites d'observation de la TERRE qui devrait réduire considérablement les besoins de visites de contrôle sur le terrain.

LE SECTEUR FONCIER

Dépendance	Niveau futur	Précisions
Besoins nouveaux	FORT	Les enjeux environnementaux sont un casse-tête pour les gestionnaires fonciers. Le marché de rénovation pour adapter l'ensemble du bâti est en plein développement, plus de 20 millions de logements sont à rénover d'ici 2050 en France. La problématique est la même dans tous les pays développés. La banque hollandaise ING par exemple, a estimé qu'en 2022, le segment de la rénovation représentait 54% du marché total de la construction en Europe. L'augmentation des températures génère de nouveaux besoins à adresser pour combattre les îlots de chaleur, notamment.
Capacités nouvelles	FAIBLE	Le secteur bénéficie pleinement du développement de l'IOT pour piloter notamment la gestion énergétique ou de l'eau dans les bâtiments. Il est probable que le développement d'algorithmes d'IA spécifiques permettra en outre d'optimiser un peu plus les consommations par exemple. En dehors des capteurs cependant, les innovations géonumériques ne devraient pas impacter significativement la géo dépendance.

LA MER, LA GESTION DU LITTORAL

Dépendance	Niveau futur	Précisions
Besoins nouveaux	FORT	Les enjeux environnementaux, aussi bien que les nouvelles menaces impacteront fortement la gestion des espaces maritimes. Avec la montée des eaux, les risques d'aléas sur le littoral augmentent également fortement. Par ailleurs, les routes maritimes demeureront les principales voies du commerce mondial et leur importance vis-à-vis du transport aérien devrait se renforcer.
Capacités nouvelles	FORT	Le développement des capacités d'observation va bénéficier directement aux espaces maritimes, qui restent des domaines difficiles à gérer compte tenu de leur superficie.

LA GESTION DES RISQUES NATURELS

Dépendance	Niveau futur	Précisions
------------	--------------	------------

Besoins nouveaux	FORT	Du fait du changement climatique, les aléas environnementaux sont en forte augmentation. Ils soumettent des populations de plus en plus importantes à des risques accrus que ce soit en Europe ou dans le reste du monde. Dans les pays qui vont devenir de plus en plus inhabitables, les changements vont engendrer le déplacement de vastes populations qu'il faudra également gérer pour éviter des catastrophes humanitaires
Capacités nouvelles	FORT	Le développement des capacités d'observation et des algorithmes va très largement bénéficier au développement de modèles prévisionnels plus précis et permettre un délai d'alerte plus court.

LE TRANSPORT ET LA LOGISTIQUE

Dépendance	Niveau futur	Précisions
------------	--------------	------------

Besoins nouveaux	FORT	La transition environnementale est également une évolution vers des modes de transports plus durables. D'une manière ou d'une autre, l'usage de la voiture va diminuer.
Capacités nouvelles	MOYEN	Les capacités apportées par la densification des réseaux IOT vont apporter de la précision dans l'information générée, mais probablement peu de cas d'usages nouveaux. En revanche l'amélioration des performances de l'IA devrait apporter de la performance supplémentaire en optimisation.

Dépendance	Niveau futur	Précisions
------------	--------------	------------

Besoins nouveaux	FORT	Comme pour le secteur foncier, les enjeux environnementaux sont un casse-tête pour les collectivités et tous les acteurs responsables de l'aménagement du territoire. L'objectif de zéro artificialisation nette nécessite de mettre au point des mécanismes de transition qui n'existent pas aujourd'hui. Le besoin de collaboration entre tous les échelons nationaux et globaux, chacun partiellement responsable d'une ou de plusieurs compétences sur le territoire est particulièrement complexe à adresser et nécessitera l'invention d'outils nouveaux.
Capacités nouvelles	FORT	Les données permettant évaluation, décision, pilotage et contrôle vont être largement abondantes. Mais les informations pertinentes à extraire de ces données vont nécessiter un investissement significatif en ressources numériques.

C. Des révolutions technologiques transforment le géonumérique

1. Révolution numérique, automatisation et IA

- **UNE CROISSANCE EXPONENTIELLE DE L'INNOVATION NUMERIQUE**

L'innovation mondiale, en particulier numérique, s'est fortement accélérée depuis le début des années 2000, suite à l'apparition de plusieurs ruptures technologiques majeures :

- **Le réseau internet** et l'usage partagé de données
- **Une croissance exponentielle des capacités de calcul** et de la quantité de données :
- **La mobilité et le développement des objets connectés** qui favorisent l'accès à des flux de données en temps réel :

Ces ruptures se traduisent par une accélération régulière des cycles d'innovation et de mise à disposition de nouveaux produits et services. On estime qu'il a fallu 50 ans pour permettre au téléphone d'atteindre 50 millions d'utilisateurs. Ce nombre a été atteint en moins d'un mois avec l'application Chat GPT.

- **LE DEVELOPPEMENT D'UNE ECONOMIE DE LA DONNEE**

L'économie de la donnée a commencé à se développer il y a 2 siècles avec la révolution industrielle et la naissance du monde moderne. Son développement s'est considérablement accéléré avec l'apparition d'Internet et la révolution numérique.

Aujourd'hui, le seul marché européen de la donnée (données, services, outils) a une valeur de près de 73 Mds€ en 2022⁴⁶, en croissance de 12% par rapport à 2021, soit deux fois plus rapide que les années précédentes. La seule vente de données entre sociétés représente 26% de ce marché et on estime à plus de 500 Mds€ l'impact de ce marché sur l'économie.

L'économie de la donnée se traduit par des nombreux bénéfices dans tous les domaines : *découverte scientifique, innovation, contribution à la croissance économique, amélioration des produits et services, etc...*

- **L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE, LA REVOLUTION DES ALGORITHMES**

L'intelligence artificielle, sous l'angle de l'apprentissage-machine est l'une des principales révolutions numériques de ces 10 dernières années. Les algorithmes apprenants sont devenus indispensables au traitement du volume croissant de données y compris dans le domaine géonumérique. Inexistant il y a encore 20 ans, le marché mondial actuel de l'ensemble des segments de l'intelligence artificielle (matériels, logiciels et services) est aujourd'hui évalué autour de 140 Mds€⁴⁷ avec une croissance supérieure à 30%. L'IA est devenue un enjeu « **géo** » stratégique qui n'a plus rien à voir avec les sciences mathématiques dont elle est issue.

La convergence entre l'IA et le domaine géonumérique (GEOAI) modifie considérablement la façon dont nous pouvons analyser et interpréter les données géographiques.

⁴⁶ DATA Market Study 2021–2023, European Commission

⁴⁷ www.alliedmarketresearch.com/artificial-intelligence-market

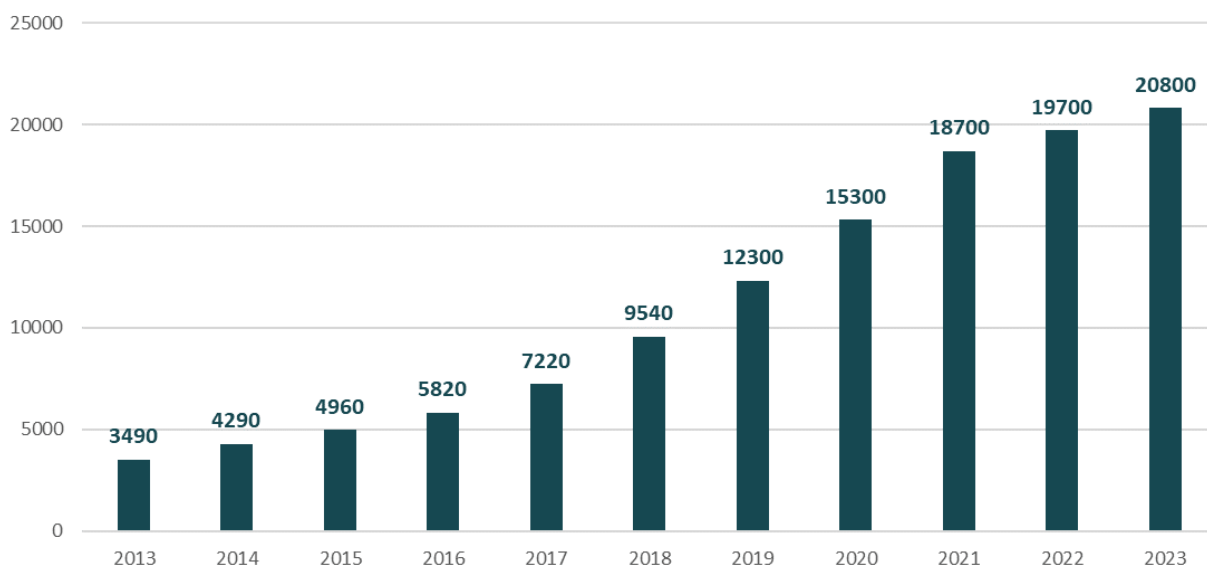


Figure 1-3-1-1 – Évolution annuelle du nombre de publications de recherche sur l'IA et le géonumérique⁴⁸

Le recours à l'IA pour traiter les données géonumériques est devenu indispensable. Outre la capacité de l'IA à extraire des informations dans un océan de données, les algorithmes apprenants permettent également d'évaluer la véracité d'une information, soit pour la certifier, soit pour détecter une falsification.

Par ailleurs, les performances de l'IA dans le domaine de classification d'images d'observations de la Terre sont similaires à celles des benchmarks d'images généralistes. C'est-à-dire qu'elles sont supérieures à 90% pour une multitude de modèles d'IA et de tâches de classification. Cette performance croît régulièrement.

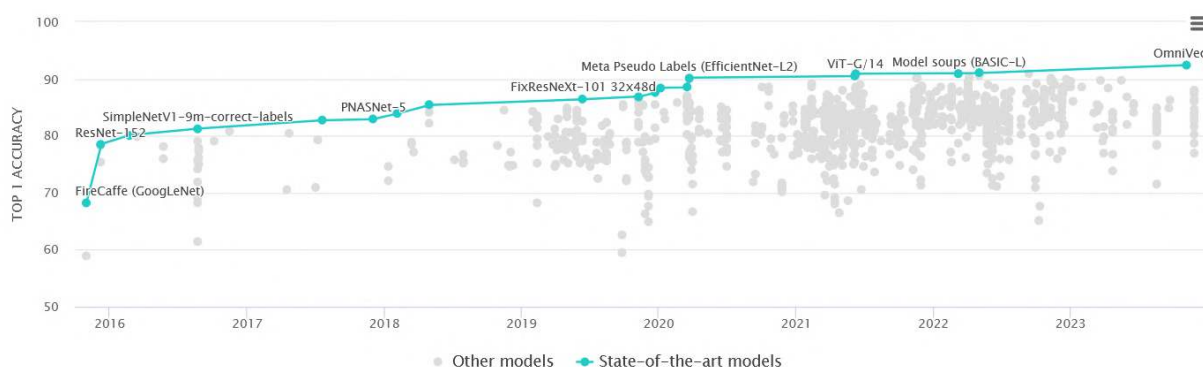


Figure 1-3-1-2 – Évolution de la performance des modèles d'IA pour la classification sur le dataset imagenet⁴⁹

Or, même si la qualité première de ces algorithmes est celle de la performance technique, la confiance que nous pouvons leur accorder est tout aussi importante à partir du moment où ils adressent des usages souverains comme la Défense et la mise en œuvre de politiques publiques, notamment sur le climat. Pour cette raison et même dans une simple perspective de compétitivité mondiale, les filières géonumériques françaises et européennes doivent être capables de maîtriser le niveau de confiance que

⁴⁸ Google scholar

⁴⁹ paperswithcode.com/sota/image-classification-on-imagenet

les décideurs vont devoir accorder à ces algorithmes, comme c'est le cas pour les données géographiques de référence produites par les grandes agences publiques.

Au-delà de la dimension souveraine, le GEOIA est un remarquable moteur d'innovation. Tous les acteurs ou presque incubés aujourd'hui par l'IGN ou le CNES incluent des algorithmes d'intelligence artificielle dans leur proposition de valeur.

Le sujet est considéré comme si important que le service de recherche géonumérique du laboratoire d'Oak Ridge aux Etats-Unis a mis en place depuis 2019, le trillion-pixel challenge⁵⁰ pour tenter de « casser » les problèmes à la convergence entre l'IA et le géonumérique. Le challenge vise en particulier à développer les technologies capables de détecter des changements journaliers sur une grande volumétrie de données.

• L'IA EST AU CŒUR DE LA FUSION DE DONNEES GEONUMERIQUES

La fusion de données multi sources également appelées données multimodales ou hétérogènes est l'un des principaux processus de traitement de données géonumériques et probablement le plus ancien. C'est la fusion des informations disponibles sur une localisation qui permet de répondre à toutes les questions métiers en lien avec la géographie : *la météo du lendemain, le rendement d'un champ, l'état de fonctionnement d'une ligne électrique, l'intensité du trafic routier sur un périphérique, la position des forces sur champ de bataille, les victimes d'une catastrophe naturelle, les exemples sont infinis.*

Or le volume de données disponibles sur une localisation croît à coût constant offrant de nouvelles capacités d'analyse.

Schématiquement, une chaîne de traitement pour la fusion de données suit les étapes suivantes :

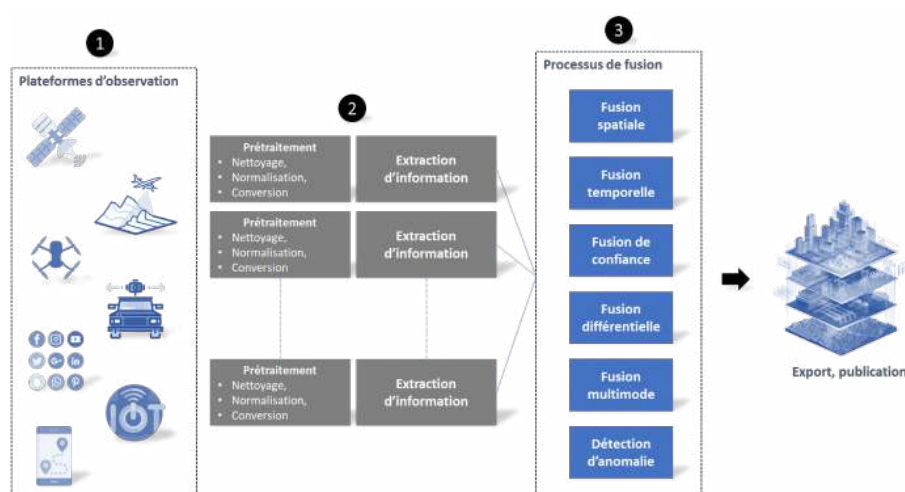


Figure 1-3-1-3 – Chaîne de traitement typique de fusion de données

⁵⁰ <https://www.ornl.gov/news/trillion-pixel-challenge-looks-ahead-next-decade-geoai-innovation>

1. **Plusieurs plateformes d'observation** fournissent un flux de données géolocalisées. Elles peuvent être constituées d'un réseau de capteurs (satellite, Internet des objets), d'un travail d'acquisition par un opérateur (drone) ou générés par une communauté via un canal digital (réseau social).
2. Chaque flux fait l'objet d'un travail de **prétraitement** permettant de nettoyer, normaliser, rapprocher d'un pivot commun et extraire les informations d'intérêt. Les prétraitements courants incluent la correction géométrique (recalage), la transformation géométrique (rotation, changement d'échelle), le rééchantillonnage, la correction de distorsion de signal et ensuite l'extraction d'emprises géométriques permettant la fusion.
3. Les flux normalisés sont **fusionnés** sur une base commune selon des modalités présentées ci-dessous et le résultat est mis à disposition selon un format correspondant au type d'usage attendu : aide à la décision, communication, coordination, etc...

Dans le domaine de l'information géographique, un volume important des données utilisées provient d'observations visuelles (satellite, prise de vue aérienne, etc...), l'une des raisons étant que l'œil humain est le sens naturel de nos analyses. Or la vision par ordinateur est l'un des principaux domaines d'application de l'intelligence artificielle. De manière logique, ces techniques algorithmiques sont désormais couramment utilisées pour le traitement des prises de vues géographiques. Ces techniques réalisent des tâches automatiquement à une fréquence qui n'est plus soutenable par un géomaticien humain, à savoir :

La classification permettant d'associer un ou plusieurs labels à une image.

La segmentation permettant de diviser une image en zones d'intérêt et de les labelliser.

La détection et le comptage d'objets permettant de localiser les objets sur une image et de les compter.

La régression permettant de faire des prévisions futures (croissance d'un arbre, vitesse du vent).

La détection de tout changement sur un espace géographique.

La suppression du bruit ou d'information non pertinentes pour l'analyse.

La recherche d'images, la capacité à trouver des images similaires dans une grande base de données.

La génération automatique de légende qui permet de décrire une image.

Toutes ces opérations fournissent la base à la création de représentations numériques interactives d'une ville, d'un bâtiment, de ressources naturelles, etc... la création de modèles numériques interactifs. Le modèle numérique de terrain automatisé permet de repérer des éléments 3D dans une image en 2 dimensions.

L'IA rend également possible la fusion temps réel de données géonumériques. Le **temps réel dans le domaine géonumérique** fait référence aux usages rendus possibles par des flux de données créés en continu par un réseau de capteurs ou des humains notamment via les réseaux sociaux. On trouve des applications dans plusieurs domaines.

Le secteur des transports et de la logistique est un important utilisateur de fusion de données temps réel sur le trafic, les accidents ou les conditions météorologiques. **Les services d'urgence** ont également ce type de besoin pour localiser les points d'intervention, déployer leurs moyens d'urgence et coordonner leurs efforts efficacement. Comme pour les services d'urgence, **les forces de l'ordre et les militaires** ont également des besoins importants de planification et de coordination temps réel. Dans une certaine mesure, les biologistes ont également ce type de besoin pour suivre les évolutions de la faune sur un territoire. En dehors de la fusion de données, l'IA permet de concevoir des modèles prévisionnels de plus en plus fiables, comme c'est déjà le cas en météorologie, en prévision de volume d'eau des nappes phréatiques ou encore dans la prévision du trafic routier. Il en reste à inventer dans le cadre du pilotage de la transition climatique.

L'IA dans la géographie est un sujet de souveraineté tellement important qu'il ne peut pas être confié uniquement aux géants du numérique (majoritairement américains) comme c'est déjà le cas pour nos données personnelles. Il n'est pas possible de laisser à un algorithme étranger la faculté de définir les indicateurs de gestion de l'eau par exemple.

- **LA DONNEE EST DEVENUE LA MATIERE PREMIERE DE L'IA**

Des données en abondance, de qualité, gratuites ou de moins en moins chères

Selon le rapport européen de 2020 sur les données, ouvertes⁵¹, la taille du marché européen de la donnée ouverte était évaluée à 184 Mds€ avec une croissance estimée entre 1 et 10% par an dans les prochaines années. Ce marché est généralement estimé en % du PIB (soit 1.19% du PIB européen), représentant les retombées économiques des citoyens ou entreprises utilisant des données ouvertes pour construire des services. Par ailleurs, selon le portail des données européen⁵², les économies et bénéfices générés pour le secteur public sont extrêmement importants :

- 100 000 emplois en 2020.
- 7 000 vies sauvées grâce à des meilleurs services d'urgence.
- Une réduction de 5% des accidents de la route.
- Une réduction de 16% de la consommation d'énergie.

Dans le domaine de l'observation de la Terre, le volume de données accessibles gratuitement ne fait que grandir. Par exemple, grâce aux constellations disponibles, nous sommes passés d'un volume de 34 Po⁵³ de données en 2017 à près 80 Po aujourd'hui. Ce phénomène est le même dans toutes les régions du monde qui mettent en orbite des constellations de satellites d'observation. La dernière génération d'optique mise en orbite qui améliore la précision de résolution, réduit mécaniquement le coût de la génération précédente, comme cela est illustré sur le graphique suivant.

⁵¹ the-economic-impact-of-open-data, EU, 2020

⁵² data.europa.eu/en/dataeuropa-academy/what-open-data

⁵³ 1 Po = 1 000 000 Go

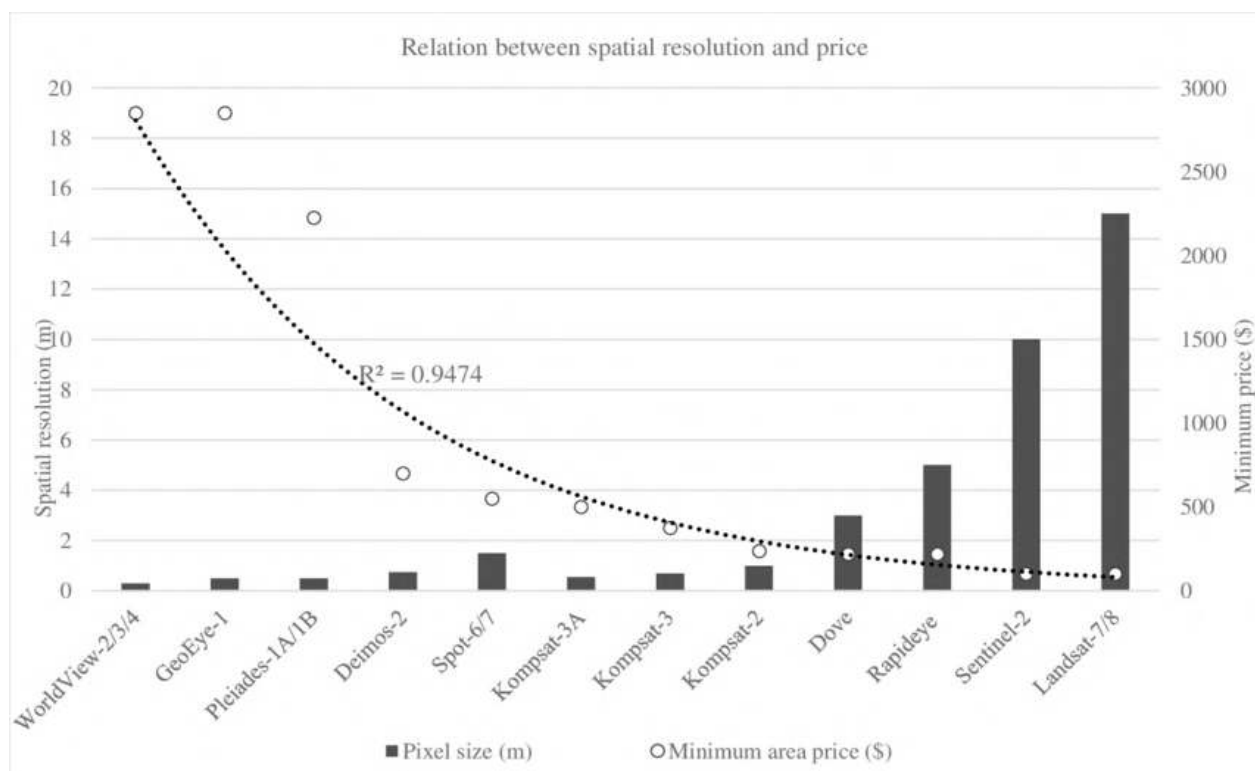


Figure 1-3-1-3 – Benchmark des services d'imagerie pour l'agriculture de précision⁵⁴

Remarque : le coefficient R^2 sur la courbe correspond au coefficient de détermination. Il mesure l'évolution du prix (les points) suivant le modèle proposé (courbe en pointillé). Plus ce coefficient est proche de 1 plus le modèle proposé est proche de la réalité. Dans le cas présent, une valeur de 0.974 signifie que la courbe est un excellent prédicateur de l'évolution du prix d'un service d'imagerie.

