

**allenviSolutions**

● **Jumeaux numériques**

2022



# Avertissement préliminaire

Cette étude a été réalisée dans le cadre du Plan d'Investissement d'Avenir attribué au Fonds National de Valorisation.



Elle est protégée par la licence de libre diffusion CC-BY-NC-SA :

- [BY] : le document et les éléments qui le composent peuvent être librement utilisés, à la condition de les attribuer à l'auteur. Pour citer ce document ou des éléments qui y figurent : *Étude « Jumeaux numériques », AllEnvi Solutions, 2022.*
- [NC] : tant que l'utilisation n'est pas commerciale, la reproduction, la diffusion, la modification sont autorisées ; sinon contacter l'auteur.
- [SA] : le partage du document ou des éléments qui le composent est soumis aux mêmes obligations.



# Sommaire

Contexte	<a href="#">p. 4</a>
Définitions	<a href="#">p. 9</a>
Applications, usages, adoption	<a href="#">p. 18</a>
Enjeux et limites	<a href="#">p. 26</a>
Jumeaux numériques et environnement	<a href="#">p. 30</a>
Bibliométrie	<a href="#">p. 35</a>
Exemple : le bâtiment	<a href="#">p. 46</a>
Annexe	<a href="#">p. 50</a>

---



**Contexte**

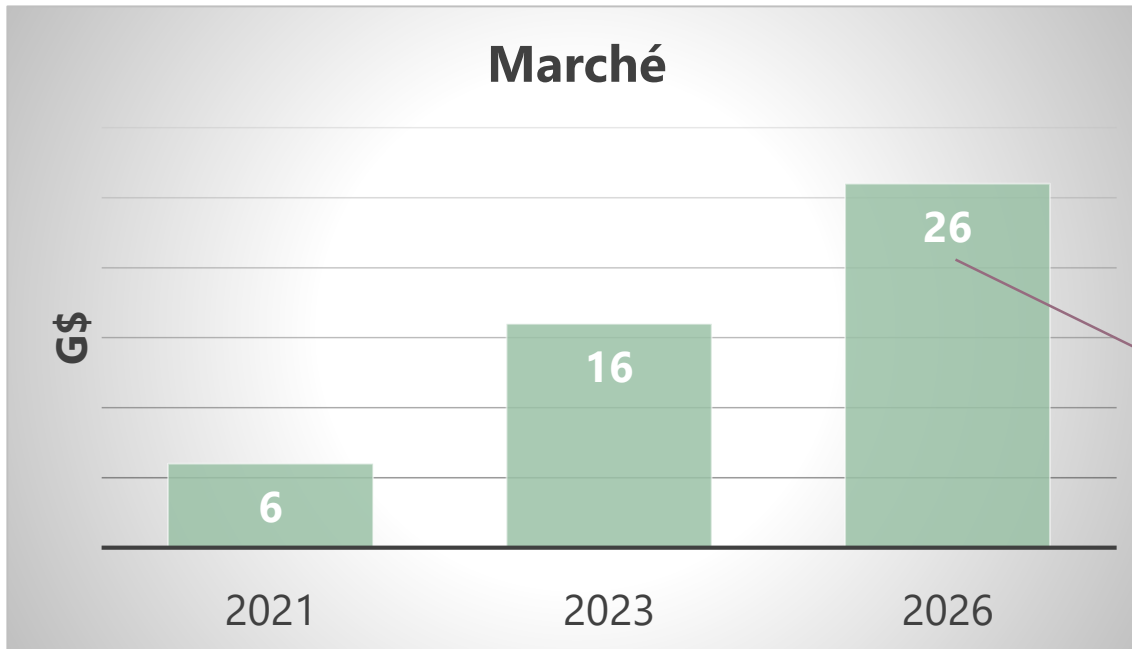


# Historique et perspectives

**2003**  
« Digital Twin »  
M. Grieves, Univ. Michigan

**2013**  
Premières applications  
industrielles

**2023**  
Tous les objets sont  
connectés



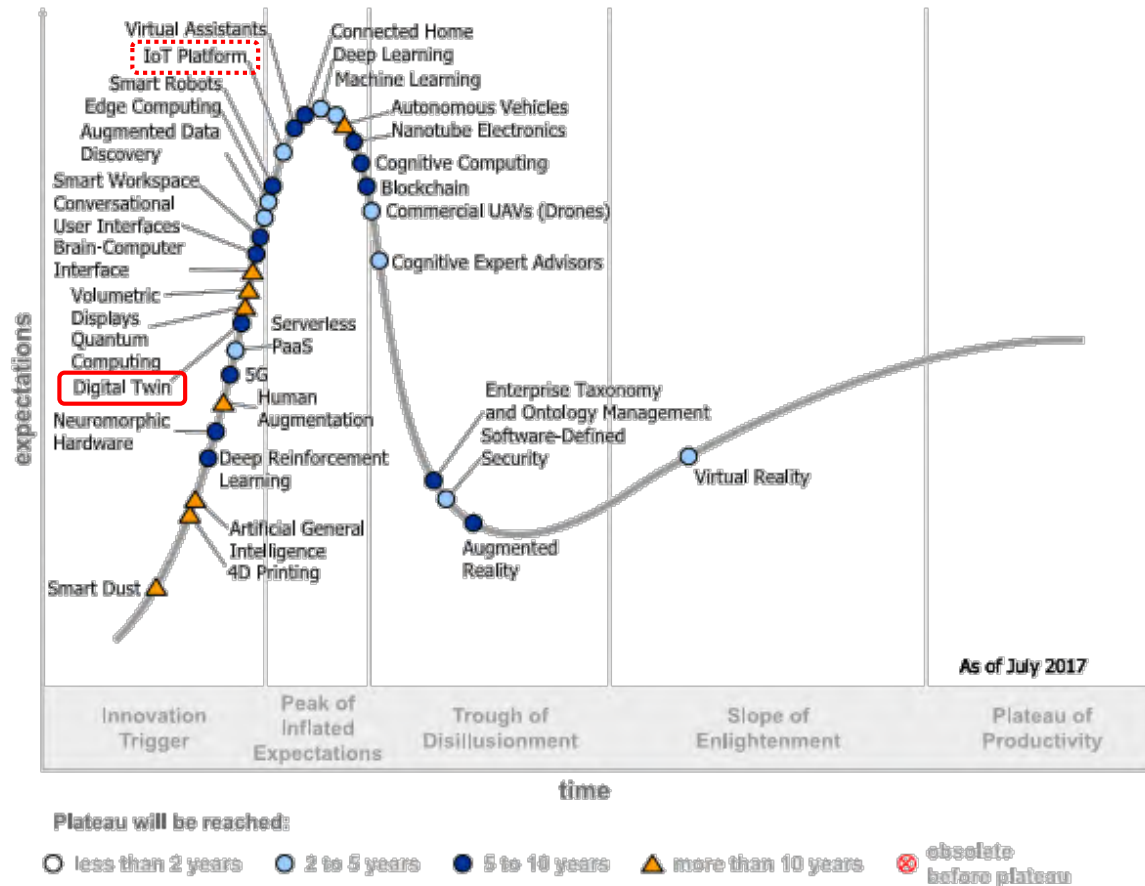
- 318 G\$ +20% / an
- >24 G objets connectés
- 85% avec jumeau numérique

Voire 48 G\$

Sources : Arnaud Perrot,  
responsable spécialité  
Génie Civil 4,0, École  
nationale supérieure  
d'ingénieurs de Bretagne  
Sud (Ensibs) ; IBM / Markets  
& Markets

# Le jumeau numérique, une technologie émergente discrète...

Figure 2. Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017



L'entreprise Gartner publie annuellement un graphique sur lequel sont positionnées les technologies émergentes. Ces technologies sont évoquées par les acteurs économiques et le graphique représente leur cheminement le long d'une courbe qui traduit l'évolution temporelle des étapes, ainsi que l'estimation du délai nécessaire avant qu'elles ne soient matures.