Quelque que soit le domaine d'acquisition, le coût de création de la donnée géonumérique ou non, suit une tendance à la baisse. Dans le domaine du LIDAR par exemple, le prix d'une unité était de 70 000 euros en 2015, contre moins de 90 euros aujourd'hui. Ce constat peut être fait pour tous les types d'acquisition de données aujourd'hui.

La donnée géonumérique est devenue abondante, de qualité et quasiment gratuite. La valeur que l'on peut tirer de l'acquisition et à la mise à disposition de nouvelles données est de plus en plus faible. Comme les autres types de données, **la donnée géolocalisée est devenue une matière première de l'industrie numérique.**

Remarque : Le débat sur la valeur de la donnée seule, doit par ailleurs être rapproché de celui sur **les données ouvertes**, objet notamment du rapport de mission Data et Territoires publié en septembre 2023. Ce rapport souligne l'intérêt croissant de ces données et de leur gestion collaborative. Outre l'intérêt évident pour l'information des citoyens et la construction de politiques publiques, **il serait également intéressant de réaliser un travail d'évaluation sur l'impact économique de ces données ouvertes.** La création de valeur est probablement si élevée qu'elle justifierait à elle seule une étude sur le sujet. Par

⁵⁴ Benchmark of Satellites Image Services for Precision Agricultural use, 2018

exemple, un rapport⁵⁵ de 2020 de la Commission Européenne estime que la donnée ouverte représenterait un marché de **184 Mds€ en Europe**.

Les algorithmes sont partout⁵⁶

Depuis la création du premier algorithme dans les années 1800 par Ada Lovelace, ceux-ci se sont répandus dans pratiquement l'ensemble des dispositifs construits par les humains. Ces algorithmes ont fait un bond spectaculaire depuis l'avènement d'internet et plus récemment, avec la capacité exponentielle à utiliser des données pour créer des algorithmes d'intelligence artificielle, capables d'apprendre des règles sans programmation explicite.

En conséquence, les transformations que l'on peut effectuer automatiquement sur des données (fusion, classification, prévisions, génération de nouvelles données etc..) augmentent régulièrement. Cela se traduit par une reconfiguration progressive de la chaîne de valeur :

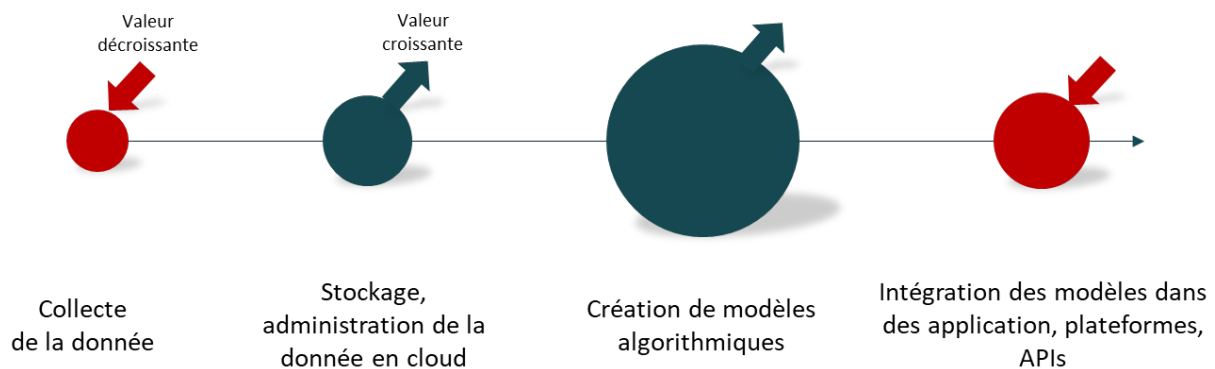


Figure 1-3-1-3 – Reconfiguration de la chaîne de valeur

Après la collecte, compte tenu de leur volumétrie, de vastes ensembles de données doivent être stockés et administrés dans le cloud pour obtenir des temps de traitement acceptables à prix maîtrisé. Cette valeur est en pleine croissance, tout simplement du fait de la volumétrie à administrer. Même si les coûts des infrastructures cloud baissent régulièrement, ils baissent moins vite que la croissance des données à stocker. Par ailleurs, le quasi-monopole mondial actuel des puces graphiques de la société NVIDIA ralentit la baisse des coûts de certains composants électroniques.

L'étape de création de modèles algorithmiques est celle qui capte de plus en plus la valeur économique pour les raisons suivantes :

- **Elle est très complexe et nécessite une très grande expertise** en science de la donnée, machine learning et statistiques. Cette expertise n'est pas largement répandue. On estime qu'il existe à peine une vingtaine de grands modèles de langages aujourd'hui sur toute la planète.

⁵⁵ data.europa.eu/en/publications/open-data-impact

⁵⁶ Article du MIT de février 2024 www.technologyreview.com/2024

- **L'algorithme transforme automatiquement la donnée en information d'intérêt**, valeur centrale du service fourni. La valeur principale d'un algorithme de calcul d'itinéraire est de vous fournir **réellement le trajet le plus court** compte tenu de votre mode de transport. Elle ne réside pas dans les données ayant servi à calculer ce trajet.
- **L'algorithme crée de la propriété intellectuelle** au même titre que n'importe quel procédé de fabrication breveté, même s'ils ne sont pas directement brevetables.
- **La qualité de l'algorithme a un impact direct sur la performance, la précision et la fiabilité du service rendu**. Ce sont des éléments valorisés par toutes les entreprises ou individus qui vont acheter et utiliser le service.

La dernière étape d'intégration est très importante, mais bénéficie de nombreuses années de mise au point d'interfaces ou d'outils de génération de code informatique permettant de créer des applications avec de moins en moins de programmation. Le développement des technologies de LOW CODE ou de NO CODE accélère la mise à disposition de services finaux.

RECOMMANDATION : Encourager l'innovation & ouverture de l'écosystème :

S'ouvrir davantage au numérique, à l'IA et aux expertises métiers : Rendre attractif les métiers du géonumérique, renforcer les capacités d'accueil des formations actuelles et leur adaptation au numérique et à l'intelligence artificielle.

Susciter l'intégration dans les formations numériques d'un volet géonumérique pour permettre au secteur de disposer de profils techniques.

2. Révolution New Space

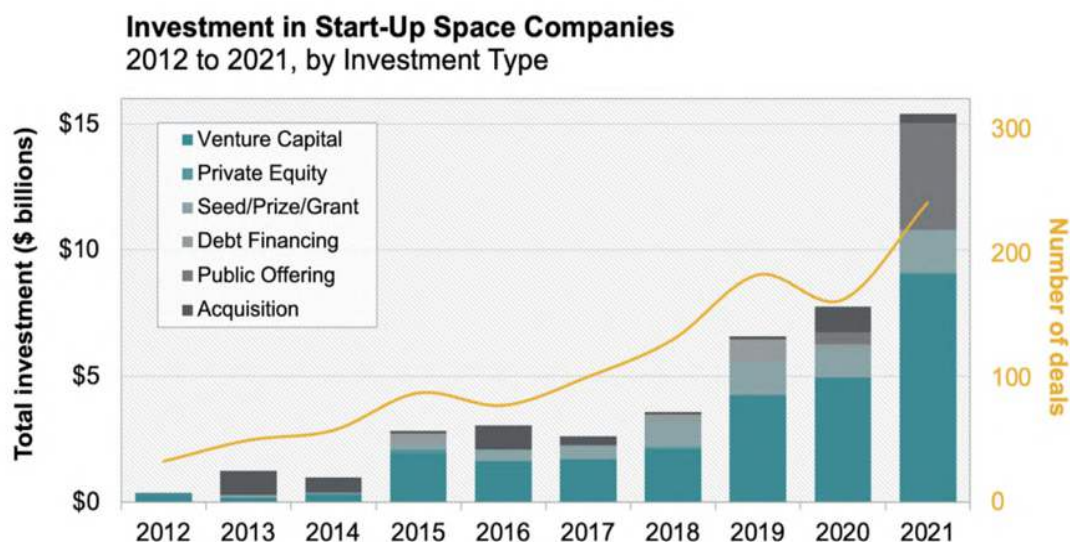
• DE NOUVELLES CHAINES DE VALEUR ORIENTEES SERVICES

Conséquence de cette mutation profonde et accélérée du secteur spatial, en quelques années, le nombre de lancements et de satellites en orbite a augmenté de façon exponentielle. Alors que dans les 50 années qui ont précédé, l'espace était le monopole de 6 pays dont la France et de quelques fournisseurs institutionnels, comme le montre le schéma ci-dessous, le New Space rebat les cartes du secteur spatial. Des entreprises privées, souvent des start-ups, bousculent les modèles industriels traditionnels⁵⁷. Le montant total des financements mondiaux alloués aux startups du New Space⁵⁸ est passé de moins d'un

⁵⁷ Friedling, op cit.

⁵⁸ Pour une analyse plus large de l'économie spatiale dans son ensemble, dans les pays membres de l'OCDE, voir : OCDE (2024), « Space economy investment trends : OECD insights for attracting high-quality funding », OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, n° 166, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/9ae9a28d-en>, et OCDE (2023), The Space Economy in Figures : Responding to Global Challenges, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/fa5494aa-en>.

Md€ en 2012 à plus de 14 Mds€ à fin 2021 (dont 9 milliards d'investissements en capital-risque). Cela



représente un quasi doublement par rapport à 2020⁵⁹.

Figure 1-3-2-1 – Investissement dans les start-ups axées sur le secteur spatial

En Europe, cette dynamique exponentielle est également visible. Les investissements privés ont été multipliés par plus de 5 en 10 ans passant de moins de 100 m€ en 2010 à 527 m€ en 2022⁶⁰. En prenant en compte l'ensemble des financements, les startups européennes ont reçu un total de 850 m€ à fin 2021.

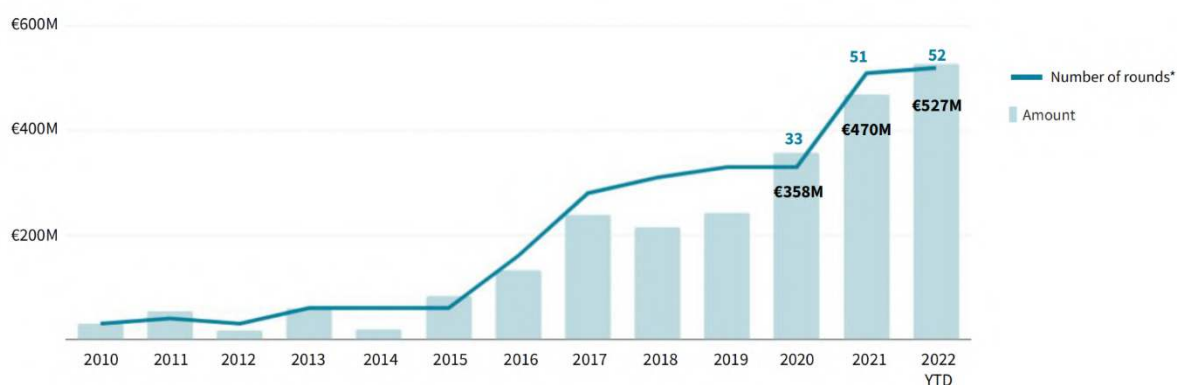


Figure 1-3-2-2 – Financements dans le secteur spatial européen

En parallèle des investissements, la valorisation de cette nouvelle filière a été multipliée par 50 en 10 ans. La valorisation est ainsi passée de 500 m€ en 2010 à 25 mds€ en 2022⁶¹.

Avec près d'un quart (52 sur 220⁶²) du total de startups, la France est le leader du New Space.

⁵⁹ prometheusspace.com/the-state-of-the-space-startup-companies-in-2022-and-the-way-forward/

⁶⁰ dealroom.co/blog/european-space-tech-lifts-off

⁶¹ Op. cit. Dealroom

⁶² toulouse-space-team.com/v2-carto-europe/



Figure 1-3-2-4 – Densité des entreprises du Newspace européen

Avec la très forte baisse du coût d'accès et comme l'illustre le graphique ci-dessous⁶³, « le club des puissances spatiales historiques s'est ouvert à de nouveaux membres. Soixante-dix-sept pays, situés sur tous les continents, possèdent désormais au moins un satellite en orbite et ce nombre augmente chaque année »⁶⁴.

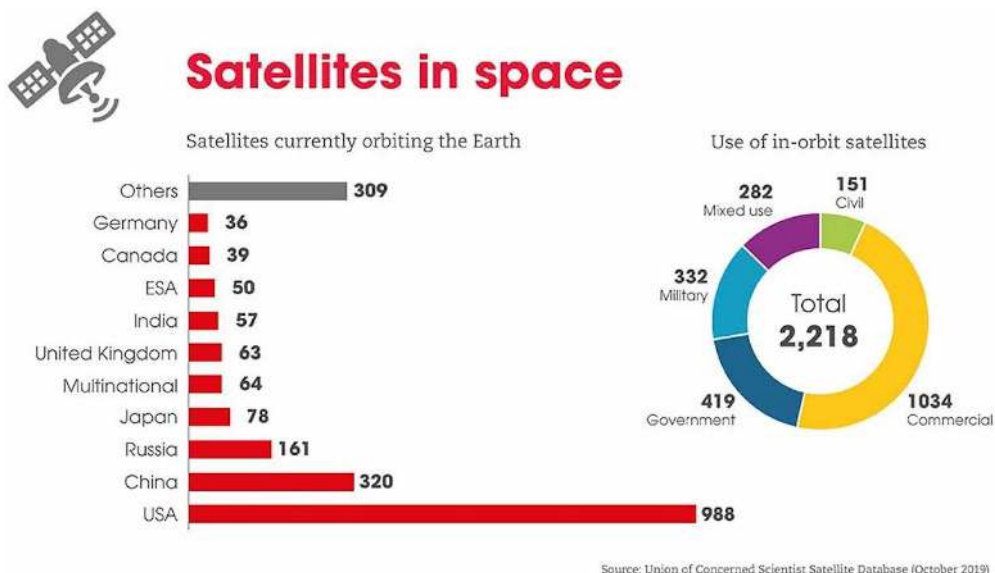


Figure 1-3-2-5 – Nombre de satellites dans l'espace en 2019

Avec le New Space, une triple rupture permet l'émergence de nouveaux services.

⁶³ www.scidev.net/global/features/satellites-for-development-facts-and-figures/

⁶⁴ Friedling - Op. cit.

Une rupture industrielle dans les lancements

- Le développement de lanceurs réutilisables, permettant de réduire le coût et d'accélérer la cadence.
- L'utilisation de composants d'électronique grand public dans les technologies spatiales.
- Ce double phénomène a réduit le coût d'accès à l'espace d'un facteur 10^{65} .

Une rupture dans la conception des satellites

Depuis quelques années on assiste à la forte croissance de petits satellites⁶⁶.



Figure 1-3-2-8 – Comparaison des tailles de satellites

Plus petits, flexibles et moins chers que leurs prédécesseurs, les satellites de petite taille offrent de nouveaux services compétitifs, à l'échelle planétaire grâce à des constellations toujours plus importantes. Apparus il y a une dizaine d'années, ils connaissent un développement fulgurant dans des domaines variés : *imagerie optique, infrarouge, hyper-spectrale, radar, écoute électromagnétique, télécommunications, etc.* Le marché explose et devrait être multiplié par 3 d'ici 10 ans⁶⁷.

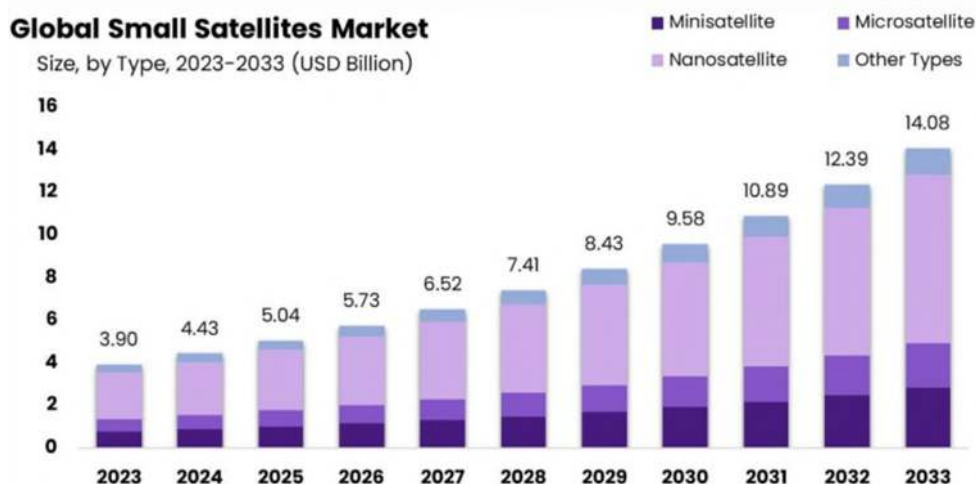


Figure 1-3-2-9 – Marché global des petits satellites

⁶⁵ The Cost of Space Flight Before and After SpaceX, janv. 2022

⁶⁶ <https://www.intechopen.com/chapters/69962>

⁶⁷ <https://market.us/report/small-satellites-market/>

Ces satellites de petite taille, en particulier les nanosatellites, sont bien moins encombrants et beaucoup plus flexibles dans leur utilisation. Et donc beaucoup plus abordables en termes de coûts et mutualisables entre plusieurs acteurs. C'est ce que l'on appelle le « ridesharing spatial »⁶⁸.

Une rupture dans le mode d'acheminement des satellites, le « ridesharing spatial »

Le «**ridesharing spatial**» fait référence à la possibilité pour des opérateurs qui n'ont pas les moyens ou le besoin de lancer un satellite avec un lanceur dédié, de mutualiser le lancement de petits satellites. Cela baisse davantage le coût d'accès à l'espace. Les satellites partagés peuvent être déployés en orbite de différentes manières : en utilisant des déploiements séquentiels ou des adaptateurs spécifiques qui peuvent les libérer dans différentes directions ou à différents moments.

La conséquence de ces ruptures est la multiplication par 11 du nombre de satellites dans l'espace entre aujourd'hui et 2030 : de 9000 à fin 2023 à 100.000 prévus à horizon 2030⁶⁹.

Une rupture sur la chaîne de valeur satellitaire avec le couple microsatellite / services numériques

Historiquement, l'industrie spatiale s'est concentrée sur la fourniture de produits (satellites, instruments, lanceurs, stations sol), afin de permettre les opérations spatiales. On peut utiliser le terme « **product-oriented** ». Le New Space se concentre davantage sur la fourniture de services. On peut parler d'industrie « **results-oriented** »⁷⁰.

Le client (défense ou secteur civil) cherche des réponses métiers à des questions et besoins précis, les moyens lui importent peu. Les entreprises qui répondent à sa demande et à d'autres besoins non concurrents grâce à des moyens mutualisés.

Alors que dans le «Old Space», la valeur était surtout dans le hardware, avec le New Space, les applications et services aval concentrent 85% de la valeur sur un total estimé à près de 400 Mds€⁷¹.