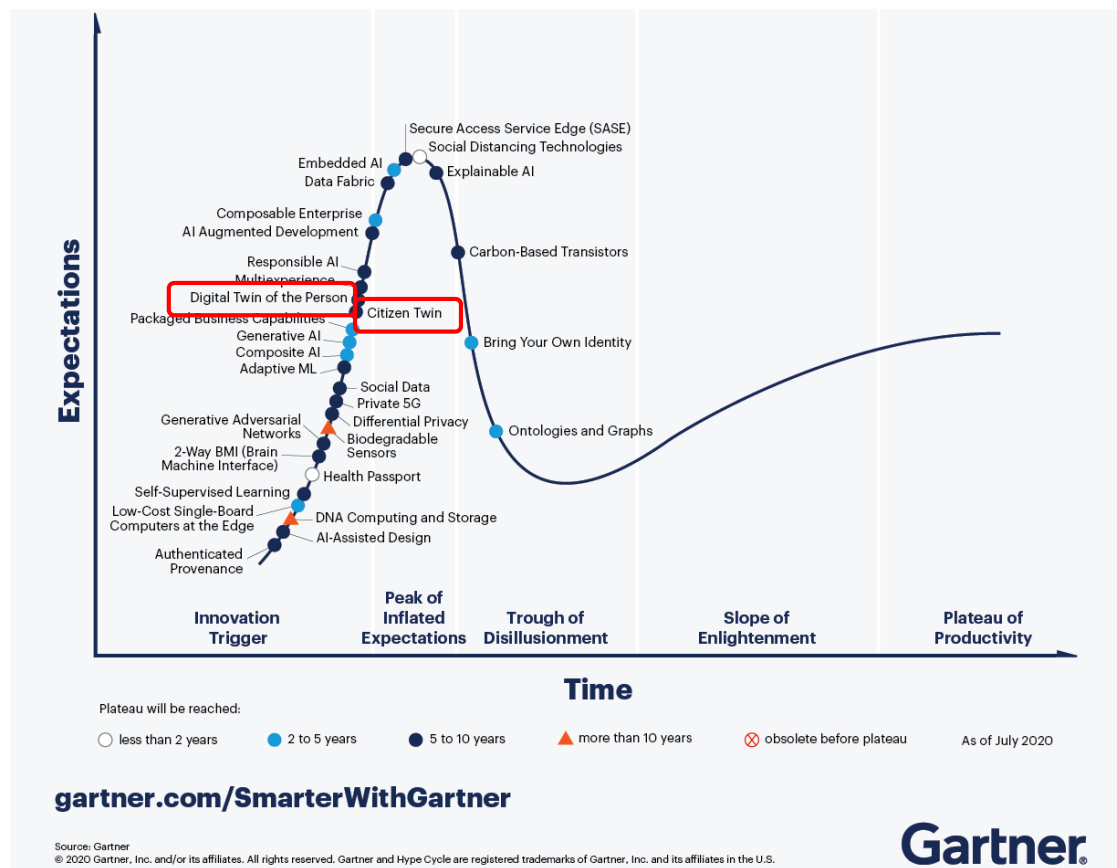
En 2015 et en 2016, le jumeau numérique n'est pas identifié parmi les technologies émergentes. Le concept le plus proche est celui de plateforme d'objets connectés, technologie multicouche qui permet d'approvisionner, de gérer et d'automatiser facilement les appareils connectés de l'Internet des objets. Cette technologie est une brique d'infrastructure du jumeau numérique.

En 2017, le jumeau numérique apparaît pour la 1<sup>e</sup> fois, et il était promis à atteindre le plateau de productivité dans les 5 à 10 ans.

En 2018, tandis que le concept de plateforme d'objets connectés amorce sa descente du pic des attentes démesurées, le jumeau numérique disparaît de cette représentation.

# ... dont certains composants se développent

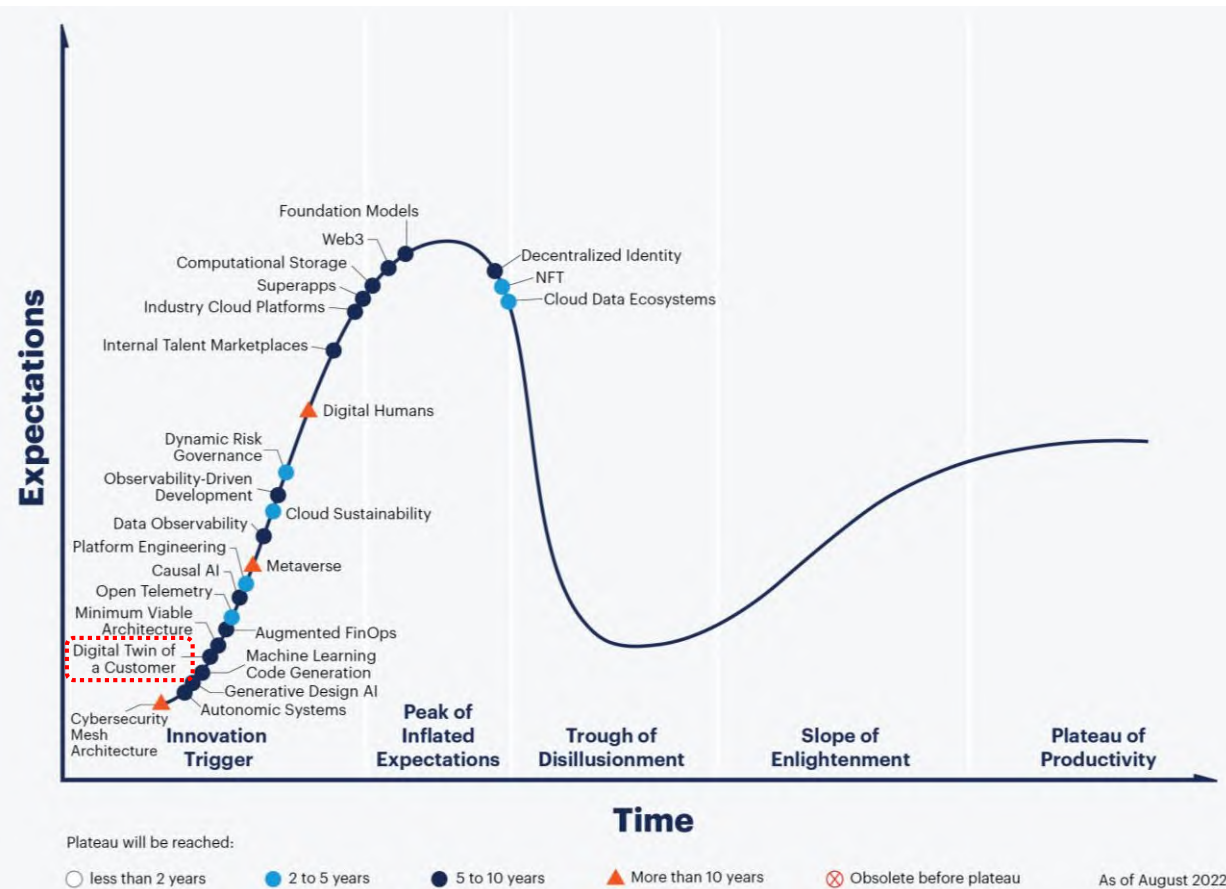
Absent aussi en 2019, le concept de jumeau numérique réapparaît en 2020, mais décliné selon une version déclinée à l'humain et une autre au citoyen :



En 2021, seul le concept de « digital humans » est placé sur la courbe ; de plus Gartner révisé son estimation et indique qu'il n'atteindrait le plateau de productivité qu'au-delà de 10 ans. À noter toutefois l'apparition du concept de « Real time incident center aaS », pour lequel Gartner prévoit un déploiement opérationnel dans les 2 à 5 ans, et qui peut être vu comme la réalisation aboutie d'un sous-ensemble d'un jumeau numérique dédié à la surveillance et maintenance d'un processus.



# Le jumeau numérique ne fait plus partie des technologies émergentes ?



En 2022, le jumeau numérique émergent n'est plus l'humain virtuel à usage médical, mais le jumeau numérique du consommateur. D'après Gartner, "A digital twin of a customer or user that can emulate and anticipate client behavior can help organizations improve customer experience and support other digital products and services."

En prolongement de ce concept, celui de jumeau numérique des concurrents, de jumeau numérique de partenaires... ?