⁶⁸ <https://spacenews.com/rideshare-industry-adapting-to-a-changing-smallsat-market/>

⁶⁹ <https://www.arcep.fr/actualites/actualites-et-communiqués/détail/n/satellites-et-environnement-evenement-ademe-arcep-cnes-201123.html>

⁷⁰ Space-as-a-Service: A Framework and Taxonomy of -as-a-Service Concepts for Space, Andreas M. Heina, Citlali Bruce Rosetea, sept. 2022

⁷¹ Euroconsult, Space Economy Report, 2023

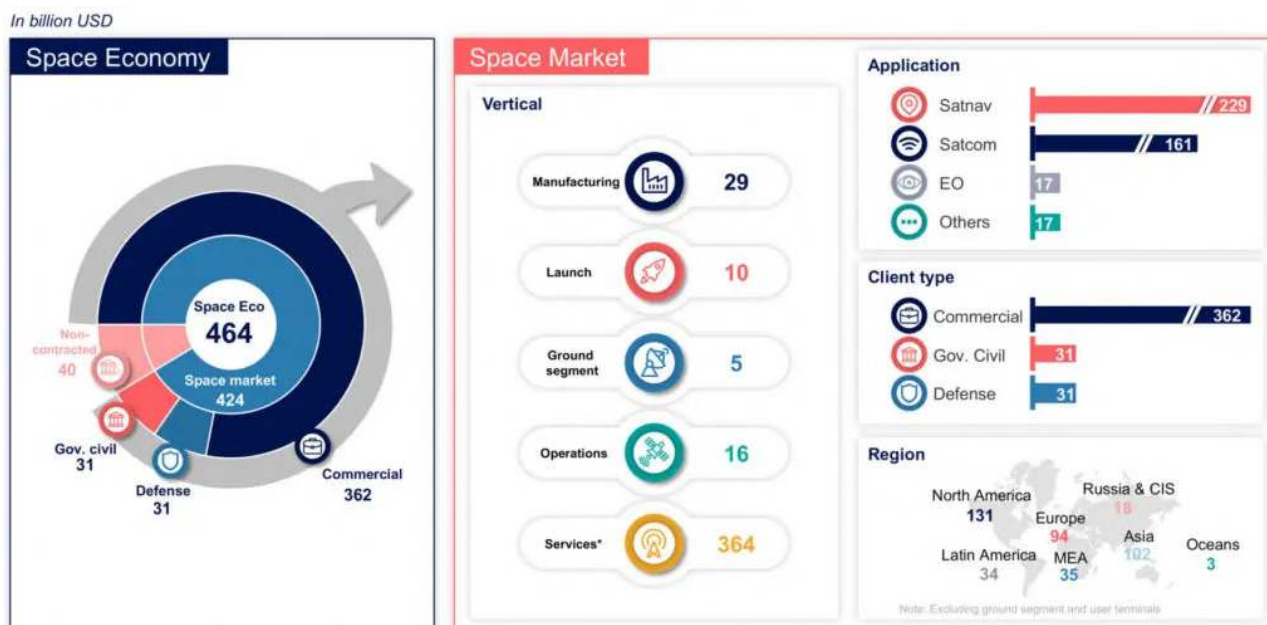


Figure 1-3-2-11 – Économie et marché du spatial par segments et applications

L'agilité des microsatellites permet une spécialisation et une adaptation rapide aux besoins spécifiques d'acteurs très variés de la demande. L'accès facilité et le coût réduit des données spatiales ont élargi le champ des possibles en termes d'applications.

• QUELQUES IMPLICATIONS POUR LE GEONUMERIQUE

Les constellations de microsatellites révolutionnent l'observation de la terre

Comme l'explique la note du CESA sur le sujet, la « *capacité à suivre un phénomène le plus régulièrement possible dépend de la fréquence de revisite d'un site, c'est-à-dire le temps nécessaire pour qu'un capteur survole une deuxième fois la même zone* »⁷². Des constellations comme celles de BlackSky offrent un suivi en quasi-temps-réel (jusqu'à 15 revisites par jour d'un même lieu d'intérêt) et Planet Labs qui permet une revisite toutes les 30 minutes avec sa constellation Dove, ont révolutionné l'observation de la Terre. Cela, en exploitant des constellations de satellites qui offrent un équilibre entre la fréquence de revisite et la résolution. Avec à la clé, une multitude de cas d'usage civils et militaires, liés à la détection du changement.

En conséquence, il est prévu **un doublement du marché européen de l'observation de la terre** d'ici à 2033⁷³. Le marché va être tiré par un large éventail de services à valeur ajoutée notamment autour des Services Climatiques, du Développement Urbain, de la gestion du Patrimoine Culturel, de l'Agriculture, de l'Energie et des Matières Premières ou encore de l'Assurance.

⁷² Note du CESA, 09/2023

⁷³ EUSPA EO and GNSS Market Report 2024

Une large partie des nouvelles applications adresseront des problématiques liées à la transition climatique et écologique. Les satellites jouent un rôle essentiel dans la surveillance du climat mondial, 30 des 55 Variables Climatiques Essentielles (ECVs) ne pouvant être observées que depuis l'espace. Le suivi de ces données est fondamental pour anticiper certains risques (impact sur les réseaux d'utilité publique, sécurité des tiers, risques assurantiels, etc ...) ⁷⁴.

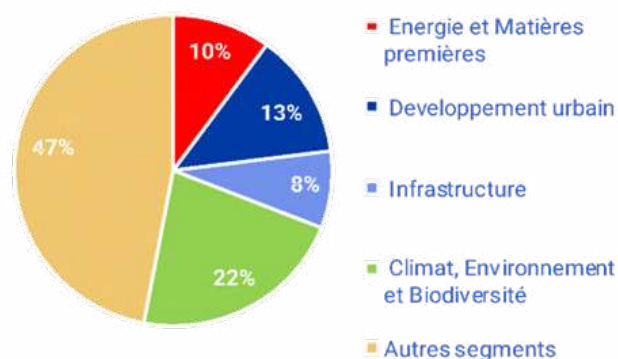


Figure 1-3-2-12 – segmentation du marché d'observation de la Terre

Fusion de données de drones et de satellites

Comme illustré ci-dessous, tirée d'un exemple agricole, l'objectif est d'enrichir la résolution spatiale des observations satellitaires en exploitant l'information spatiale à résolution fine fournie par le drone, complétée par les observations humaines (et de capteurs IoT éventuellement) faites sur le terrain ⁷⁵.



Figure 1-3-2-14 – Comparaison des résolutions en fonction de la source de l'image

⁷⁴ M.Meftah, L'espace et le New Space au service du climat, 2023

⁷⁵ Les synergies de la télédétection optique par drone et satellite : changement d'échelle et application à la conservation des prairies humides (Emilien Alvarez-Vanhard, Thèse de doctorat, mars 2022)

On observe deux grandes tendances concernant le rapprochement de données satellitaires et celles issues de drones :

1. La décentralisation de la collecte des données vers les utilisateurs eux-mêmes,
2. L'intégration et l'analyse combinée de multiples sources de données.

Cette abondance de données de télédétection représente une opportunité pour des applications civiles ou militaires, mais également un défi en raison de la masse d'informations à traiter. On parle de Big Data dans l'observation terrestre. La combinaison de développements informatiques, d'IA et d'expertises métiers facilitent le traitement de cette diversité de données.

Le développement du « direct-to-device »

Le « direct to device » correspond à la possibilité d'un objet connecté sur terre à communiquer son information à un satellite de communication. Un gisement important de nouveaux services réside tout d'un coup dans le fait de pouvoir relier par satellite des milliards d'objets connectés. Ce marché du « direct to device » devrait commencer à se développer à horizon 2025 et atteindre son plein potentiel à horizon 2030⁷⁶.

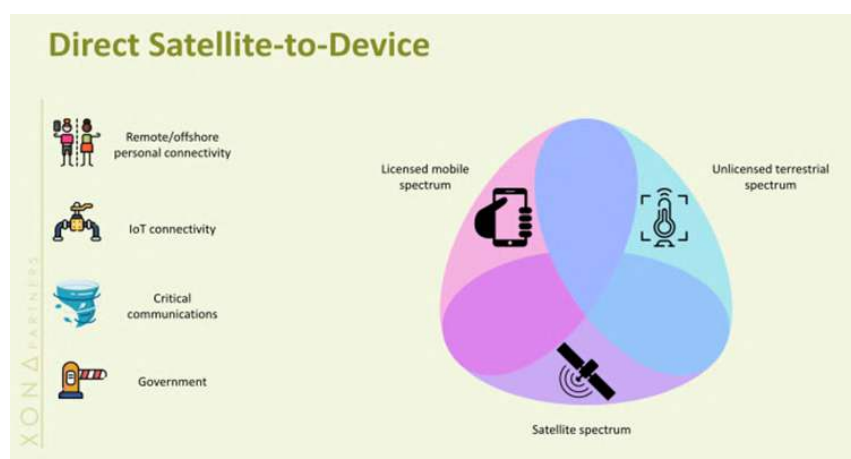


Figure 1-3-2-17 – Représentation d'un schéma direct sat-to-device

3. Technologies et services duaux : création de nouveaux marchés

• DRONES ET NANOSATELLITES CIVILS REpondent AUX BESOINS MILITAIRES

L'usage des drones militaires se développe (l'Armée de Terre française possède plus de 2000 drones et va former 4 000 opérateurs d'ici à 2025⁷⁷), mais ils sont coûteux et requièrent un pilote bien formé. À l'inverse, les drones civils sont peu coûteux et très faciles à produire. Mais comme le montre le conflit en Ukraine, les drones civils servent également de nombreux usages militaires. Dans le contexte, le marché croît de 10% par an⁷⁸ et l'Association du Drone de l'Industrie Française (ADIF) a été créée en 2021⁷⁹. Elle

⁷⁶ <https://spacenews.com/the-promise-of-direct-to-device/>

⁷⁷ Avec sa nouvelle école des drones, l'armée de terre veut augmenter le nombre d'opérateurs au sein des régiments, Le Monde, 2023

⁷⁸ www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/le-marche-du-drone-civil-est-il-en-plein-boom-123948

⁷⁹ adif.aero

compte une trentaine de membres civils et militaires convaincus de la dualité des 2 marchés. Sur des usages civils on trouve des acteurs comme DELAIR, PARROT ou AERIX SYSTEMS, sur les questions de défense ICARUS et ELISTAIR, sur la surveillance des grandes infrastructures AZUR DRONES ou BOREAL et sur l'assistance du métier de géomètre AEROMAPPER et DELAIR.

On compterait plus de 15 000⁸⁰ drones professionnels en service en France. À titre de comparaison, il y aurait plus de 200 000 drones de loisir en France, plus de 850 000⁸¹ drones enregistrés auprès de la *Federal Aviation Administration* aux États-Unis et plus de 300 000 drones à usage commercial aux EUA⁸², un marché bien plus développé qu'en France et en Europe. En France, l'usage professionnel des drones est centré sur la photogrammétrie et la surveillance de grandes infrastructures. AEROMAPPER et DELAIR développent des usages de cartographie pour un chantier, ou un réseau de télécommunication⁸³. DELAIR a livré plus de 2 500 drones qui ont effectué plus de 40 000 vols 70 pays⁸⁴.



Figure 1-3-3-1 – Illustration d'un drone à usage commercial, UX11AG de Delair

Les usages commerciaux créent de nouveaux métiers⁸⁵ qui ne sont pas tous dépendants de la profession initiale du service rendu par le drone. Un pilote de drone géomètre n'est pas nécessairement un géomètre. Cette problématique des métiers est également traitée par les Armées⁸⁶, puisqu'un pilote de drone n'est pas nécessairement un combattant, et pourrait même ne pas être un militaire : l'opérateur et la finalité ne sont plus joints.

Le drone civil constitue une source importante d'inspiration et d'innovations par le bas. Les conflits récents dans le Haut-Karabakh ou en Ukraine⁸⁷ ont mis en évidence des usages non planifiés de

⁸⁰ www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/cas_usages_professionnels.pdf

⁸¹ dronesurveyservices.com/drone-statistics/

⁸² interactive.aviationtoday.com/avionicsmagazine/july-august-2022/regulations-for-commercial-drone-operations-advance-for-2022-and-beyond

⁸³ www.la-croix.com/Economie/Economie-et-entreprises/Le-photogrametre-fois-geometre-pilote-drone-2020-03-15-1201084175

⁸⁴ Dossier de presse, Delair, 2018

⁸⁵ www.la-croix.com/Economie/Economie-et-entreprises/Le-photogrametre-fois-geometre-pilote-drone-2020-03-15-1201084175

⁸⁶ [www.defense.gouv.fr/dems/bibliotheque-lecole-militaire/productions/biblioveilles/drones-armes#:~:text=Les%20syst%C3%A8mes%20de%20drones%20militaires,endurance%20\(MALE\)%2C%20autonomes%2036](http://www.defense.gouv.fr/dems/bibliotheque-lecole-militaire/productions/biblioveilles/drones-armes#:~:text=Les%20syst%C3%A8mes%20de%20drones%20militaires,endurance%20(MALE)%2C%20autonomes%2036)

⁸⁷ www.geo.fr/geopolitique/etats-unis-vivent-deja-sous-la-menace-des-essaims-de-drones-langley-base-us-air-force-f-22-219324

drones civils : des drones avec caméra deviennent des sources de renseignement, d'autres servent de kamikazes⁸⁸, d'autres devenant des essaims de distraction⁸⁹, posant de véritables défis aux systèmes de défense en les perturbant. Grâce à des drones, le Hamas a pu leurrer efficacement le mur de fer d'Israël.

- **LE GEOINT, LA SUPERIORITE INFORMATIONNELLE S'ETEND DESORMAIS AU CIVIL**

La profusion de données profite au développement du GeoINT, usage correspondant à la fusion de données de renseignement et à leur présentation sous la forme de cartographie stratégique, circonscrite et dynamique dans le temps. Cet usage initialement militaire vise à constituer une supériorité informationnelle pour celui qui le maîtrise. Cet usage bénéficie grandement du développement actuel du Machine Learning, permettant de développer ses capacités en réduisant ses coûts de mise en œuvre.

Compte tenu de cette évolution, le GEOINT représente de plus en plus un potentiel pour le civil. Comme cela a été exposé plus haut, on commence à noter l'émergence de la GeoAI ou de la Géointelligence artificielle. Ce terme fait référence à une expertise précise dans la fusion, l'agrégat et l'optimisation des données. Elle associe détection, Machine Learning, comparaisons et Deep Learning pour optimiser les tâches de détection d'objets, d'estimation de hauteur, de tracking, ... et même de prédiction. La GeoAI offre aux données la possibilité de voir leur traitement automatisé, répété, amélioré automatiquement. De plus, la GeoAI rend possible le traitement de données de moins bonne qualité, dont elle élimine aisément le bruit et les faux positifs et utilise sa capacité de détection des changements afin de prévoir et de modifier le modèle.⁹⁰

Le GeoAI est alors l'exemple d'un modèle qui reprend la logique multi-source du GeoINT, amplifie son intérêt technique et peut être utile aussi bien aux technologiques civiles que militaires. ESRI a déjà intégré ces méthodes à ses processus de traitement de données géospatiales et les mentionne dans ses secteurs d'application défense, assurance, cartographie, écologie ou gouvernements⁹¹.

⁸⁸ [www.defense.gouv.fr/dems/bibliotheque-lecole-militaire/productions/biblioveilles/drones-armes#:~:text=Les%20systèmes%20de%20drones%20militaires,endurance%20\(MALE\)%2C%20autonomes%2036](http://www.defense.gouv.fr/dems/bibliotheque-lecole-militaire/productions/biblioveilles/drones-armes#:~:text=Les%20systèmes%20de%20drones%20militaires,endurance%20(MALE)%2C%20autonomes%2036)

⁸⁹ *idem*

⁹⁰ GeoAI for Large-Scale Image Analysis and Machine Vision: Recent Progress of Artificial Intelligence in Geography, MDPI, 2022

⁹¹ www.esri.com/fr-fr/capabilities/geoai/overview



Figure 1-3-3-2 – Représentation géospatiale d'un terrain de conflit armé

Ces synergies se retrouvent également, à l'instar du cas des drones, dans un usage bottom-up des innovations de l'industrie des nanosatellites commerciaux par le secteur de la défense. Les conflits récents ont mis en évidence une limite aux constellations de satellites de renseignement traditionnels : le taux de revisite⁹². Certaines entreprises telle BLACKSKY parviennent à revisiter un même lieu 15 fois en une journée. La multiplication des constellations de prises de vue haute à très haute définition permet aux armées d'acheter des images privées et d'obtenir davantage de renseignements⁹³. En Ukraine, PALANTIR a vendu son service d'analyse de la donnée par IA à des fins de renseignement militaire, en utilisant sa plateforme également commercialisée au secteur privé commercial⁹⁴. Si une telle dualité dans le traitement de la donnée de renseignement n'est pas systématique, elle se développe. ARTEMISIA en France est un projet organisé par l'État, que 2 acteurs tech sont chargés de développer.

Le conflit Ukrainien⁹⁵ a aussi été la démonstration de la puissance que constitue l'accès à une constellation de connexion haut débit, Starlink permettant aux combattants d'accéder à l'information -et donc aux images- en tout lieu et à tout moment.

4. Des acteurs, majoritairement américains, s'imposent sur le marché mondial

Sur chaque composante de la chaîne de valeur géonumérique, les entreprises américaines se démarquent en développement, part de marché et chiffre d'affaires.

On retrouve premièrement le groupe Alphabet. Sur le secteur des infrastructures, Google soutient Leaf Space spécialisée dans le *Ground Station as-a-service* consistant à louer l'utilisation ponctuelle et répétée d'antennes. La connexion entre les antennes sol, le satellite et le *mission control* est assurée par Google Cloud, par l'intermédiaire du Network Cloud Engine (NCE)⁹⁶. Au-delà, Google Cloud est à la disposition des opérateurs pour le stockage sécurisé des bases de données qui bénéficient notamment aux outils GOOGLE EARTH et GOOGLE MAPS⁹⁷. Justement, Google s'illustre également dans le domaine des

⁹² Le taux de revisite, paramètre déterminant de l'imagerie satellitaire, 09.2023

⁹³ www.courrierinternational.com/article/renseignements-des-satellites-privés-pour-suivre-la-guerre-en-ukraine

⁹⁴ korii.slate.fr/tech/geants-transforment-guerre-ukraine-russie-laboratoire-ia-big-data-collecte-analyse-donnees-gouvernement-defense-palantir-google-mil-tech-valley

⁹⁵ time.com/6691662/ai-ukraine-war-palantir/

⁹⁶ <https://cloud.google.com/blog/topics/startups/leaf-space-enabling-next-gen-satellites-on-google-cloud?hl=en>

⁹⁷ <https://www.lesechos.fr/tech-medias/hightech/comment-google-trace-sa-route-dans-la-cartographie-1871839>

applications, avec Google Maps et ses services (StreetView, Review, ...) qui représente plus de 70% des recherches effectuées sur des plateformes de cartographie, contre 10% pour Apple Plan, 10% pour Waze⁹⁸.

Sur le segment des stations au sol, le groupe Amazon occupe une place importante avec son réseau AWS Ground Station inauguré en 2018, celui-ci répondant à la fois au besoin infrastructurel et à la contrainte de gestion de données reçues. Par ailleurs, Amazon fera, à partir de fin 2024 partie des groupes disposant d'une constellation fonctionnelle de satellites d'accès à internet haut débit, Kuiper⁹⁹. Elle a mis en place une division aérospatiale et de solutions satellites. Sur le même secteur, Microsoft réalise également des missions de mise à disposition de stations terrestres, de gestion des données et de pré-traitement par l'intermédiaire D'Azure Orbital¹⁰⁰.

Leader dans le développement de plateformes de gestion et d'interprétation de données intégrées, Palantir est également basée aux États-Unis, d'où elle commercialise ses produits dans les secteurs civils et défense à l'international. C'est aussi le cas de la société l'américaine SCALEAI qui se concentre sur l'implémentation de l'IA dans les outils de gestion de données.

Dans les acteurs majeurs de l'information géospatiale aux États-Unis et par extension à l'international, on retrouve également Planet Labs, leader de l'observation terrestre, Digital Globe, son concurrent, Trimble qui est spécialisée dans la navigation, L3Harris Technologies qui s'adresse au secteur de la défense ou encore SATELLITE MAPS et SpecTIR spécialisés dans la cartographie et le traitement d'images hyper-spectrales.

Avec une telle prépondérance des acteurs américains dans la mise en orbite, la gestion des constellations, la réception et le traitement des données, la mise à disposition de ressources terrestres pour garantir la coordination des constellations commerciales, l'analyse et le stockage optimisés d'informations, leur mise à disposition sous forme de nombreux usages, **une question de souveraineté** se pose. D'une manière ou d'une autre, pratiquement tous les usagers civils ayant besoin de données géospatiales se retrouvent majoritairement, sur un segment ou l'autre de la chaîne de valeur, à traiter avec des acteurs américains.

D. Les autres moteurs de développement dans les prochaines années

1. De nouveaux besoins liés au changement climatique

Le changement climatique est aujourd'hui source de nouveaux besoins pour le secteur spatial. De l'observation des phénomènes météorologiques pour mieux les anticiper et ainsi limiter les coûts de dégâts potentiels pour le secteur de l'assurance à l'analyse et l'observation de l'atmosphère et des ressources naturelles pour piloter la transition énergétique, là aussi, la combinaison des données et des méthodes d'analyse profite à un secteur émergent.

⁹⁸ <https://www.thestreet.com/technology/big-tech-working-to-change-mapping-industry>

⁹⁹ The GeoINT Playbook, SpaceCapital, 2022

¹⁰⁰ <https://azure.microsoft.com/fr-fr/products/orbital>

- **Mieux comprendre et mieux anticiper les effets du changement climatique**

Le géospatial contribue de manière sensible aux évaluations menées par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Les satellites jouent un rôle déterminant dans la surveillance et l'analyse des nombreux indicateurs climatiques, comme par exemple, *la température de l'air, de la surface de la mer, les niveaux de glace flottantes, les concentrations de gaz à effet de serre et la couverture végétale*.

L'intégration de l'intelligence artificielle (IA) avec la physique climatique et les technologies spatiales permettent de fournir des modèles prédictifs robustes dont nous avons considérablement besoin. L'observation climatique est essentielle pour la compréhension et la prévision des changements. Comme expliqué précédemment, sur les 54 variables climatiques essentielles (éclairage solaire, albédo, gaz à effet de serre, température, etc..), plus de la moitié nécessitent des mesures simultanées à différents points du globe et à différentes périodes, donc un référentiel géospatial¹⁰¹.

La capacité de ces technologies à collecter des données sur une échelle globale permet une compréhension précise et actualisée des modèles climatiques. De plus, l'avancement dans les technologies de télédétection et l'augmentation de la capacité satellitaire, grâce aux initiatives du « New Space » (les startups innovantes du spatial) et du « Old Space » (les agences spatiales traditionnelles), enrichit les données disponibles.

La miniaturisation des satellites et leur déploiement en orbite basse (500 km) permet de réduire les coûts et rend possible la mise en place de méga constellations au service du climat. La société PLANET LABS dispose d'environ 200 nanosatellites fournissant des images quotidiennes de n'importe quel point de la planète (90). Le passage des grands satellites géostationnaires aux petits satellites en orbite basse ou moyenne (CubeSats, nanosatellites, microsatellites) permet une couverture globale améliorée, en particulier des zones à haute altitude, et optimise la fréquence de ré observation, ce qui est clé pour le suivi des variables climatiques.

- **Piloter la transition énergétique**

Le géospatial est également un outil puissant de gestion de la transition climatique et énergétique. Il aide à identifier les zones les plus affectées par le changement et celles qui ont le plus grand potentiel pour le développement de ressources énergétiques renouvelables.

Par exemple, l'analyse des données géospatiales peut révéler des emplacements optimaux pour les parcs éoliens ou solaires et peut aider à optimiser les réseaux énergétiques pour une distribution plus efficace.

¹⁰¹ L'espace et le New Space au service du climat, M.Meftah, 2023

La capacité de combiner ces données avec des modèles prédictifs grâce à l'IA offre une opportunité sans précédent pour anticiper les impacts du changement climatique et pour concevoir des stratégies adaptatives et d'atténuation.

- **Piloter la transition écologique**

Le géospatial offre quantité d'informations utiles au pilotage de la transition écologique. Les systèmes géodésiques fournissent un repère de référence, leur sont apposés des imageries ou données topographique, y sont superposées les cartes des ressources naturelles et cadastrales. La combinaison de ces données offre une première opportunité de pilotage et prévention des risques : pour l'agriculture, la biodiversité, les habitats, la préservation des infrastructures, etc¹⁰².

Des outils universels de pilotage sont proposés par les institutions internationales, tel le SEEA EA (System of Environmental Economic Accounting, Ecosystem Accounting) mise en place par les Nations Unies, qui donne un cadre d'analyse spatiale comparée des ressources disponibles et utilisées et les formalise sous forme d'une comptabilité visuelle qui inclut la traduction des données en correspondances socio-économiques¹⁰³.

Piloter la transition écologique, c'est en premier lieu la compétence des pouvoirs publics. Ces outils leur sont donc adressés afin de prévoir l'impact d'une politique publique et d'adapter la réponse réglementaire ou légale à une réalité environnementale. Les outils allant de la taxe pigouvienne aux mesures sectorielles. L'observation spatiale permet par exemple de piloter les politiques de préservation des forêts¹⁰⁴.

Synthèse des échanges réalisés lors d'un workshop sur le changement climatique et des entretiens

- **Les enseignements clés**

Sur le changement climatique, **une plus grande coordination est nécessaire entre acteurs géonumériques et acteurs métiers des services territoriaux**. La coordination entre les collectivités territoriales sur ce sujet est insuffisante aujourd'hui.

L'enjeu n'est plus l'ouverture de données mais **dans la conception d'algorithmes intelligents, qualifiés et stables**. L'enjeu n'est plus la fourniture de la donnée, elle est de plus en plus abondante, que ce soit en donnée ouverte ou non et fournie aussi bien par le public et le privé. L'enjeu devient la pertinence des modèles pour piloter le changement climatique et donc la capacité à entraîner des modèles avec toujours plus d'intelligence. La création d'un data hub en Agriculture est un exemple d'initiative à généraliser.

Une plus grande normalisation et une ouverture à l'Europe est nécessaire. Un travail de normalisation à une échelle française et même européenne est nécessaire pour tirer une meilleure valeur de l'information

¹⁰² Guillen, Orozco, Santaella, *Measuring CC : The Economic and Financial Dimensions*, 2021

¹⁰³ <https://seea.un.org/ecosystem-accounting>

¹⁰⁴ Guillen, Orozco, Santaella, *Measuring CC : The Economic and Financial Dimensions*, 2021

géographique. En dehors du CNES, les agences publiques françaises ne sont pas assez tournées vers l'Europe.

Il y a un **manque de visibilité de l'offre géonumérique vis-à-vis des acteurs en charge de la transition environnementale**. Les sociétés innovantes ne sont pas assez visibles, notamment vis-à-vis des acteurs locaux. Les acteurs en charge de la transition climatique sont à la recherche des services clés en main, utilisables immédiatement. Les collectivités ne cherchent pas à développer des compétences géonumérique sur le climat, elles cherchent plutôt des services clé en main.

- **Les besoins à adresser**

- o Créer un document de référence sur les besoins en information environnementale des acteurs territoriaux. Ce document doit correspondre à un travail de réflexion mutualisé des acteurs territoriaux pour motiver des sociétés à proposer des solutions.
- o Cela passe notamment par un rapprochement des compétences métiers, environnementale et numérique des acteurs territoriaux et un dynamisme accru dans la mise à disposition des géo catalogues territoriaux.
- o Le financement de projets innovants dans le domaine environnemental doit être fléché vers des projets industriels et non des preuves de concepts.

- **Exemple du secteur de l'assurance**

Le pilotage de la transition écologique et la collecte de données environnementales bénéficie à des secteurs financièrement très impactés par le climat, l'assurance en premier lieu.

Les plateformes précitées de combinaison des données et d'analyse préventive de celles-ci commercialisent leurs produits aux assureurs. Un exemple concret de grand risque avancé par le CNES est celui de la crue, de plus en plus régulier en France. 900Mds€ assurés sont en zone inondable en France, une crue centennale de la Seine coûterait dans le meilleur des cas 11Mds€. La Caisse Centrale de Réassurance, chargée d'assurer les assureurs, prévient ce risque en affinant ses modèles d'anticipation des crues avec les données du SERTIT-Cube/CNES¹⁰⁵. Les risques météorologiques sont analysés en France par Predict, combinaison de données de MétéoFrance, BRL et Airbus D&S. Dans le cadre de la prévention de la crue de Seine par exemple, la combinaison de données géospatiales dont les plus précises sont issues de survols équipés de LiDAR, permettent la modélisation des crues sur une topographie précise et leur amortissement anticipé à l'aide de réaménagements : arbres, contournements, lacs artificiels¹⁰⁶.

Preuve de l'importance du géonumérique pour l'Assurance, les rencontres 2024 de l'AMRAE¹⁰⁷ qui regroupe toute l'industrie de l'Assurance, ont portée sur l'importance des services satellitaires « *face à la recrudescence des crises et catastrophes* » qui emmènent les acteurs de ce secteur, a progressivement

¹⁰⁵ CNES, développer les usages du spatial

¹⁰⁶ <https://hal.inrae.fr/hal-02583763/document>

¹⁰⁷ L'Amrae (Association pour le Management des Risques et des Assurances de l'Entreprise) est l'association professionnelle de référence des métiers du risque et des assurances en entreprise. Elle rassemble 1850 membres appartenant à plus de 850 organisations privées ou publiques.

« remplacer les modèles statistiques "rétroviseurs" par de données plus prédictives »¹⁰⁸, dont celles des services GNSS et de l'imagerie satellitaire.

2. De nouveaux besoins liés aux enjeux de défense

- **Importance renforcée du Géo-INT dans le contexte de la montée des conflictualités**

Avec la montée en force et de la diversification des zones conflictualité d'une part et d'élargissement des champs de la guerre de l'autre (à la terre, à la mer et à l'air, se rajoutent l'espace, les champs informationnels, le champ électromagnétique et le cyberspace), les champs du possible à anticiper, à surveiller, à traiter, se démultiplie.

Cette complexité s'accompagne d'une avalanche et d'un flux de données et d'informations en continu, que le nombre d'analystes au sein des forces, est incapable de traiter à échelle humaine, sans une puissante assistance de moyens d'automatisation multiples.

Dans ce contexte, au-delà de la production cartographique standard, longue à élaborer et en mode « push » (mise à disposition de cartes à l'Etat-Major), le développement de la géographie militaire intègre désormais une multitude de sources d'informations provenant de multiples capteurs, nécessitant une analyse et une fusion de données par des experts assistés par IA, avec une agilité et une réactivité en mode « pull » (réponse en quasi-temps réel à des questions du commandement)¹⁰⁹. C'est le Geo-Int, explicité précédemment.

Dans le contexte militaire, le Géo-INT se définit à la fois comme une pratique du renseignement et comme une discipline intégrée aux stratégies des armées. Ainsi, les États-Unis disposent :

- des imposantes capacités de la *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) qui peut être considérée comme une agrégation, à l'échelle américaine, des composantes défense de l'IGN, du CNES Défense, d'entités spécialisées comme le Centre de Renseignement Géospatial (CRGI) de la Direction du Renseignement Militaire (DRM), auxquelles seraient rajoutées le Bureau Géographie, Hydrographie, Océanographie et Météorologie (BGHOM), le 28^{ème} groupe géographique, et d'importantes composantes civiles, notamment technologiques.
- mais aussi de bataillons spécialisés comme le « *Geospatial Intelligence Battalion* » ou « *GEOINT Battalion* »¹¹⁰ « *75th Ranger Regiment Military Intelligence Battalion* »¹¹¹.

¹⁰⁸ <https://www.connectbycnes.fr/rencontres-amrae-2024>

¹⁰⁹ Cf articles du Bulletin de liaison des membres de la Société de Géographie - La géographie militaire, un savoir stratégique pour les armées françaises depuis le XIXe siècle - Mars 2023 Bulletin hors-série

¹¹⁰ https://www.wikiwand.com/en/Geospatial_Intelligence_Battalion

¹¹¹ <https://www.armyupress.army.mil/Journals/Military-Review/English-Edition-Archives/July-August-2018/Lushenko/>

La France ne dispose pas de l'équivalent de cette organisation et de cette force de frappe américaine. Et la question se pose de manière récurrente, d'aller vers cette évolution.

En attendant, depuis plusieurs années, c'est la DRM qui joue le rôle de chef de file de la filière Geo-Int des forces françaises. Elle a un rôle central au sein de la FIR (Fonction Interarmées du Renseignement)¹¹².

Pour toutes les armées modernes, l'intégration du Géo-INT dans l'organisation et dans les organigrammes des armées est un des aspects de son importance croissante, mais du point de vue économique, celle-ci se manifeste davantage encore dans le développement soutenu de marchés liés à l'intégration de capacités issues du New Space et de l'IA.

Par exemple, la startup française Loft Orbital développe une activité spécifique aux Etats-Unis, destinée au Pentagone.¹¹³ SpaceX ou Orbital Insight répondent à des appels d'offre de l'État américain¹¹⁴, ScaleAI qui accompagne l'Ukraine dans la détection et l'analyse des destructions sur les différents théâtres¹¹⁵, ou encore, intègre l'IA génératif dans une expérimentation au service forces américaines.¹¹⁶ Dernièrement, la NGA annonce renforcer les nombreux contrats existant avec le secteur privé afin d'« *acquérir la détection d'objets GeoINT commercial et de tirer parti de l'analyse et de l'automatisation de l'industrie dans les domaines d'intérêt pour la sécurité nationale* »¹¹⁷.

En France, le Fonds de l'Agence de l'Innovation de Défense (AID) soutient par exemple, la start-up Unseenlab, spécialisée dans la surveillance maritime. Le ministère des armées a également récemment créé également l'AMIAD, l'Agence Interministérielle pour l'IA de Défense, qui devrait intégrer la GeoAI, l'un des moteurs du GeoINT¹¹⁸.

Conséquence de ces évolutions : les différentes illustrations ci-dessus montrent que de nouveaux usages s'intensifient autour des problématiques de renseignement induisent le développement de nouveaux marchés pour les entreprises de l'offre.

Pour preuve, dans le cadre de la Loi Programmation Militaire 2024-3030, les services de renseignement militaires (DGSE, DRSD, DRM), vont recevoir un budget de 5,4 milliards d'euros. Ce qui représente un doublement du budget de la DRM, par exemple. Une partie de cette augmentation ira au GeoINT¹¹⁹.

Cette tendance va s'intensifier dans les prochaines années et profitera majoritairement aux entreprises porteuses des offres les plus innovantes.

¹¹² <https://www.defense.gouv.fr/drm/direction-du-renseignement-militaire/nos-partenaires>

¹¹³ <https://spacenews.com/loft-orbital-creates-new-subsiadiary-for-government-and-defense/>

¹¹⁴ <https://orbitalinsight.com/news-and-events/press-releases/orbital-insight-wins-department-of-defence-contract-to-develop-technology-to-identify-intentional-gnss-disruptions>

¹¹⁵ <https://www.fastcompany.com/90872848/scale-ai-automated-damage-identification-service-ukraine>

¹¹⁶ www.c4isrnet.com/artificial-intelligence/2024/02/20/scale-ai-to-evaluate-large-language-models-for-pentagon/

¹¹⁷ <https://breakingdefense.com/2023/12/nga-eyes-imminent-significant-contracts-for-commercial-geoint-object-detection-analytics/>

¹¹⁸ www.gouvernement.fr/actualite/defense-la-strategie-ministerielle-sur-lintelligence-artificielle

¹¹⁹ Défense Expert, n°16

Synthèse des échanges réalisés lors d'un workshop sur le thème de la Défense et la Sécurité et des entretiens

- **Les enseignements clés**

La transmission des données de ou vers le théâtre d'opération est un enjeu très important, voir plus important que celui des infrastructures de calcul.

Les plateformes de production géonumérique militaire ne sont pas adaptées au temps court, à des besoins de réactivité. C'est un besoin qui concerne tous les secteurs économiques, pas seulement l'armée et qui va croître.

La Défense cherche en partie à déspecialiser ces chaînes de traitement, notamment pour bénéficier plus rapidement des innovations numériques produites par le civil. Le développement des algorithmes de géo-IA dans le civil trouve beaucoup d'applications dans le monde militaire. La Défense a besoin de qualifier précisément une très grande quantité de données et seuls les algorithmes sont capables d'effectuer ce travail.

La fusion de données à des fins de renseignement militaire est le sujet clé dans le domaine de l'information géographique militaire. Cette capacité doit être amplifiée. Elle doit être le plus automatisée pour intégrer facilement toutes les informations nouvelles issues du terrain.

L'apport d'innovations géonumériques civiles sera clé pour l'échelon militaire stratégique. A cette échelle, un rapprochement entre militaires et écosystème civil innovant est clé, mais aujourd'hui, il n'est pas assez efficace.

- **Les besoins à adresser**

- o Rapprocher l'écosystème géonumérique innovant civil du secteur militaire.
- o Augmenter les capacités de fusion de sources de données différentes.

- **Robotisation du champ de bataille et systèmes de navigation indépendants des GNSS**

La robotisation aérienne, terrestre ou maritime, accrue, des champs de bataille, pose autant de défis qu'elle n'ouvre de capacités nouvelles¹²⁰. Cette robotisation particulièrement bien illustrée par le développement exponentiel de drones sur les différents champs de bataille actuels a 5 principales caractéristiques :

- **Un usage massif de drones issus du civil,** par des innovations de type « bottom up » (innovations de terrain), en complémentarité avec des drones militaires. Ces innovations "bottom-up"¹²¹ sont particulièrement visibles dans la guerre en Ukraine, où l'utilisation de drones est très diversifiée du côté des deux belligérants. Les drones civils, comme les drones FPV (First Person View – drones pilotés par des casques immersifs de réalité virtuelle) sont

¹²⁰ Pour une compréhension approfondie de cette mutation, cf le livre "Outsourcing War to Machines: The Military Robotics Revolution", Paul.J.Springer, 2023

¹²¹ Défense et Sécurité Internationale, Hors Série n°93, Déc 2023-Jan 2024

combinés dans leur emploi à des microdrones, ou à des militaires drones MALE (Medium Altitude Long Endurance) dans des applications militaires variées : renseignement, surveillance, reconnaissance (ISR), frappes ciblées sous forme de MTO (munitions téléopérées) ou drones kamizakes, opérations de saturation, outils de pressions psychologiques... Drones et robots sont également présents sur les théâtres d'opération en appui aux interventions souvent cruciales du génie militaire : appui au franchissement, à la mobilité et à la contre-mobilité, tâches diverses relevant du 3D (dull, dirty, dangerous) pour ennuyeuses, sales et dangereuses¹²².

- **Une évolution vers une plus grande automatisation**, voire une autonomie dans certains cas. On assiste à l'apparition progressive d'«IA de combat». C'est le cas du drone Saker¹²³, ukrainien, entré en service en 2023, et doté d'une capacité ATR/ATA (Automatic target recognition/ Automatic target acquisition). Ce drone n'est pas totalement autonome, mais peut corriger sa trajectoire, traiter une soixantaine de systèmes militaires distincts, rester autonome en cas de perte de liaison radio et apprend en continu à améliorer son système de navigation et peut s'affranchir de tout système GNSS pour s'appuyer uniquement sur des points de repère. En 2021, un rapport des Nations Unies, avait révélé que des drones militaires avaient attaqué des cibles en toute autonomie, en Libye. Il s'agissait des drones turcs Kargu-2¹²⁴ dotés de caméras de reconnaissance faciale et d'un algorithme d'IA capable d'identifier une cible et de la traiter, sans intervention d'un opérateur humain.
- **Un très faible coût pour l'emploi de ces drones issus du civil et une très forte rentabilité** comparée aux systèmes d'armes classiques. Le coût unitaire d'un drone FPV est estimé à 530 euros. Même avec des taux de succès relativement faibles (26 à 33%) qui peuvent nécessiter l'emploi de 3 à 4 drones pour traiter une même cible, l'opération reste très rentable. Car même en multipliant le prix unitaire par un facteur prenant en compte le taux d'échec (1500 à 2000 euros le drone), le gain économique est certain par rapport au coût d'un missile antichar par exemple (190.000 euros pour un Javelin)¹²⁵. Le Général Pierre Schill, Chef d'Etat-major de l'Armée de terre française indiquait récemment que 80% des destructions des deux côtés, y compris de chars sont effectués par des drones FPV¹²⁶.
- **La prise en compte de ces développements dans les budgets des armées**, notamment en France. Le développement de systèmes autonomes : robotique, drones, IA, et utilisation des différents vecteurs en essaims, figure en bonne place dans les technologies prioritaires mises en avant dans la LPM 2024-2030¹²⁷.
- **Le développement de systèmes dits GNSS-denied**. Si l'autonomisation de certaines opérations est possible, elle requiert la combinaison de données visuelles (capteurs) et électromagnétiques permettant un positionnement spatial précis (GNSS). Lorsque le drone ou le robot est guidé, il est également dépendant des transmissions d'ordres radio. Chacune de ces dépendances devient une faille permettant de brouiller ou de neutraliser l'arme ennemie.

¹²² Défense Expert, n)16

¹²³ <https://www.areion24.news/2024/01/30/ia-de-combat-saker-entre-en-scene/>

¹²⁴ https://www.lemonde.fr/big-browser/article/2021/06/03/l-utilisation-de-drones-tueurs-en-libye-reveille-le-spectre-de-robot-de-combats-autonomes_6082724_4832693.html

¹²⁵ Défense et Sécurité Internationale, Hors Série n°93, Déc 2023-Jan 2024

¹²⁶ <https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/france-culture-va-plus-loin-l-invite-e-des-matins/face-aux-nouvelles-guerres-comment-se-prepare-l-armee-de-terre-3283197>

¹²⁷ <https://www.defense.gouv.fr/actualites/objectifs-lpm-2024-2030-reussir-sauts-technologiques>

Ainsi, un brouillage des signaux GNSS peut rendre un robot aveugle de sa position et l'empêcher d'évoluer. Des solutions de redondance, en plus des solutions déjà recherchées afin de contourner les obstacles sur le terrain, concentrent une partie de la recherche sur le sujet¹²⁸. L'entreprise espagnole UAV Navigation-Grupo Oesia a par exemple présenté un système de navigation complémentaire et indépendant du GNSS qui peut être installé sur des UAVs. Il est basé sur une fine interprétation des informations visuelles et l'intervention d'un algorithme de prédiction et d'interprétation des éventuelles attaques en cours sur l'appareil¹²⁹. Ces systèmes dits GNSS-denied sont la première piste d'amélioration des UAVs sur le plan de leur autonomie, en recherchant une capacité de prise de décision sans opérateur¹³⁰.

- **Concernant les robots**, c'est davantage la faible capacité à se déplacer sur un milieu hétérogène qui contraint à ce jour leur utilisation. Le projet Vulcain en France vise depuis 2021 et d'ici à 2040 à former des unités de l'armée de Terre à une intégration avancée de la robotique dans leurs métiers et opérations (¹³¹).

- **Une ouverture récente et accélérée du secteur de la Défense, aux innovations agiles et duales**

L'ouverture des dispositifs d'innovation des forces à des méthodes plus ouvertes pour pouvoir capter plus rapidement les technologies duales est manifeste, tant en France qu'au sein de l'OTAN :

- En France :
 - o **Des dispositifs de financement** : Fonds Innovation Défense de l'Agence de l'Innovation de Défense créé en 2021, Defense Angels créé en 2021, Defense Partners juste après
 - o **Des incubateurs et accélérateurs** : Accélérateur Défense récemment créé par BPI et la DGA, Generate (Accélérateur du GICAT), Battle Lab Rens (BLR) de la DRM, ...
- **Au sein de l'OTAN** : DIANA (Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic), l'Accélérateur d'Innovation de l'OTAN créé en 2023.

3. Des besoins dans les pays émergents adressables de manière scalable, rapide et à moindre coût

La sécurisation des droits fonciers est essentielle pour le développement économique et la stabilité sociale dans les pays du Sud. Une population qui a inégalement accès à la propriété ne peut pas librement et également se développer¹³². Il s'agit même d'un enjeu de lutte contre la pauvreté, quand seule 30% de la population mondiale détient un titre de propriété foncière.