Le jumeau numérique "technique" aurait donc passé rapidement le pic des attentes démesurées, voire la vallée de la désillusion pour atteindre bientôt le plateau de productivité...

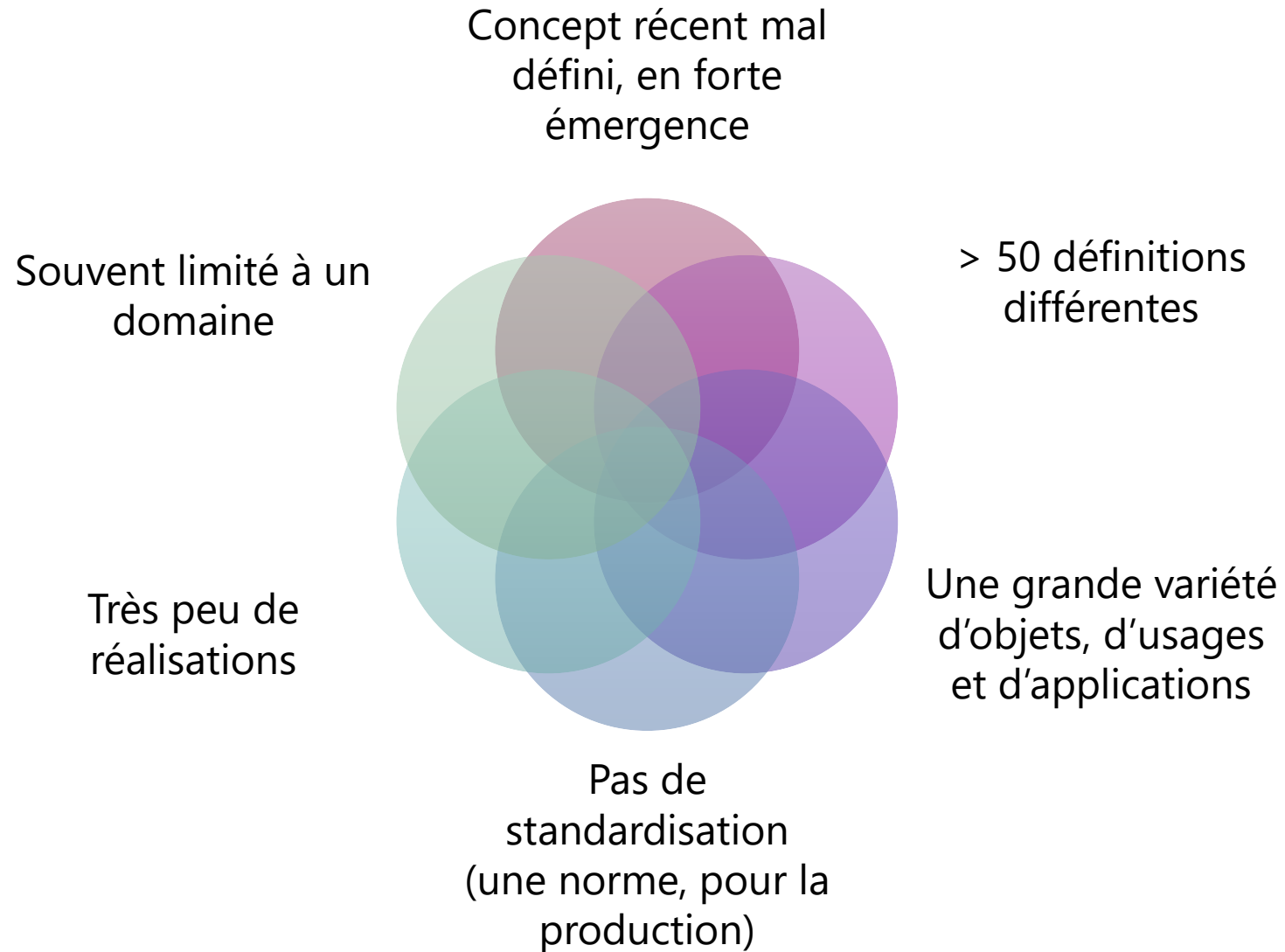
Mais il reste à définir le jumeau numérique.