¹²⁸ <https://www.polytechnique-insights.com/dossiers/science/faut-il-avoir-peur-des-robots-tueurs/les-defis-technologiques-des-robots-militaires-terrestres/>

¹²⁹ <https://insidegnss.com/uav-navigation-grupo-oesia-introduces-gnss-denied-navigation-kit-for-enhanced-uas-navigation/>

¹³⁰ DGA, *Manifestation d'intérêt ALIENOR*, 2021

¹³¹ IHEDN, *les robots, maillons essentiels du champ de bataille du XXI^e siècle*, 2023

¹³² <https://www.lesechos.fr/2005/03/eloge-de-la-proprietie-1065046>

- L'exemple de la Macédoine dit combien le géomètre et ses compétences sont essentielles au développement de la propriété : le pays présentait une valeur de prêts hypothécaires de 450M€ pour un territoire recouvert à 43% de cadastre il y a 10 ans contre 3.4Mds€ et 99% aujourd'hui.
- Parmi les pays émergents, le Nicaragua est déjà bien engagé dans cette démarche¹³³.
- Des initiatives comme celle de Bitland en Afrique, utilisant la technologie blockchain pour des titres fonciers fiables, montrent des solutions innovantes pour aborder cette problématique.
 - o Elle vise à établir des titres fonciers fiables en utilisant la technologie blockchain, en commençant par le Ghana puis en se déployant à travers l'Afrique. En raison des infrastructures locales instables, notamment les coupures d'électricité fréquentes, Bitland prévoit de construire des centres solaires pour alimenter un réseau Wi-Fi durable. Ces centres serviront aussi à éduquer sur les solutions numériques.
 - o À terme, Bitland envisage d'utiliser des dispositifs mobiles pour l'enregistrement des terres avec une précision GPS, facilitant ainsi les transactions et les litiges fonciers¹³⁴. On voit ici combien les technologies du géospatial peuvent contribuer à endiguer plus vite la pauvreté dans les pays du Sud.

L'importance d'un adressage précis, illustrée par le système numérique GhanaPostGPS au Ghana, est cruciale pour la livraison de services et le développement économique.

- Ces systèmes utilisent la technologie GPS pour offrir des adresses exactes, facilitant divers services comme les urgences ou la livraison de colis. Vokacom Limited, entreprise Ghanéenne, fournit ce service depuis 2017, se basant sur une cartographie du Ghana et y associant des adresses contenant des repères géographiques.
- Dans un pays où le cadastre n'est pas entièrement réalisé, cela permet aux habitants de rapidement avoir accès à des services dépendant d'une localisation précise et de faire appel à des livraisons ou à des taxis. Un plan a par ailleurs été prévu afin de contacter ceux résidants dans la campagne¹³⁵.
- A terme, le Ghana bénéficiera d'un système cadastral de nouvelle génération issu de la combinaison de différentes technologies (drones, Google Earth, GPS, blockchain), le tout assisté par IA¹³⁶.

Les pays émergents, suivant l'exemple du Kenya, du Sénégal et de l'Afrique du Sud dans les domaines des télécommunications et des services satellitaires, pourraient réaliser des avancées similaires avec l'utilisation de **microsatellites et de drones**. Cela inclut le développement d'agences spatiales nationales et de collaborations internationales, comme celle entre la France et le Rwanda, visant à créer des communautés d'utilisateurs de données spatiales et à développer des industries de drones pour des applications diverses telles que l'agriculture de précision ou la livraison de médicaments. Comme il y eut un saut technologique dans les pays émergents sur la question des communications, ils pourraient bénéficier d'un saut technologique sur la question du spatial.

¹³³ Banque Mondiale

¹³⁴ <https://www.ccn.com/bitland-blockchain-initiative-seeks-to-create-reliable-land-titles-in-africa/>

¹³⁵ <https://technologysalon.org/ghana-post-gps-digital-addressing-system/>

¹³⁶ Application of Smart Technologies in Cadastral Surveying of Large Areas in Ghana, Jonathan A. Quaye-Ballard, October 2022

Le **Kenya** accède ainsi à l'espace en 2018, un an après avoir fait son entrée sur ce marché.¹³⁷ **L'Afrique du Sud** développe dans le même temps avec son agence, la SANSa (South African National Space Agency) un programme de microsattelites de surveillance maritime, interconnectés et interoperables, reliant à la fois les enjeux de défense, de GeoINT et de lancements de constellations, plus accessibles¹³⁸. C'est enfin en 2018 que le **Maroc**, ici pour une mission scientifique, fait son entrée sur le marché des microsattelites¹³⁹.

Expertise France collabore avec l'Agence Spatiale Rwandaise pour développer une communauté d'utilisateurs de données spatiales, financée par un prêt AFD¹⁴⁰, soutenant ainsi le GeoHub, une infrastructure d'accès aux données spatiales. Le Rwanda, engagé dans une vaste transition numérique, bénéficie également d'un prêt de l'AFD pour moderniser ses services publics et soutenir des innovations comme les drones, avec la construction d'un centre d'excellence pour les opérations de drones à Huye. Ces initiatives visent à améliorer la gestion des ressources naturelles, la réponse aux catastrophes, la santé, et l'agriculture, tout en renforçant le développement économique et la compétitivité du pays grâce à l'utilisation des données géospatiales et de la technologie des drones¹⁴¹.

¹³⁷ <https://www.standardmedia.co.ke/health/national/article/2001470946/kenyas-journey-in-the-development-of-nano-satellites>

¹³⁸ <https://www.sansa.org.za/2019/08/13/4ir-in-space-zacube-constellation-eyes-our-oceans/>

¹³⁹ <https://medias24.com/2018/12/27/le-maroc-lance-son-premier-microsatellite-destine-a-letude-dozone/>

¹⁴⁰ <https://www.afd.fr/fr/actualites/rwanda-prent-numeriser-services-publics-et-soutenir-innovation>

¹⁴¹ <https://www.expertisefrance.fr/actualite?id=896821>

Partie II : le secteur géonumérique français



Le secteur géonumérique français suit la tendance mondiale. Cela se voit notamment par le dynamisme de nouvelles organisations professionnelles mises en place pour dynamiser l'innovation géo et numérique : *France digitale*, *French Tech Green*, *Alliance New Space*, *France Deep Tech*, *Hub France IA*, *Programme Generate dans la Défense*, etc.

Dans ce contexte, et même si plusieurs acteurs membres de l'Afigéo, notamment quelques-uns de l'offre, parviennent à tirer parti de ces évolutions et à développer leurs activités, se pose la question de la nécessaire fédération plus large par l'Afigéo de tous les acteurs innovants que l'on retrouve dans les écosystèmes cités ci-haut.

Par ailleurs, du côté de la demande, on observe aussi des évolutions fortes, parmi lesquelles le développement de nouveaux usages dans des secteurs d'activité autrefois peu consommateurs de données géonumériques ou dans des secteurs nouveaux comme celui de l'environnement. C'est le cas du secteur de l'Assurance par exemple.

L'objectif est de montrer en particulier que :

- Le secteur géonumérique français suit **la tendance mondiale**.
- Les acteurs les plus innovants sont issus d'écosystèmes numériques et non pas géographiques.
- **L'importance croissante des indicateurs** métiers dans les services proposés, notamment grâce aux capacités de fusion plus importantes.
- L'effort limité des acteurs géographiques actuels pour investir les formations numériques, dont les diplômés constitueront le moteur de croissance du futur.

A. Caractéristiques économiques de l'écosystème français du géonumérique : un ensemble hétérogène mais dynamique et au cœur des grands enjeux actuels

1. L'écosystème français du géonumérique

L'écosystème français constitue un ensemble hétérogène d'acteurs appartenant à des secteurs économiques différents, compte tenu du caractère transverse de l'information géographique. Cette information est au cœur d'enjeux majeurs comme l'environnement ou la sécurité et il est important que les acteurs traditionnels s'emparent rapidement de ces enjeux nouveaux.

• L'ORGANISATION DES ACTEURS DE L'OFFRE

Les acteurs de l'offre géonumérique sont constitués de quelques groupes industriels ou de services et d'une myriade de petites sociétés. **1 530 sociétés françaises** et **490 sociétés** de 7 autres pays composent le panel étudié. Ces nombres sont très proches de ceux du Royaume-Uni¹⁴² et des Pays-Bas¹⁴³. Cela représente un ensemble de **52 000 personnes** dans les sociétés françaises concernées. Le tableau suivant fournit la répartition des effectifs de ces sociétés françaises.

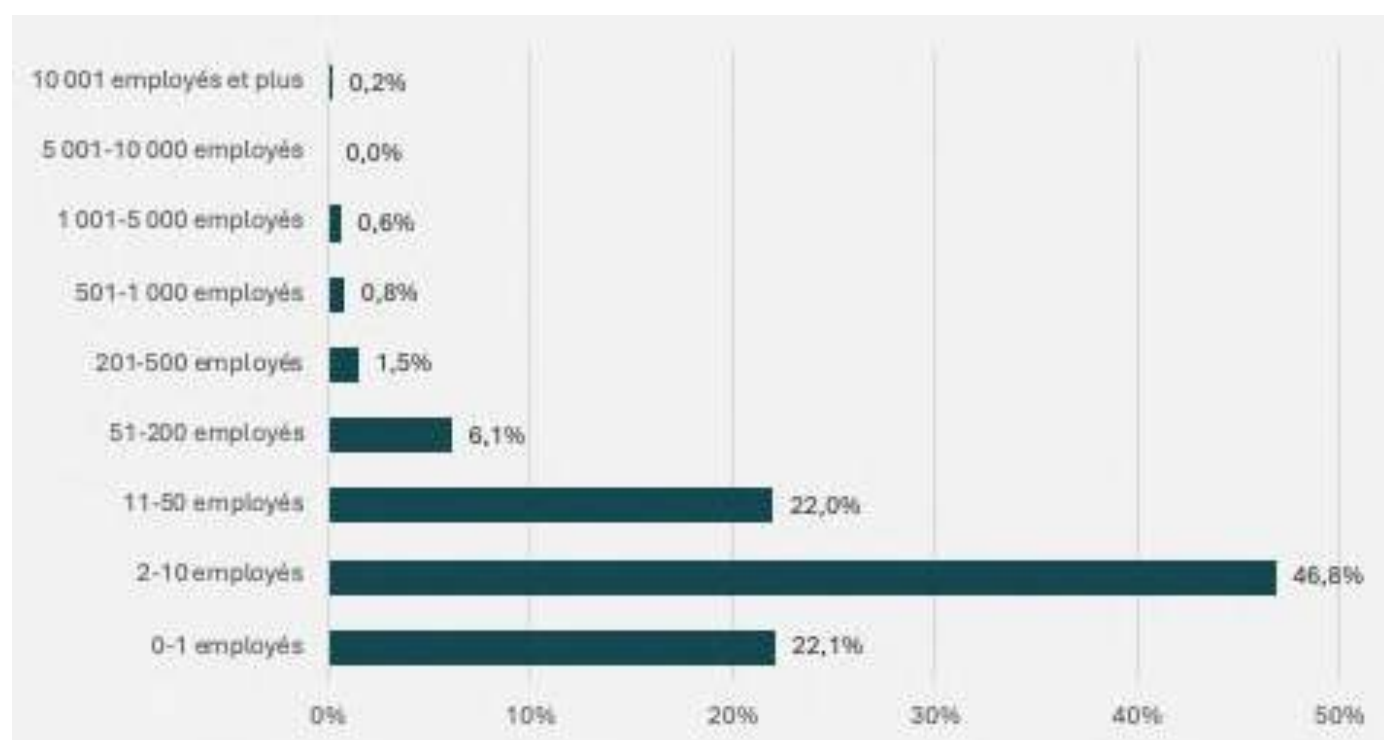


Tableau 2-1-1-1 – Distribution du nombre de sociétés par effectif

¹⁴² Geospatial Economy, UK sector report, 2022

¹⁴³ Netherlands geolocation economy report, 2021

En moyenne les sociétés françaises emploient une **trentaine de personnes** et possèdent une croissance annuelle moyenne de **22 %**, ce qui est supérieur à la croissance mondiale du marché géonumérique qui se situe entre 10% et 15% en fonction des études¹⁴⁴. 70% de ce panel est composé de sociétés de moins de 10 personnes. Moins de 10% des sociétés dépassent 50 personnes.

• ANALYSE DES ACTEURS DE L'OFFRE FRANÇAIS PAR CODE APE

Les codes APE ont été ajoutés à **1 211 entreprises** des acteurs de l'offre, ce qui constitue un ensemble de **25 000 personnes**. Ces chiffres composent notre panel d'analyse de l'offre par code APE. Le tableau suivant présente la répartition des sociétés et des effectifs.

APE	Libellé APE	Entreprises	%	Effectifs	%
7112A	Activités des géomètres	431	36%	2 207	10%
7420Z	Activités photographiques par drone	375	31%	357	2%
7112B	Ingénierie, Etudes techniques	138	11%	2 970	13%
6201Z	Programmation informatique	47	4%	1 073	5%
6202A	Conseils en systèmes et logiciels informatiques	40	3%	1 348	6%
5829C	Edition de logiciels applicatifs	33	3%	915 ¹⁴⁵	4%
7490B	Activités spécialisées, scientifiques et techniques diverses	31	3%	160	1%
7022Z	Conseils pour les affaires	20	2%	333	1%
7120B	Analyses, essais et inspections techniques	20	2%	134	1%
3030Z	Constructions aéronautiques et spatiales	15	1%	6 654	30%
7111Z	Activités d'architecture	12	1%	154	1%
6311Z	Traitement de données, hébergement et activités connexes	11	1%	231	1%
5911B	Production de films institutionnels et publicitaires	9	1%	12	0%
5811Z	Edition de livres	8	1%	27	0%
9499Z	Autres organisations fonctionnant par adhésion volontaire	6	0%	84	0%
2651B	Fabrication d'instrumentation scientifique et technique	6	0%	557	2%
7219Z	Recherche-développement en autres sciences physiques et naturelles	6	0%	5 261	23%
4669A	Commerce de gros (commerce interentreprises) de matériel électrique	3	0%	35	0%

¹⁴⁴ Geobuizz report, 2022, Geospatial market, marketsandmarkets, 2021

¹⁴⁵ les effectifs de Dassault Systèmes n'ont pas été intégrés dans les éditeurs de logiciels.

Tableau 1-1-1-2 – Répartition des entreprises de l'offre par code APE et effectifs

Si l'on répartit ces sociétés et effectifs sur la chaîne de valeur de l'information géographique, cela donne le résultat suivant :

Figure 2-1-1-3 – Répartition des entreprises sur la chaîne de valeur¹⁴⁶

En dehors des systèmes de géo positionnement, les sociétés françaises sont présentes sur l'ensemble de la chaîne de valeur géonumérique. Les acteurs se répartissent en 3 catégories :

Des groupes industriels de grande taille qui fournissent des moyens de mesure de données géographiques (géo positionnement ou imagerie satellite majoritairement), comme Airbus Defense and Space et de nombreux services associés.

Des agences gouvernementales comme l'IGN ou le BRGM de taille importante, qui fournissent les données de référence géonumériques et de nombreux services pour les exploiter.

Une myriade d'acteurs de petite taille (bureaux d'études, géomètres, entreprises de services numériques) qui fournissent des études ou des services informatiques de transformation de la donnée en information d'intérêt métier. C'est dans cette catégorie que se développent par ailleurs tous les **acteurs innovants**. C'est également dans cette catégorie que la transformation numérique est la plus problématique. Elle

¹⁴⁶ Certains code APE sont présents sur plusieurs segments de la chaîne de valeur et ont été compté deux fois.

nécessite des ressources informatiques pour développer des algorithmes à forte valeur ajoutée, ressources peu disponibles et difficiles à intégrer pour les sociétés de petite taille.

- **ANALYSE DES ACTEURS DE L'OFFRE FRANÇAIS PAR REGION**

Les adresses sont disponibles pour un échantillon de 1501 sociétés, ce qui représente un peu plus de 28 000 personnes employées dans ces sociétés. Sur cet échantillon, la ventilation régionale des acteurs est la suivante :

Région	Entreprises (%)	Effectifs (%)
Auvergne-Rhône-Alpes	14%	8%
Bourgogne-Franche-Comté	3%	1%
Bretagne	4%	9%
Centre-Val de Loire	3%	5%
Corse	1%	0%
Grand Est	7%	1%
Hauts-de-France	7%	2%
Ile-de-France	20%	51%
Normandie	4%	1%
Nouvelle-Aquitaine	10%	4%
Occitanie	12%	10%
Pays de la Loire	7%	5%
Provence-Alpes-Côte d'Azur	9%	3%

Sans surprise la région **Ile de France** concentre **20% des entreprises et plus de 50% des effectifs** de l'échantillon. Par la suite, les régions qui disposent d'un nombre significatif de personnes travaillant dans le domaine du géonumérique sont : **l'Auvergne-Rhône-Alpes, la Bretagne et l'Occitanie**. A l'inverse, les régions de Bourgogne, Grand Est, Haut de France et Normandie semblent particulièrement dépourvus en compétences géonumériques.

RECOMMANDATION : Favoriser le dialogue entre les acteurs de l'écosystème

Enjeu de financement : Susciter le soutien à l'expertise française, en faisant identifier des lignes budgétaires "géonumériques" dans les grands programmes ou appels à projets.

• LES ACTEURS PUBLICS DE LA DEMANDE

En fonction de leur domaine d'intervention local ou national et même si l'on parle de continuum de l'information géographique, les acteurs publics de la demande peuvent se répartir en 3 catégories. Chaque échelon représente un ensemble de besoins géonumériques différents.

L'**échelon national** composé de ministères et d'agences publiques, est chargé de définir et piloter le déploiement des politiques publiques à l'échelle de l'ensemble du territoire. Pour se faire, elles ont à leur disposition des agences avec des composantes géographiques (IGN, CNES, BRGM, etc...) qui fournissent ressources et expertises pour mettre en œuvre les données socles et les données souveraines. Cet échelon a besoin de la même qualité d'information géographique pour l'ensemble du territoire. Elle nécessite des acteurs de l'offre capables de fournir une information de qualité, normalisée sur une très grande superficie. Compte tenu de l'augmentation croissante des données disponibles, cet échelon va se développer vers une automatisation et une industrialisation croissante de sa chaîne de production géonumérique.

Synthèse du workshop sur l'innovation dans le secteur public et des entretiens

• Les enseignements clés

Les acteurs publics territoriaux ont **peu de capacité pour piloter un écosystème géonumérique innovant local**, par manque de ressource et du fait de la contrainte des marchés publics, qui n'est pas adaptée à des projets d'innovation

Les **agences géonumériques** (IGN, CNES, BRGM) nationales sont **les seuls acteurs à disposer de structures d'innovation dans le domaine géonumérique**, même si la taille de ces structures est insuffisante pour faire émerger un acteur d'envergure internationale. Par ailleurs, chaque agence disposant de sa propre structure, cela conduit à une trop grande dispersion des ressources utilisables.

Les **services publics doivent être capables de financer leurs besoins de données et de services géonumériques**. Le marché B2B de la géographie repose sur la production de données et services dont la qualité est certifiée (à l'inverse de plateformes gratuites grand public). Le coût de ces données doit être financé par tous les acteurs privés et publics qui ont une occupation importante du sol. C'est une charge, idéalement à mutualiser lorsque ces acteurs occupent le même espace.

Le **développement des compétences numériques de la filière est très insuffisant** pour plusieurs raisons. La filière ne dispose pas de référentiel métier. Les formations sur la géographie ne sont pas assez présentes au sein des formations numériques. Ce déficit de compétences en géographie va aller en s'accroissant.

• Les besoins à adresser

- Les services géonumériques pour piloter le changement climatique restent à inventer.
- Les besoins géonumériques des acteurs publics locaux parviennent mal aux acteurs privés capables d'y répondre.
- Un hub de données commun par région et/ou métropole développerait probablement l'innovation.

RECOMMANDATION : Favoriser le dialogue entre les acteurs de l'écosystème

Partenariats public-privé à l'échelle nationale : Renforcer les synergies opérationnelles, promouvoir la mutualisation des projets et savoir-faire au service de la compétitivité et de la souveraineté.

L'échelon départemental ou régional : couvre de grandes superficies avec une densité de population parfois très faible. C'est un échelon qui va demeurer très dynamique dans les prochaines années. Ces grandes surfaces représentent des enjeux importants en termes de gestion de crise, de développement et protection de la biodiversité, reforestation (développement de puits de carbone), ou encore de développement de parcs d'énergie renouvelable. Les projets qui adresseront ces enjeux nécessiteront des outils de pilotage avec une composante géonumérique très forte. Ce périmètre est géré aujourd'hui par le [Réseau des CRIGEs](#), membres de l'Afigéo.

Compte tenu de l'augmentation croissante des données disponibles, cet échelon doit se développer vers une automatisation et une industrialisation croissante de sa chaîne de traitement. Les plateformes de données doivent également être interopérables entre elles (infra région mais également région/état) de manière transparente pour les usagers afin de garantir les usages simplifiés des données sur des territoires non administratifs.

L'échelon métropolitain ou urbain. Du point de vue géonumérique, la ville concentre la grande majorité des besoins d'aménagement et de donnée géographique. Ces besoins se traduisent par la construction de géo catalogues de plus en plus complets et donc de plus en plus difficiles à exploiter du point de vue de l'aide à la décision multi critères. Cela se traduit par le développement du concept de BIM et de jumeau numérique, c'est-à-dire la capacité à simuler les conséquences d'une prise de décision en fonction des données géographiques disponibles.

Cela devrait amener un développement d'applications informatiques rendant simple la manipulation et l'analyse de l'information géonumérique. Même si un travail de normalisation des données est utile, l'interopérabilité des solutions développées sera primordiale pour que l'ensemble des données puissent être partagées et valorisées.

CRIGEs

Animé par l'Afigéo, **le Réseau des CRIGEs rassemble historiquement les centres régionaux en information géographique de nombreuses régions françaises.** Depuis 2009, les membres se réunissent régulièrement au sein de ce réseau. Ce Réseau est un espace d'échange d'expériences, de conception de messages collectifs, d'élaboration d'actions conjointes... pour les représentants des plateformes.

Ce réseau est ouvert largement aux DREALs ainsi qu'aux métropoles désireuses de participer à ces échanges.

L'enquête réalisée auprès des acteurs de la demande illustre ces tendances.

Classement des tendances	Note moyenne
Changement climatique : transition écologique et énergétique	7,9
Biodiversité : Eau, Forêts, artificialisation des sols	7,9
Mobilité, multimodalité, intermodalité	7,6
Urbanisation (aménagement de la ville, inégalités urbaines)	6,9
Défense et sécurité	6,9

Figure 2-1-1-4 – Sur une échelle de 1 à 10, classement des enjeux à adresser pour les acteurs privé et publics de la demande

Synthèse du workshop sur les partenariats publics privés et des entretiens

• Les enseignements clés

L'expertise géonumérique locale est très dispersée et difficile à activer de manière efficace. Beaucoup d'informations d'expertise et de services existent mais ils sont mal référencés.

L'écosystème public actuel est peu lisible et peu prévisible pour les acteurs privés. Les écosystèmes publics et privés ne collaborent pas assez, notamment à un niveau local.

De trop nombreuses structures d'innovation géonumériques existent aujourd'hui :

- Des structures issues de la filière géonumérique : IGNFAB (accélérateur de projets), DATALLIANCE (réseau de collaboration), CONNECT BY CNES (incubateur), Innovation et transfert (BRGM),
- Des structures de la filière numérique : le Village by CA (KERMAP, DATABOURG)
- Des structures régionales d'innovation et de valorisation
- Des structures issues de l'enseignement et de la recherche.

Le partage de la valeur entre le public et le privé est un problème non résolu. Il n'est pas possible de demander gratuitement des données au secteur privé. Le code des marchés publics n'est pas fait pour faire de l'innovation. Il est très difficile de tester un nouveau service avec le code des marchés publics. Les moyens de contractualisation sont trop compliqués. Certaines initiatives de gestion de la donnée géonumérique fonctionnent, notamment entre gestionnaires d'infrastructure et collectivités ou métropole. Elles sont plutôt initiées par le public et ensuite étendues au secteur privé. Elles visent d'abord à partager les coûts de production d'une donnée de qualité. Les besoins du public dans un partenariat concernent la génération de données utiles pour le territoire et le développement de services à bas coût. Les données générées doivent être utiles localement. **La coordination nationale / locale pose problème.** Par exemple, les startups ne discutent pratiquement pas avec les acteurs publics locaux.

Les besoins à adresser

- Fournir de la visibilité à long terme sur les besoins des acteurs publics.
- Passer des services géonumériques innovants à l'échelle.
- Faire plus participer les acteurs privés aux hubs de données publics régionaux.
- Remonter les besoins locaux de services géonumériques.

Synthèse du workshop sur le géonumérique et les territoires et des entretiens

L'expertise nationale ne descend pas assez dans les collectivités, elle n'est pas assez accessible. Il y a une difficulté à mutualiser les expertises rares.

Il conviendrait de **mieux faire collaborer / coordonner entre elles les instances géonumériques** qui existent. Le problème de collaboration insuffisante entre échelon local et national peut induire la création de services qui ne répondent pas aux besoins locaux.

Les **collectivités et les métropoles disposent d'un nombre croissant de données**. On assiste à un saut dans la production de données. Cette tendance ne va pas s'améliorer. Mais les services locaux ne disposent pas de ressources pour les traiter et en tirer toute la valeur. Cette tendance va s'accroître sans mutualisation.

Les besoins à adresser

- Mettre en place une gestion efficace et coordonnée des données géo référencées sur un territoire.
- Mettre à disposition une infrastructure clé en main pour les petites collectivités.
- Fournir aux collectivités un service de conseil et de gestion de projets sur les sujets géonumériques.
- Mettre toutes les données d'une collectivité en accès libre.
- Mettre en place une structure d'innovation pilotée par les grandes agences.
- Publier l'organisation géonumérique de la région et des échelons inférieurs

Synthèse du workshop sur les acteurs privés de la demande et des entretiens (entreprises de missions de services publics)

26 répondants, achats annuels géonumériques 1,3 m€, taille des services géographiques 13 personnes

L'information géonumérique est gérée dans un système critique et sécurisé.

Les usages géonumériques clés restent la cartographie des actifs ou ressources, les projets d'aménagement et dans une moindre mesure la surveillance.

Le sujet clé d'innovation est celui de l'augmentation de la précision (notamment avec le Lidar), de la fusion de données multi sources

Les enseignements clés

Les besoins associés à l'information géographique

- **Une meilleure connaissance du patrimoine.** Contre toute attente, des efforts restent à faire pour mieux référencer le patrimoine de ces acteurs. La donnée est parfois encore mal référencée et mal capitalisée, ce qui conduit à repartir de zéro, lorsqu'on a besoin de faire une étude sur une zone donnée.
- **Une gestion optimisée du patrimoine.** L'information géographique doit permettre d'optimiser les investissements de maintenance sur des infrastructures vieillissantes, notamment en permettant une analyse plus fine intégrant par exemple des données météorologiques. Ce besoin s'étend également aux gestionnaires de patrimoines immobiliers pour la priorisation des rénovations.
- **L'intégration de l'innovation.** Le développement du LIDAR (notamment le LIDAR HD) amène de nouvelles possibilités en termes d'analyse qu'il faut savoir exploiter. Pour autant, l'exploitation de ces données nécessite de nouvelles infrastructures numériques et de nouveaux outils complexes à intégrer pour ces acteurs. Ces données apportent de la sûreté (exemple : une meilleure surveillance des ouvrages hydro électriques), donc de la précision dans la surveillance des infrastructures. Pour autant la transformation des données en information d'intérêt nécessite un travail de recherche et développement. Il faut pouvoir agréger, fusionner des données en haute résolution. En dehors de données nouvelles, l'exploitation accrue de l'historique des données collectées permet d'améliorer les capacités de prévisions. Mais là encore, un travail important de R&D est nécessaire.
- **Un effort de standardisation important.** La fusion de données va s'accroître, ce qui pose des problèmes très compliqués lorsque les données sont dans des formats ou standards différents. Un travail important de normalisation est nécessaire pour faciliter cette intégration. Dans ce cadre, rapidement se pose le problème de financement d'une structure fédératrice régionale pour mener ce travail. Ces structures existent, mais en fonction des endroits leurs moyens sont très variables. La question d'une gouvernance harmonisée se pose.

Les besoins à adresser

- Intégrer l'innovation dans les modes de fonctionnement quotidiens, passer de la donnée à un indicateur métier.
- Définir des standards d'échanges de données pour simplifier l'agrégation et la fusion.
- Se regrouper pour partager des données normalisées.

• UNE COUVERTURE GEOGRAPHIQUE ELARGIE

Compte tenu de la croissance des moyens d'observation de la Terre, la grande majorité des zones du globe va devenir transparente et observable. Dans le domaine de la finance, cela se traduit par exemple par des services permettant de prédire l'évolution du prix de matières premières ou de bien manufacturés à partir d'observation de la Terre. Toutes les sociétés qui vont développer des activités en dehors de leur périmètre géographique actuel et qui sont dépendants de ressources locales sont susceptibles d'avoir des besoins accrus en information géonumérique.

L'Afrique est un territoire aujourd'hui en plein développement. Les ressources naturelles et les besoins d'aménagement urbains sont colossaux. L'Afrique est la zone du monde qui va enregistrer la plus forte poussée démographique de ce siècle. Les besoins de sécurité sont également très prégnants. Cela fait de ce continent un territoire très pertinent pour le développement de la demande géonumérique.

Dans ce domaine, les secteurs comme l'agriculture, les bâtiments et les travaux publics, la défense et la sécurité, l'environnement, les réseaux énergétiques, la mer, l'urbanisme ou encore l'aménagement du territoire, très consommateurs d'espaces, vont gagner en importance géonumérique en dehors du territoire national. Dans le domaine de l'environnement par exemple, l'ONU finance de nombreux programmes de documentation géonumériques des pays les moins avancés de la planète.

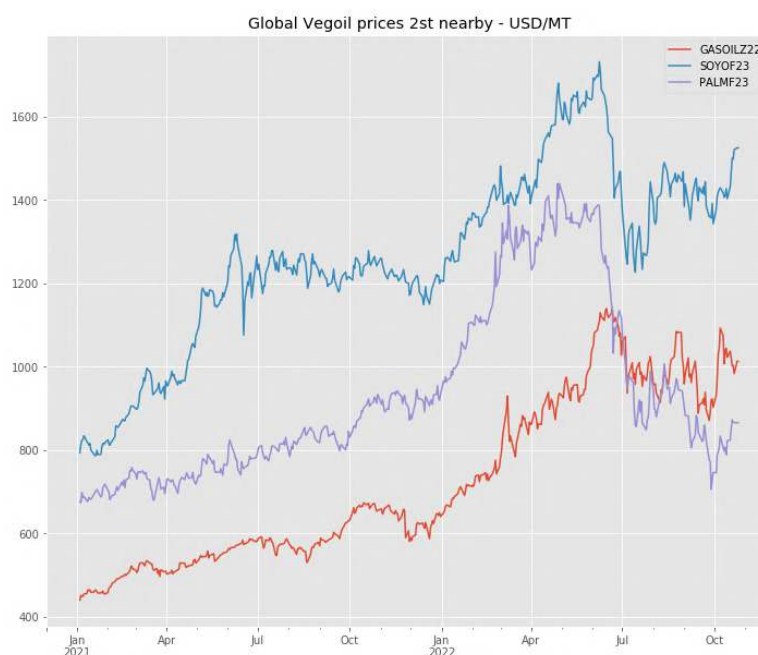


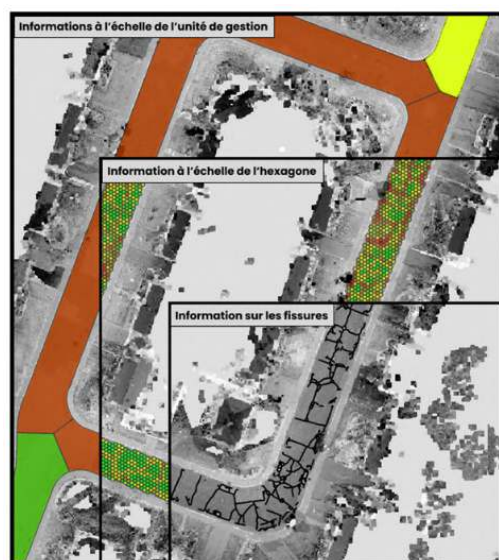
Figure 2-1-1-6 – Prédiction d'évolution du prix de l'huile végétale en 2022 grâce à l'observation de la Terre.¹⁴⁷

¹⁴⁷ Descartes Labs

• UNE PLUS GRANDE VALEUR AJOUTEE METIER

Transformer une donnée géolocalisée en information d'intérêt, puis en indicateur métier d'intérêt est un enjeu. Tous les acteurs privés de la demande transforment une donnée géolocalisée en information métier que ce soit pour documenter un patrimoine, évaluer la qualité, le risque, les limites d'usage d'une zone géographique ou pour cartographier une ressource naturelle. Compte tenu de la volumétrie croissante de données disponibles, transformer cette donnée en **indicateur d'intérêt à jour** est de moins en moins réalisable manuellement. Cela reste du domaine de la faisabilité pour un projet à un moment donné, pour un projet de construction par exemple mais ce n'est plus possible de manière dynamique. Initié avant 2020 pour une première restitution attendue en 2025, le projet LIDAR HD de l'IGN démontre la difficulté de mettre à disposition un tel volume d'information.

Il y a donc un enjeu majeur à adresser pour les acteurs de la demande qui correspond à la production d'indicateurs métiers géolocalisés de qualité et à jour. Compte tenu du développement de l'intelligence artificielle et des techniques de fusion de données qui en résultent, cet enjeu est susceptible d'être adressé. De nombreuses startups couplant expertise métier et algorithmiques tentent de relever ce défi, dont certaines avec succès. La capacité à fournir un indicateur métier en flux doit faire partie des enjeux d'acteurs comme les bureaux d'études par exemple.



Information sur les fissures

- Identifiant unique de la fissure
- Position de la fissure
- Azimuth de la fissure en degré
- Direction de la fissure par rapport à l'axe routier
- Profondeur minimale de la fissure entre la route et le fond de la fissure en millimètre
- Profondeur moyenne de la fissure entre la route et le fond de la fissure en millimètre
- Profondeur maximale de la fissure entre la route et le fond de la fissure en millimètre
- Longueur de la fissure en mètre

Figure 2-1-1-2 – Indicateurs métiers produits automatiquement par mobile mapping.¹⁴⁸

¹⁴⁸ Jakarta, Canada

RECOMMANDATION : Développer la visibilité de l'écosystème

Reconnaissance du secteur : Faire connaître le potentiel de l'offre géonumérique auprès de cibles élargies via la présence à des événements (exemples : BIM world, French Tech, Viva Technology).

2. Un écosystème dynamique en France et à l'international

Même si tous les acteurs traditionnels ne sont pas encore convaincus des nouveaux enjeux à adresser du fait de l'innovation numérique ou de la modification de l'environnement, de nombreuses sociétés françaises offrent de nouvelles solutions, témoignant du dynamisme de la filière.

• DES ACTEURS TRADITIONNELS QUI S'ADAPTENT AUX TRANSFORMATIONS DU SECTEUR

TOM TOM, devenu le principal fournisseur de services de navigation de l'industrie automobile, capable de proposer des informations et des services de navigation compatibles avec la sécurité des systèmes d'aide à la conduite (Advanced Driver Assistance Systems ou ADAS, comme le LIDAR) qui sont devenus la norme dans pratiquement tous les véhicules.

Grâce :

- à l'évolution de modèles économiques (B2C à B2B)
- A l'intégration de technologie de fusion de données multi sources
- Des chaînes de production géonumériques qui, intègrent et fusionnent tous les types de données, imagerie satellite, open data et 600 millions de données capteurs, notamment les informations des caméras des véhicules utilisant le système TOM TOM.
- La mise en place de plateformes complète de services de géolocalisation

BUSINESS GEOGRAPHIC, services géographiques pour le secteur public.

Créée en 2001 et désormais filiale du groupe CIRIL, Business Geographic est un éditeur français important dans le domaine de l'information géographique. En lançant l'un des premiers systèmes d'information géographique clé en main, la société a largement contribué à démocratiser l'usage de l'information géographique en France.

Les clés de la réussite : enrichissement d'une plateforme géomatique transverse de modules métiers spécifiques,

Tout comme la société TOMTOM, Business Geographic est un exemple typique d'acteur géonumérique ayant augmenté sa proposition de valeur métier au fil du temps pour répondre à de nombreux besoins de structures publiques.

Ces exemples illustrent une direction d'évolution possible pour les acteurs traditionnels de la filière. Elle correspond à :

Développer ses capacités numériques, soit en propre, soit en s'associant à un acteur numérique. L'objectif est de maîtriser le traitement de grands volumes de données, c'est à dire la capacité à construire et manager une infrastructure de données et les algorithmes permettant de transformer, fusionner et extraire une information d'intérêt.

Augmenter son expertise métier, probablement en se focalisant sur son ou ses secteurs économiques de prédilection et en étant capable de produire une panoplie d'indicateurs géonumériques métiers. Que l'on opère dans le domaine des collectivités, de la construction ou de l'énergie, un recrutement de personnes issues de collectivités, construction ou énergie est probablement nécessaire, si ce n'est pas déjà le cas, pour augmenter cette expertise métier.

- **DES ACTEURS FRANÇAIS SE DEVELOPPENT A L'INTERNATIONAL**

Les acteurs suivants travaillent notamment à augmenter leur couverture géographique

GEOFIT naît en 1968 sous le nom de Godard et Launay, un cabinet Géomètre-Expert à Nantes est passé en cinq décennies au statut de grand groupe aux activités internationales, avec près de 1400 collaborateurs.

Après 2020, GEOFIT saisit le virage du géonumérique, en développant ses compétences en 3D territoriale, en topographie et cartographie aérienne par l'intermédiaire de SINTEGRA, en faisant l'acquisition et développant une plateforme de GéoDATA, NEOGEO. Le groupe soutient une véritable montée en compétences dans chaque maillon de la chaîne de valeur géospatiale. Parallèlement, le groupe se développe à l'international, avec 400 collaborateurs à l'international et 120 pays couverts en 2024 grâce à ses restructurations et à son développement dans ce sens. Cette couverture se matérialise par 5 agences délocalisées, et des interventions qui dépassent les frontières des territoires couverts par les agences du groupe.

Parera, entreprise également fondée en 1968, qui axe davantage ses activités sur l'application des compétences de cartographie et de topographie à la maintenance de réseaux souterrains et terrestres se développe à l'international. Alors qu'elle a récemment également fait le choix de l'innovation géonumérique, en développant une plateforme qui peut être adapté aux besoins de chaque client et en faisant l'acquisition d'outils de pointe tel que le capteur embarqué PEGASUS TWO ULTIMATE de LEICA qui réalise des cartes de points 3D, elle s'est étendue sur l'ensemble du territoire français puis à l'international sur le continent africain. En 2016, Parera rachète ILS Océan Indien qui est basée à Madagascar et intervient dans plusieurs pays au Sud du Sahara¹⁴⁹. Parera ouvre en 2018 une filiale en Côte d'Ivoire afin de poursuivre le développement de ses opérations sur le continent et fait l'acquisition du groupe marocain ETAFAT, spécialisé en études, ingénierie et topographie¹⁵⁰ en 2023. Ce qui lui permettra de renforcer son empreinte en Afrique car outre le Maroc, Etafat est implanté en Côte d'Ivoire et au Sénégal.

¹⁴⁹ <https://www.ladepeche.fr/article/2016/06/23/2370874-parera-grandit-a-madagascar-et-vise-le-marche-africain.html>

¹⁵⁰ <https://decryptageo.fr/groupe-parera-renforce-positions-continent-africain-faisant-lacquisition-groupe-marocain-etafat-creer-etafat-groupe-parera/>

RECOMMANDATION : Favoriser le dialogue entre les acteurs de l'écosystème

Soutenir le rayonnement et le développement à l'international : Fédérer l'écosystème privé susceptible de travailler à l'international (par zones cibles) et valoriser son potentiel.

Mobiliser le réseau d'aide institutionnel de soutien à l'export, en l'aidant à mieux identifier la filière géonumérique, pour améliorer les synergies de l'offre française à l'international.

• DE NOUVEAUX ENTRANTS QUI CREENT UNE VALEUR AJOUTEE NOUVELLE

Un écosystème particulièrement dynamique et compétitif s'est développé en France ces dernières années : celui du New Space. Quelques données permettent de l'illustrer : 140 entreprises créées en une décennie (2800 emplois au total). Sur cet effectif, l'aval représente plus de la moitié (53%) des créations (75 entreprises nouvelles).

La cartographie ci-dessous issue de travaux de recensement très récents menés par l'Observatoire de l'Économie Spatiale du CNES, l'illustre :

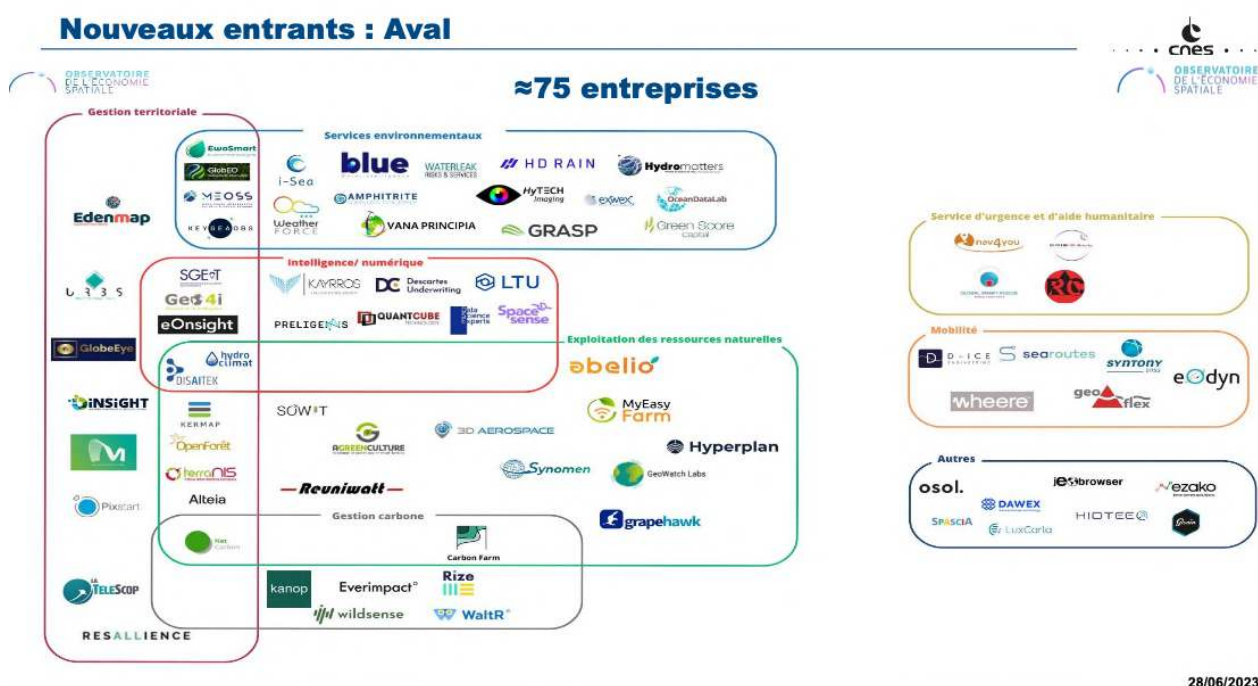


Figure 2-1-2-3 – CNES, Acteurs du NewSpace français

Au croisement du New Space et de l'économie numérique et IA, ces startups créent de nouveaux services géonumériques très innovants avec des effets d'échelle potentiels très significatifs.

RECOMMANDATION : Favoriser le dialogue entre les acteurs de l'écosystème :

Dialogue entre l'offre et la demande : Mieux faire dialoguer ensemble la demande (publique, privée) / et l'offre (PME, Startup, Grands groupes), susciter les collaborations pour élaborer des offres en commun PME/ETI et startups.

L'innovation concerne la fusion de données et l'intelligence artificielle

Quelques exemples témoignent de leur caractère innovant et de leurs ambitions et réalisations :

- **PROMETHEE EARTH INTELLIGENCE, détection de changement.** Créée en 2020 et bénéficiant d'un support important du CNES, de la BPI, de l'Agence spatiale européenne et de la communauté européenne, la société s'est fixée comme objectif de mettre une constellation de 20 nanosatellites (JAPETUS) d'ici 2026 et permettant l'observation d'une zone géographique toutes les 40 minutes
- **UNSEEN LABS, surveillance des activités maritime illégales.** Créée à Rennes en 2015, UNSEEN LABS a développé une technologie utilisant la détection de signaux radiofréquences pour géolocaliser les navires et lutter contre les activités illicites en mer. Disposant d'une constellation d'une dizaine de satellites aujourd'hui et a pour objectif un déploiement d'une vingtaine d'ici 2025.
- **MURMURATION, Indicateurs environnementaux de précision.** Créée à Toulouse en 2019, MURMURATION produit des indicateurs environnementaux de précision dans le domaine du climat, de la biodiversité, de la gestion de l'eau ou sur l'impact des activités humaines à partir de la fusion de données diverses (observation de la terre, mesure par drone nautique ou de ruche connectée...).
- **VORTEX.IO, Indicateurs géonumériques hydrologiques.** Créée à Toulouse en 2019, VORTEX-IO a construit un service reposant sur un réseau de capteurs multimodes de surveillance hydrographique et d'une plateforme d'exploitation de ces données. Autonome en énergie, la microstation LIDAR permet d'obtenir une précision centimétrique de la hauteur des cours d'eau. La société fournit un service quasi automatisé, en temps réels d'indicateurs géonumériques.

Ces exemples sont représentatifs des acteurs innovants de l'information géonumériques. Ils mettent à disposition ou exploitent un ou plusieurs flux de données produits de manière continue. En fonction des besoins, ces flux de données sont fusionnés pour construire des indicateurs métiers disponibles en quasi-temps réel sur une plateforme.

Ils préfigurent le format de la grande majorité des services géonumériques d'avenir.

RECOMMANDATION : Encourager l'innovation & ouverture de l'écosystème

Souligner et renforcer le positionnement "Valeur ajoutée métier" et tech du secteur : Renforcer les ponts avec les écosystèmes des startups Tech du numérique et du New Space.

B. Le poids économique du secteur du géonumérique en France

1. L'évolution de l'emploi dans la filière

Le secteur de la géographie est un secteur de très grande expertise, mais qui peine à attirer les profils de l'économie numérique pour réussir sa transformation comme tous les secteurs de l'économie. Selon les estimations précédentes¹⁵¹, les 1500 sociétés françaises de l'offre emploieraient environ **50 000 personnes**. A ce nombre il faut ajouter les emplois au sein des sociétés et entités publiques utilisatrices (gestionnaire d'infrastructure, collectivités, métropoles, agence publique comme l'IGN, le BRGM ou le CNES) soit a minima 10 000 personnes (effectifs cumulés des agences publiques), mais plus probablement **20 000 personnes**. Cela représente environ **70 000 emplois directs**.

• LES COMPETENCES CLES DE LA FILIERE

La filière ne possède pas aujourd'hui de référentiel en propre de compétences clés. Néanmoins, plusieurs sites¹⁵² et études permettent de définir les compétences particulières d'un spécialiste géonumérique, à la croisée de la géographie, de l'informatique et du secteur dans lequel il évolue.

Mission	Métier à la croisée de la géographie et de l'informatique. Expert en manipulation de données et analyse spatiale. Aide à la prise de décision concernant la gestion ou l'aménagement de zones géographiques Intervention dans de nombreux secteurs : <i>urbanisme, environnement, transport, énergie, marketing, défense, aménagement du territoire</i> . Utilisation de système d'information géographique (SIG), système d'information associant cartes, images aériennes et satellites, textes, statistiques...
Activités clés	Acquisition et structuration des données provenant de sources multiples. Cartographie Création, exploitation de bases de données cartographiques, associant cartes, images aériennes et satellite, texte ou statistiques. Réalisation d'études
Compétences clés	Géographie Mathématiques Informatique Expertise sectorielle

Tableau 2-2-1-1 – Caractéristiques clés d'un profil géomaticien

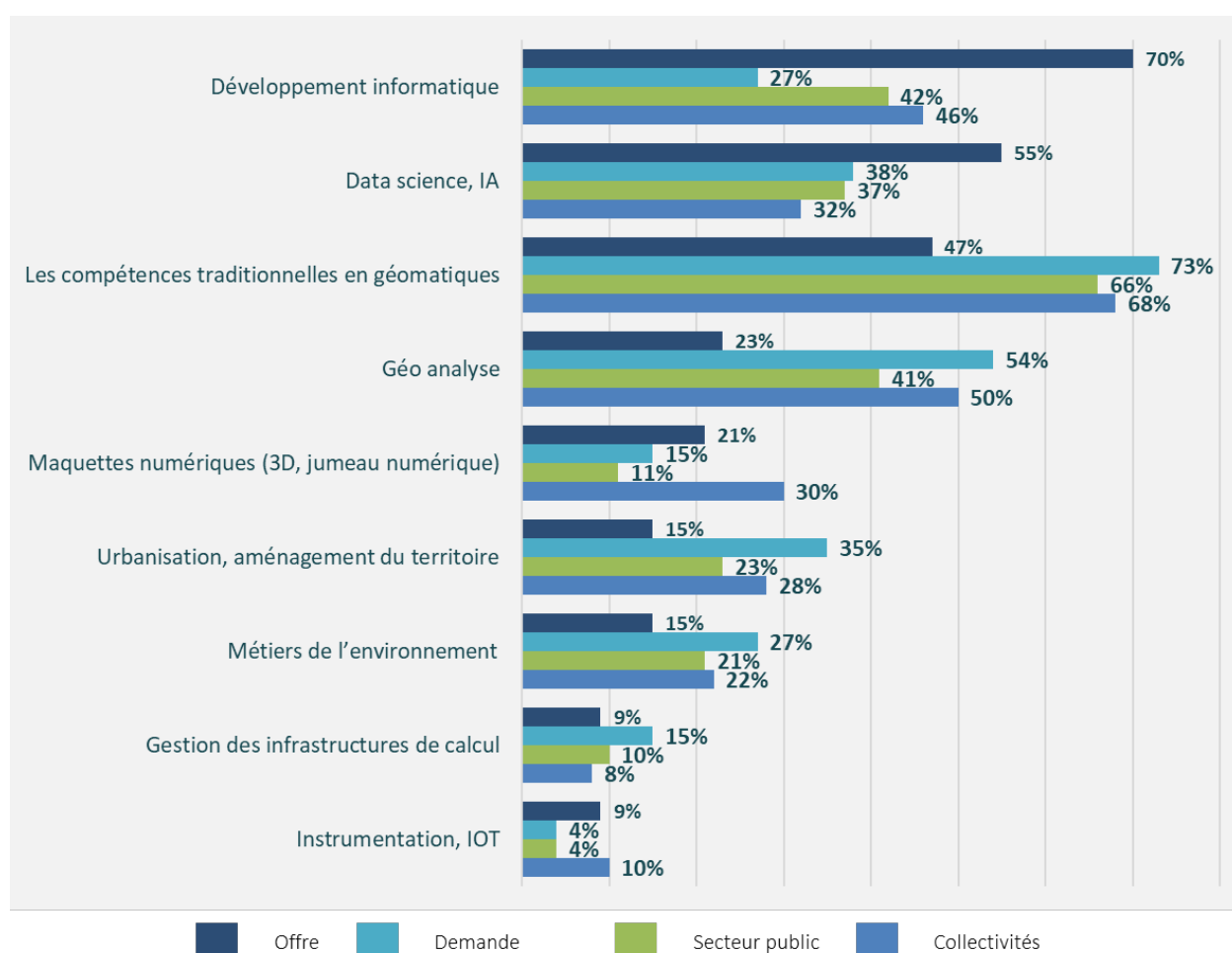
¹⁵¹ Extraction LINKEDIN

¹⁵² <https://www.onisep.fr/ressources/univers-metier/metiers/geomaticien-geomaticienne/>

Sans surprise les offres d'emploi en informatique (dont data science) et métiers sont en croissance pour les acteurs géonumériques. A l'inverse les besoins en science de la géographie diminuent. Au fur et à mesure où les modèles géographiques sont intégrés aux bibliothèques algorithmiques, ils sont utilisés de plus en plus sur étagère, ce qui réduit le besoin d'expertise géographique. Par ailleurs, les algorithmes étant de plus en plus sophistiqués au fur et à mesure qu'ils incorporent des modèles d'IA, le nombre de personnes maîtrisant leur conception diminue. C'est un processus naturel de capitalisation / réutilisation / innovation qui ne fait que s'accélérer.

Le nombre de sociétés maîtrisant ces algorithmes va diminuer régulièrement au fur et à mesure où leur usage augmentera dans services en ligne, accessibles au plus grand nombre. Il serait bon néanmoins que des acteurs européens et en particulier français figurent au nombre de ces sociétés.

Nous avons réalisé une enquête auprès de la communauté de l'Afigéo¹⁵³ et au-delà sur les besoins de



compétences de la filière. Les résultats sont les suivants :

Figure 2-2-1-2 – Besoins de recrutement des acteurs de la filière (enquête Afigéo Pour l'étude)

Pour le graphique ci-dessus, la catégorisation se fait en fonction du type de répondant :

¹⁵³ Enquête réalisée entre mai et septembre 2023, 205 répondants.

- Offre : offre de services géonumériques
- Demande : Entreprises et structures publiques consommatrices de données et applications géonumériques
- Secteur public : Structures nationales
- Collectivités : Gestionnaires de territoires

Les besoins varient sensiblement en fonction de la typologie des répondants. Les acteurs de **l'offre** (les sociétés produisant des solutions, des données et des services géospatiaux) recherchent significativement plus de compétences en **informatique** et **science de la donnée** que les autres catégories de répondants. A l'inverse ceux-ci recherchent significativement plus des compétences métiers couplées à celles de l'analyse géographique.

Les acteurs de l'offre cherchent des compétences en transformation de données géonumériques, là où les autres acteurs (public en tête) recherchent une expertise géographique et des utilisateurs de l'information géonumérique.

2. Le recrutement dans la filière

Les répondants considèrent qu'il n'y a pas assez de candidats disposant des compétences attendues. Comme dans beaucoup de secteurs économiques, un nombre insuffisant de personnes est formé chaque année et les personnes avec des compétences en géographie ne disposent généralement pas de compétences numériques. A l'inverse les personnes avec des compétences numériques ne sont pas formées à la géographie. 3 000 postes sont non pourvus chaque année. L'enjeu ici n'est pas de former des personnes avec l'ensemble des compétences, ce n'est pas possible, mais de motiver des personnes avec des compétences numériques à travailler dans des services géo numériques pour apporter leur expertise en algorithmie et infrastructures de calcul.

A titre de comparaison **le secteur numérique crée tous les trois ans le même nombre d'emplois que la totalité des emplois de la filière géonumérique en France.**

Les besoins en compétences numériques pour la filière ne vont faire qu'augmenter. Il est nécessaire d'implanter les formations géographiques au sein des formations numériques.

3. L'ouverture des formations numériques à la géographie

L'ouverture de cursus géographiques dans les formations numériques (données, algorithmes, infrastructure de calcul), mais également dans celui de la résolution de problèmes, notamment climatiques, est nécessaire. Les acteurs du géonumérique doivent former les apprenants à résoudre des problèmes nouveaux et complexes en utilisant toutes les données géolocalisées à leur disposition.

Il conviendrait de renforcer le développement de la pluridisciplinarité des équipes : rapprocher les profils disposant d'expertises métiers ou scientifique (en géographie) et de profils informatiques. Même si une

acculturation des géographes au numérique est indispensable, la filière doit surtout se concentrer pour développer des modules de formation / acculturation à intégrer aux formations numériques, de manière à permettre un dialogue entre géographes et informaticiens. C'est déjà le cas avec le Master géographies numériques organisé par les universités Lyon 2, Lyon 3 et Jean Monnet de Saint-Etienne par exemple.

L'objectif est d'ouvrir d'avantage les formations « géographiques » aux écosystèmes du numérique pour leur donner envie de travailler sur des projets géospatiaux.

RECOMMANDATION : Développer la visibilité de l'écosystème

Promouvoir la filière : pour adresser un double enjeu de visibilité et d'attractivité.

Synthèse du workshop sur l'emploi et les compétences et des entretiens

Les enseignements clés

* Les **métiers** spécialisés sur la mesure et la **manipulation de données géographiques** sont en **tension. 3 000 postes sont non pourvus aujourd'hui**. Il n'y a pas assez de personnes formées chaque année et l'attractivité de la filière est insuffisante pour susciter des vocations.

Le **numérique** déplace le centre de gravité de l'écosystème vers **l'informatique, la science de la donnée** et l'intelligence artificielle.

Il n'existe **pas de référentiel des métiers de la géographie**, adapté notamment au numérique. Les compétences géographiques ne sont pas décrites, ni comprises par les services de recrutement.

Il est surement nécessaire de renommer le métier de **géomaticien en géo data-scientiste ou géo data analyste**.

Les besoins à adresser

- Un renforcement de l'attractivité de la filière, notamment en se rapprochant des formations en numérique et en IA.
- La création d'un référentiel métier qui s'adapte aux référentiels métiers du numérique et permet d'élaborer des statistiques
 - Nouvelles nomenclatures
 - Consolidation du suivi des emplois et compétences pour la filière

Conclusion et recommandations

Toutes les évolutions mises en avant et analysées dans le rapport, doivent permettre aux entreprises du géonumérique de découvrir ou de conforter ou de compléter leurs analyses. Cela, afin de les éclairer davantage dans leurs stratégies individuelles et collectives.

Ces évolutions ont aussi des conséquences sur le positionnement stratégique de l'Afigéo et de ses partenaires.

Les recommandations que nous proposons ci-dessous et qui adressent les questions suivantes, ont vocation à aider les différents acteurs, à entamer ces réflexions stratégiques :

- L'écosystème géonumérique est-il un ensemble hétérogène ou peut-il être défini comme un regroupement économique cohérent (un secteur ou une filière) et à quelles conditions ? Si oui, comment dynamiser cette filière sur les prochaines années (horizon de 3-5 ans), dans un contexte de croissance de marché ?
- Quelles actions spécifiques, les entreprises traditionnelles de l'offre pourraient mettre en œuvre pour renforcer leur dynamisme économique et leur attractivité ?
- Comment les agences de l'Etat spécialisées autour du géonumérique, pourraient accompagner la dynamique économique des entreprises de l'offre (partenariat public-privé) ?
- Comment accélérer l'innovation dans le monde du géonumérique (favoriser le rapprochement entre PME et starts-up ; aides équivalentes pour l'innovation dans les PME et les starts-up, partenariat PME/université, etc.) ?
- Ne faut-il pas réfléchir entre tous les acteurs de l'écosystème français pour revenir à une souveraineté nationale sur l'information géonumérique ?
- comment et avec qui animer et fédérer l'écosystème du Géonumérique en France (Rôle de l'Afigéo) ?

Synthèse des enquêtes réalisées

Le profil des répondants

205 acteurs ont répondu aux enquêtes réalisées, voici leurs profils.

- **LES ACTEURS DE L'OFFRE**

59 répondants, CA moyen 16 m€, 210 employés

Une activité majoritairement orientée vers la transformation de la donnée géonumérique. Une activité encore très manuelle.

Des acteurs en pleine transformation numérique. Une volonté de développer des liens avec l'écosystème numérique pour accélérer cette transformation.

Une forte dépendance aux acteurs publics, un souhait d'améliorer le fonctionnement public / privé.

- **LES ACTEURS DE LA DEMANDE**

26 répondants, achats annuels géonumériques 1,3 m€, taille des services géographiques 13 personnes

- L'information géonumérique est gérée dans un système critique et sécurisé.
- Les usages géonumériques clés restent la cartographie des actifs ou ressources, les projets d'aménagement et dans une moindre mesure la surveillance.
- Le sujet clé d'innovation est celui de l'augmentation de la précision (notamment avec le Lidar), de la fusion de données multi sources.

- **LES COLLECTIVITES**

50 répondants, 420 000 habitants, achats géonumériques 250 k€, services géographiques 13 personnes

- Le SIG est un système collaboratif.
- Le sujet clé d'innovation est celui de l'augmentation de la précision (notamment avec le Lidar), de la fusion de données multi sources
- Un promoteur de la donnée ouverte. L'acquisition de données nouvelles est un sujet d'intérêt constant.
- Une recherche de compétences traditionnelles en géomatique. Une difficulté à attirer des compétences en géonumériques.

- **LES AUTRES ACTEURS PUBLICS**

40 répondants, achats géonumériques 400 k€, services géographiques 19 personnes

- Une activité orientée vers l'exploitation de la donnée géonumérique.
- Le sujet clé d'innovation est celui de l'augmentation de la précision (notamment avec le Lidar), de la fusion de données multi sources.
- Un promoteur de la donnée ouverte.
- Un promoteur de la filière auprès des pouvoirs publics.

- **LES STARTUPS**

17 répondants, CA moyen 2,3 m€, 210 employés

Les principaux domaines d'intervention : Secteur public, environnement, Défense et agriculture.

La majorité des répondants proposent des services dans les domaines suivants :

- o Création / entraînement de modèles d'intelligence artificielle.
- o Création de modèles de détection automatique d'objets d'intérêt à partir de la labellisation effectuée.
- o Enrichissement attributaire assisté / fusion de données.

Les technologies clés pour ces acteurs, citées par ordre d'importance décroissante :

- o La fusion de données multi sources
- o Le traitement d'images par intelligence artificielle
- o La détection de changement, la géo intelligence temps réelle.
- o L'accès à l'information par l'intermédiaire de plateformes numériques)

L'innovation concerne la fusion de données et l'intelligence artificielle

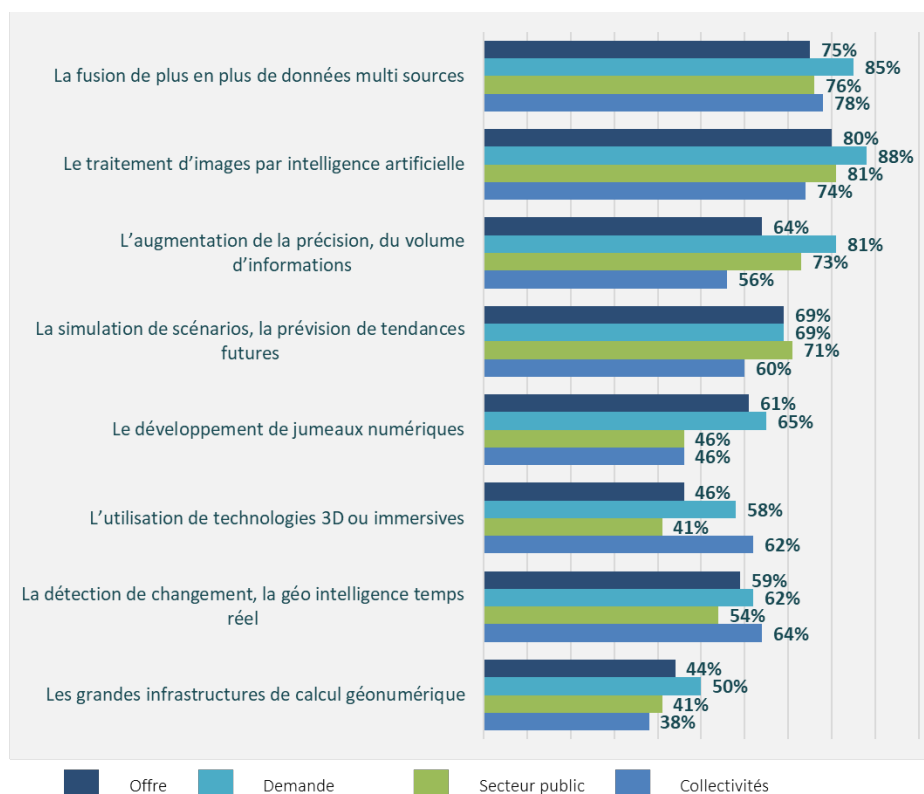


Figure 2-3-2-1 – Besoins d'innovation des acteurs de la filière (enquête Afigéo pour l'étude)

Les sujets principaux d'innovation sont communs à tous les acteurs : un **volume croissant** de données et une **utilisation d'algorithmes** de plus en plus évolués. Cela permet d'améliorer la précision des cartes, celle des prévisions et de détecter des changements le plus rapidement possible pour anticiper une crise. Ces besoins sont directement corrélés avec l'amélioration de la précision des capteurs et la fourniture de plus de données à coût constant.

Le développement de jumeau numérique est un besoin beaucoup plus important chez les acteurs privés de la demande que chez les acteurs publics. Cela correspond probablement au fait que ce jumeau est plus simple à construire pour un acteur industriel avec un seul type d'actif que pour un acteur public multi actifs. Aujourd'hui la **3D** est importante essentiellement pour les **collectivités** qui s'adressent probablement à un public plus large, plus sensible à ce genre de représentation.

L'**infrastructure de calcul** est un sujet essentiel pour les acteurs privés de la **demande**, ce qui pourrait signifier qu'ils intègrent déjà significativement **plus de données** (Lidar par exemple) que les acteurs publics par exemple.

La mise à disposition de données ouvertes est un sujet des acteurs publics

Entre intérêt réel et obligation, le débat sur les données ouvertes est marqué par de **fortes différences** entre les **entreprises de la demande** et le service **public**. Même si le débat est difficile à trancher, nous constatons par exemple plus de **80 %** des répondants de l'enquête réalisée **utilisent des données**

ouvertes. Mais là où 80% des acteurs publics mettent à disposition ces données, **seulement 40% des entreprises de la demande le font également.**

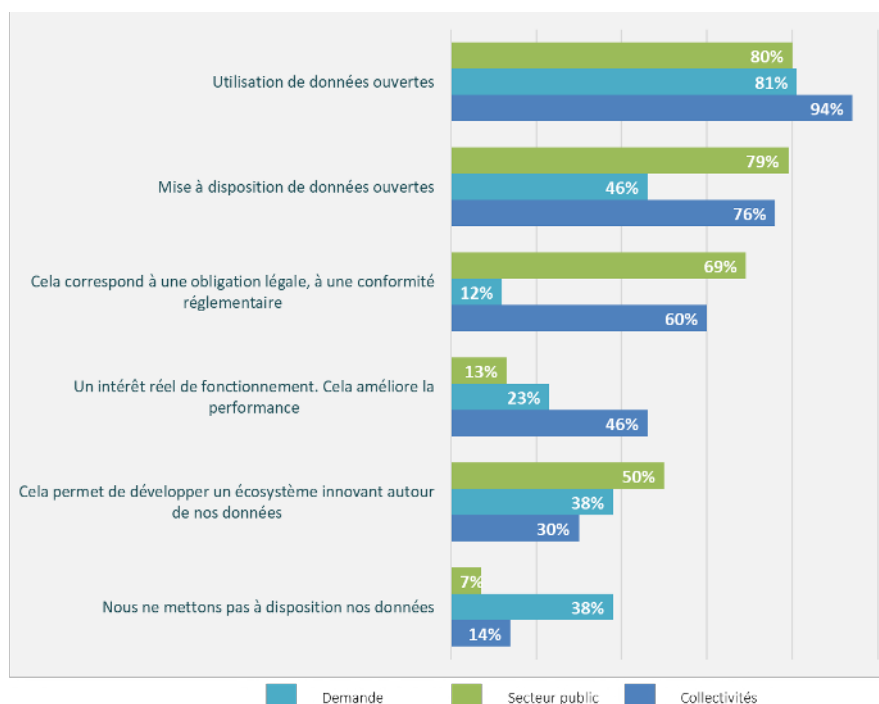
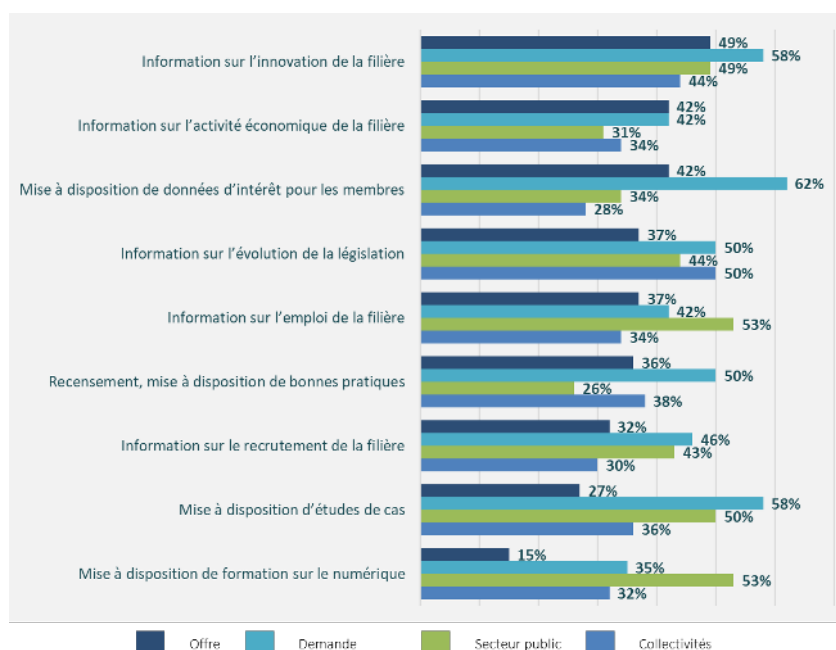


Figure 2-3-2-2 – Utilisation de données ouvertes (enquête Afigéo pour l'étude)

La mise à disposition correspond à une obligation légale pour les acteurs publics, mais pas pour les acteurs privés. Pour autant une **partie significative des répondants** (un tiers de collectivités, 40% des acteurs de la demande et la majorité des services publics) s'accordent à dire que cela permet **d'accélérer l'innovation**. Pour plus de 40% des collectivités, cela permet même d'améliorer le fonctionnement au quotidien. Un effort important reste à faire pour les entreprises pour mettre à disposition des données à hauteur de leur consommation.

Un observatoire pour informer



La création d'un observatoire doit donner lieu à **la mise à disposition d'informations** pour les membres sur des sujets variés. Au moins un tiers des membres est intéressé quel que soit le sujet proposé : *bonnes pratiques, données d'intérêt, études de cas, recrutement, etc...*

Les acteurs de la demande sont souvent les plus intéressés quel que soit le sujet.

Le secteur public est plus intéressé par les formations que les autres acteurs.

Les collectivités et les acteurs de l'offre sont également intéressés quel que soit le sujet d'information.

Étonnamment la **formation numérique** intéresse peu les acteurs de la filière, alors qu'il s'agit probablement du sujet de **transformation le plus important** de la filière.

Évaluation du poids économique de la filière en France

Pour répondre à cette question, trois méthodes d'évaluation sont proposées pour évaluer son **poids économique** (ce que les entreprises de la filière génèrent comme revenus) et son **impact économique** (ce que les entreprises qui achètent des informations et des services géospatiaux génèrent comme gains de productivité ou de business additionnel et les gains économiques collectifs plus larges pour les citoyens et les collectivités publiques).

En synthèse de ces 3 méthodes, la taille du marché géospatial français représente aujourd'hui :

- Des revenus cumulés compris entre **6 et 11 Mds€**.
- Un impact sur l'économie française compris entre **138 Mds€**, (4,9% du PIB) et **253 Mds€** (9% du PIB).

La filière française regroupe environ **1 500 entreprises françaises** (soit environ **50 000 personnes**) et près de **500 entreprises étrangères** (soit environ **20 000 personnes** de plus) qui proposent produits et services géospatiaux à près de **400 sociétés françaises** (dont un tiers d'organismes publics).

Une première méthode basée sur des études de marchés par segment

Plusieurs études permettent de réaliser une première estimation de la taille du marché géospatial français. Elles sont résumées dans le tableau suivant.

Segment	Taille (m€)	France	Source
Surveillance et observation	1 362		
Segment LIDAR satellite	60		Business France 2019
Segment Ground penetrating radar	61		Hypothèse
Segment Optical satellite	430		Euroconsult, 2020
Segment Radar satellite	811		Euroconsult, 2020
Segment satellite hyperspectral			
Positionnement	6 630		
GNSS	6 630		ESA, 2018
Observation de la Terre	270		
Drones d'observation	150		DGE, 2019
Lidar	60		Business France 2019
Imagerie aérienne	60		Business France 2019
Data visualisation et analyse	3 088		
Geospatial analytics			
Géomatique	2 100		DGE, 2017
GIS software			
Géomètres	988		OGE
TOTAL	11,3 Mds€		

Une seconde méthode basée sur une approche comparative

Nous pouvons également réaliser une seconde estimation à partir d'hypothèses sur la part du segment géospatial dans l'économie numérique en France.

Selon une étude réalisée par les Nations Unis¹⁵⁴, la part de l'économie numérique dans le produit intérieur brut d'un pays (PIB) varie entre **4,5% et 15,5%**. La différence entre les deux valeurs est la suivante.

- Le chiffre le plus petit (**4,5%**) correspond à une **définition étroite** de l'économie numérique, c'est-à-dire les acteurs de l'offre uniquement : infrastructures numériques et production de services numériques.
- Le chiffre le plus grand (**15,5%**) correspond à une **définition large**, c'est-à-dire l'offre et l'impact des services numériques sur l'ensemble des secteurs économiques. Cela inclut les acteurs de l'offre et de la demande. Le terme utilisé est celui de l'économie numérisée.

La taille du PIB mondial¹⁵⁵ est estimée à **96 000 Mds€** en 2022. Avec cette hypothèse et la précédente, nous pouvons estimer que le poids de l'économie numérique mondiale est de l'ordre de **4 300 Mds€** et le poids de l'économie mondiale numérisée ou l'impact du numérique sur l'économie est de **14 900 Mds€**.

La taille du PIB de la France¹⁵⁶ est estimée de **2 639 Mds€** en 2022. Avec cette hypothèse et la précédente, nous pouvons estimer que le poids de l'économie numérique française est de l'ordre de **118 Mds€** et le poids de l'économie française numérisée ou l'impact du numérique sur l'économie française est de **409 Mds€**.

Par ailleurs, une étude réalisée par la filière numérique française NUMEUM¹⁵⁷ estime la taille de cette filière de services à **61 Mds€** en 2022. Cette valeur est différente de celle des Nations Unies, car elle n'englobe que les services numériques alors que l'ONU comptabilise également la fabrication de composants ou d'appareils électroniques et les télécommunications. Si on ajoute la taille du secteur des

¹⁵⁴ Rapport sur l'économie numérique, CNUCED, 2019

¹⁵⁵ Wikipedia

¹⁵⁶ INSEE

¹⁵⁷ numeum.fr/actu-informatique/bilan-2022-et-perspectives-2023-du-secteur-numerique-75-de-croissance-attendue-en

Télécommunications en France qui est de **36 Mds€** en 2022¹⁵⁸ et celle du secteur électronique¹⁵⁹ qui était de **15 Mds€** en 2020, on obtient une taille de filière numérique de **112 Mds€**, très proche de l'estimation réalisée avec les hypothèses des Nations Unies.

Par ailleurs, nous avons calculé précédemment que la taille mondiale du marché géospatial s'élevait à **8,8 %** de la taille de l'économie numérique.

Avec ces hypothèses nous pouvons estimer que la taille de l'économie géospatiale en France est de l'ordre de **10 Mds€**, ce qui est très proche de la première estimation. Nous pouvons également en déduire que l'impact global des activités géospatiales sur l'économie française peut être estimé à **35 Mds€** avec les mêmes hypothèses.

Une troisième méthode basée sur le moissonnage de sociétés

Nous avons réalisé un travail de moissonnage de données de sociétés depuis la base de données LINKEDIN. Cette extraction a été faite à partir d'une recherche des mots clés suivants et limitée à une zone géographique française.

¹⁵⁸ ARCEP

¹⁵⁹ www.conseil-national-industrie.gouv.fr/comites-strategiques-de-filiere/la-filiere-industries-de-l-electronique

Catégorie	Mots clés utilisés
GEOGRAPHIE	<i>Géographie, géomètre, information géographique, topographie, information géographique, geospatial company</i>
GEOSPATIAL	<i>geospatial solution, GIS solution, geospatial intelligence solutions, solution logicielle, jumeau numérique, BIM, maquette, 3D, immersif</i>
USAGES	<i>Location based services, transport, logistique, flotte, fleet, livraison, rail, énergie, électricité, pétrole, gaz, gas, environnement, eau, forêt, forest, water, tree, arbre, département, région, gouvernement, gouvernement, public, collectivité, agence, urban, city, cities, ville, municipal, urbain, agriculture, agricole, culture, plant, eau, defense, sécurité, security, militaire, battle, bataille, risk, risque, hazard, catastrophe, cyclone, inondation, flood, secheresse, feu, fire, incendie, construction, chantier, génie civil, btp, bâtiment, bâti, maison, immeuble, building, santé, medical, health, maladie, épidémie, commerce, marketing, retail, ocean, littoral, coast, cote, poisson fish, water, iceberg</i>
TECHNOLOGIE	<i>Radar satellite, optical satellite, drone, uav, aerial data, M2M, IOT, sensor, capteur, instrumentation, internet des objets, internet of things, gnss, gps, positionnement, indoor mapping, galileo</i>
INTELLIGENCE ARTIFICIELLE	<i>Geospatial deep learning, géospatial intelligence artificielle, geospatial artificial intelligence, geospatial machine learning, computer vision, natural language</i>
TACHE / PROCESS	<i>Extracting insights, application development, data service, consultancy, business intelligence, map making</i>

Tableau 18 – Liste des mots clés utilisés pour le moissonnage LinkedIn

Cette première extraction fournit un ensemble de **3 500 sociétés** représentant un peu plus de **2,6 millions** de personnes qui constituent à priori l'ensemble des acteurs de l'offre et de la demande en données, solutions et services géospatiaux. Le tableau suivant présente les pays d'origine des sociétés qui composent 90% de ce panel.

Pays d'origine	Nombre de sociétés
FRANCE	2 360 (70%)
USA	380 (10%)
ROYAUME UNI	70 (2%)
INDE	60 (2%)
CANADA	60 (2%)
ITALIE	30 (1%)
AUSTRALIE	30 (1%)
ALLEMAGNE	20 (1%)

Tableau 19 – Nombre de sociétés par pays

Selon ce panel, **2 360 sociétés françaises** et près de **1 200 sociétés étrangères** interviennent sur le marché français. En fonction de leurs activités, nous avons classé l'ensemble de ces sociétés en deux catégories : les acteurs de l'offre dont les activités principales sont des fournir des données, des solutions ou des services géospatiaux à destination des acteurs publics ou privés qui constituent eux les acteurs de la demande.

Le tableau suivant présente les 10 acteurs français (en termes d'employés déclarés sur LINKEDIN) les plus importants de l'offre et de la demande.

N°	Acteur de l'offre	Acteur de la demande
1	DASSAULT SYSTEMS (Données, solutions)	ORANGE (infrastructure réseau)
2	CNES (Données, solutions)	SNCF (infrastructure réseau)
3	IFREMER (Données, solutions)	MICHELIN (Automobile)
4	METEO France (Données, solutions)	LA POSTE (Transport)
5	AIRBUS DEFENSE & SPACE (Données, solutions, technologies)	MINISTERE DES ARMEES (Public)
6	BRGM (Données, solutions)	BOUYGUES CONSTRUCTION (BTP)
7	GEOFIT (Données, solutions)	GEODIS (Transport)
8	IGN (Données, solutions)	MINISTERE DE L'INTERIEUR (Public)
9	CLS (Données, solutions)	ENEDIS (infrastructure réseau)
10	IX BLUE / EXAIL (Technologies)	SNCF RESEAU (infrastructure réseau)

Tableau 20 – Principaux acteurs français de l'offre et de la demande

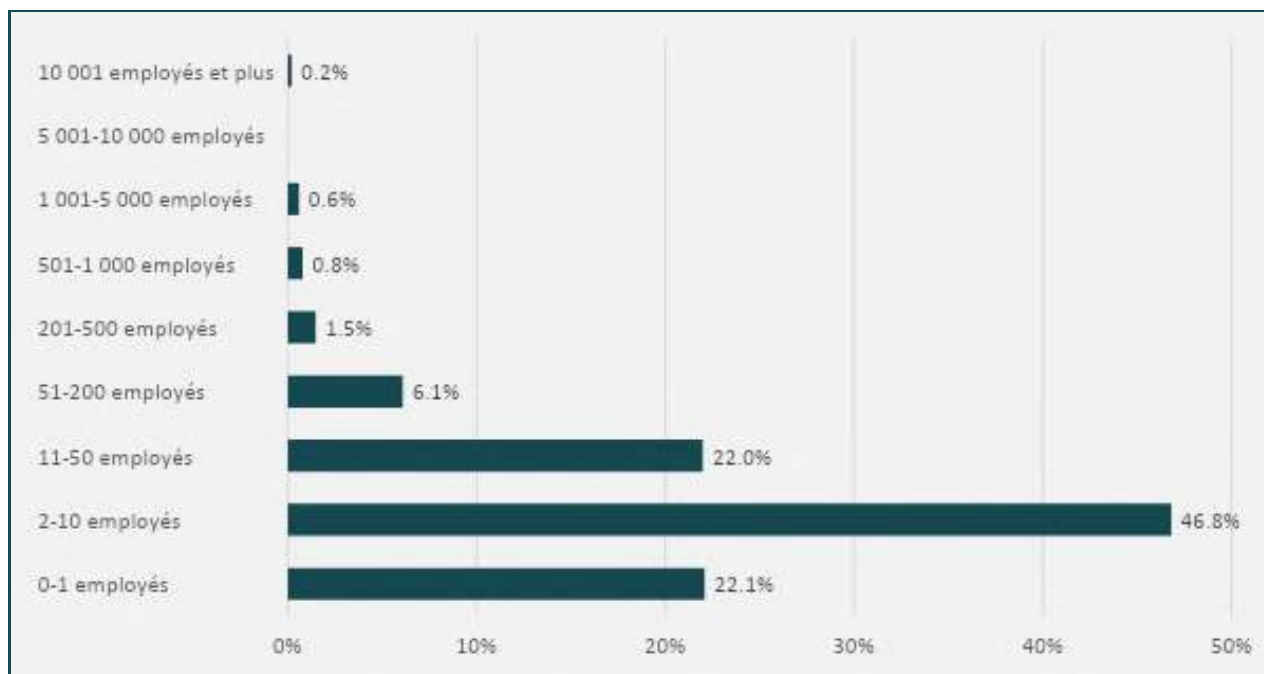
Les grandes agences publiques, productrices de données et de services sont les acteurs de la filière les plus importants en France. Du côté de la demande, ce sont les gestionnaires de réseau qui sont les plus grands acteurs consommateurs de données et services.

LES ACTEURS DE L'OFFRE

1 530 sociétés françaises et **490 sociétés** de 7 autres pays de notre tableau précédent composent le panel des acteurs de l'offre. Ces nombres sont très proches de ceux du Royaume-Uni¹⁶⁰ et des Pays-Bas¹⁶¹. Cela représente un nombre de personnes proche de **52 000 personnes** pour les sociétés françaises. Le tableau suivant fournit la répartition des sociétés françaises de l'offre par taille d'entreprise.

¹⁶⁰ Geospatial Economy, UK sector report, 2022

¹⁶¹ Netherlands geolocation economy report, 2021



En moyenne les sociétés françaises emploient une **trentaine de personnes** et possèdent une croissance annuelle moyenne de **22 %**, ce qui est supérieur à la croissance mondiale du marché géospatial qui se situe entre 10% et 15% en fonction des études¹⁶².

Pour évaluer le poids économique du secteur, nous avons pris comme hypothèse le chiffre d'affaires moyen réalisé par une personne travaillant dans la filière. Pour obtenir ce chiffre d'affaires moyen, nous nous sommes basés sur les résultats de l'enquête réalisée dans le cadre de cette étude. Le tableau suivant présente ce chiffre d'affaires moyen par type d'entreprise.

Code APE	Nombre de sociétés considéré	CA / société	CA / employé
5829C, 6201Z	14	17 000 000 €	123 000 €
6202A, 6202B	12	15 000 000 €	77 000 €
6311Z	6	1 360 000 €	139 000 €
7022Z	4	160 000 €	97 000 €
7112A, 7112B	12	10 200 000 €	72 000 €

Tableau 21 – CODE APE des entreprises

¹⁶² Geobuizz report, 2022, Geospatial market, marketsandmarkets, 2021

Une moyenne pondérée de ce tableau nous donne un chiffre d'affaires moyen par employé de 98 000 €. Avec cette hypothèse, le poids de la filière géographique française serait de **5,2 Mds€** pour les sociétés uniquement françaises. Ce résultat doit être complété par trois éléments :

- Une part du chiffre d'affaires réalisée par les **490 sociétés étrangères** opérant également en France. Ces sociétés regroupent également 52 000 personnes et génèrent également 5,2 Mds€ de chiffre d'affaires dont une partie en France. Par exemple une société comme ESRI réalise un peu moins de 5% de son chiffre d'affaires annuel en France.
- Une part du chiffre d'affaires de la société **Dassault Systèmes** qui n'est pas comptée dans le calcul précédent compte tenu de son poids. En effet la société a réalisé en 2022, un chiffre d'affaires de 5,6 Mds€ dont au moins 9% dans les solutions de gestion des infrastructures et des villes¹⁶³.
- Une part significative du chiffre d'affaires de certaines entreprises pratiquant l'optimisation fiscale, est sous-estimée : exemple de Google (dont Google Maps et Waze) dont les revenus européens sont logés en Irlande.

Avec ces trois hypothèses supplémentaires, le poids économique de la filière en France est supérieur à **6 Mds€**, ce qui est un chiffre cohérent avec d'autres pays européens (Royaume-Uni ou Pays-Bas) par exemple. En pondérant par la taille relative des économies, on trouve des résultats similaires (hors effets multiplicateurs).

¹⁶³ Dassault Systemes, rapport annuel 2022

► afigéo ◀

L'Afigéo (Association Française pour l'information géographique) fédère et anime les professionnels du géonumérique, promeut le secteur en France et à l'international et représente la filière et ses différents acteurs et réseaux auprès des instances nationales

Afigéo - 73 avenue de Paris – 94165 Saint-Mandé Cedex – France

www.afegeo.asso.fr – contact@afegeo.asso.fr

Tél : +33 1 43 98 82 62