● Définition



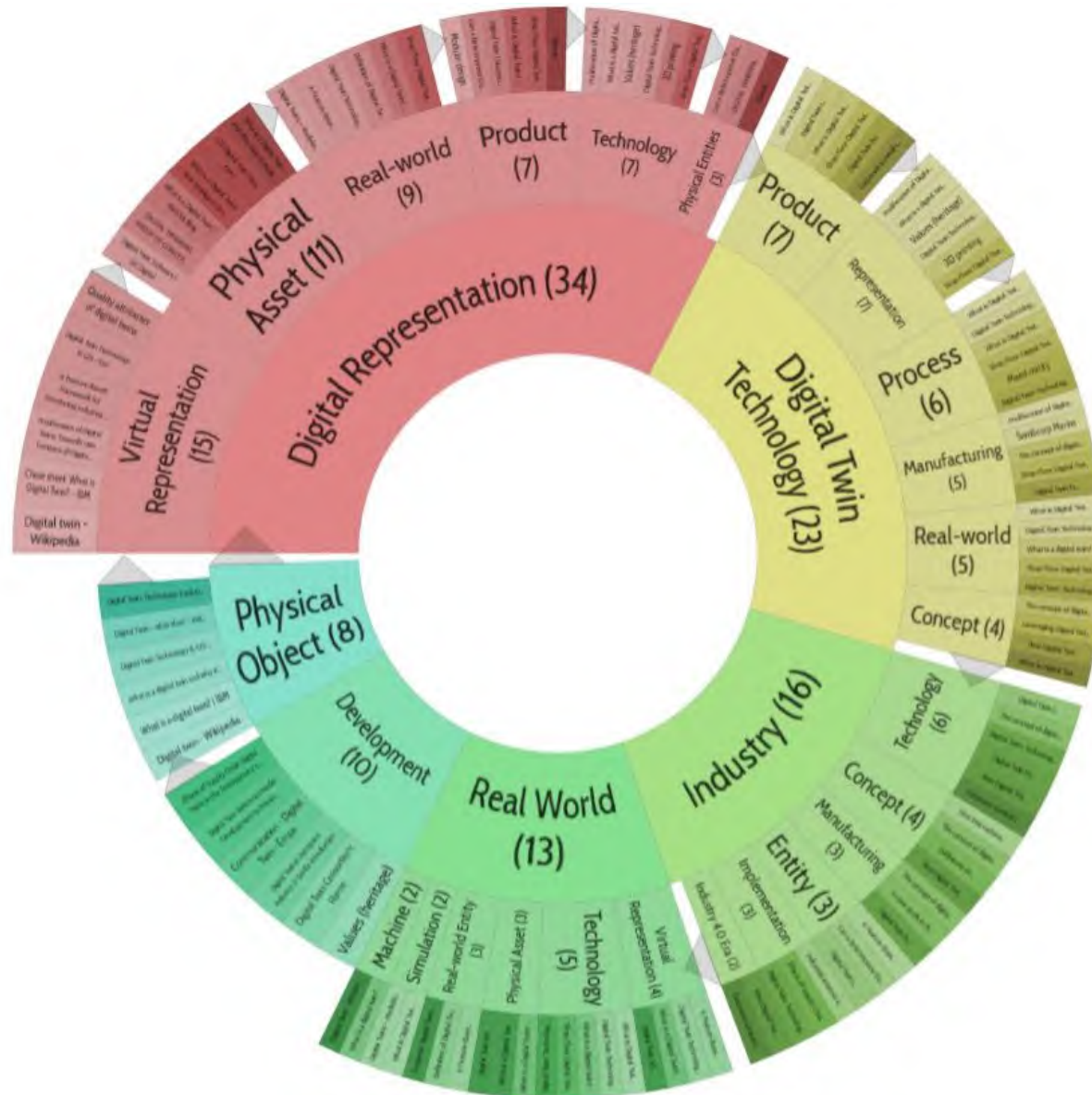
# Un jumeau numérique, qu'est-ce que c'est ?



Source : Arnaud Perrot

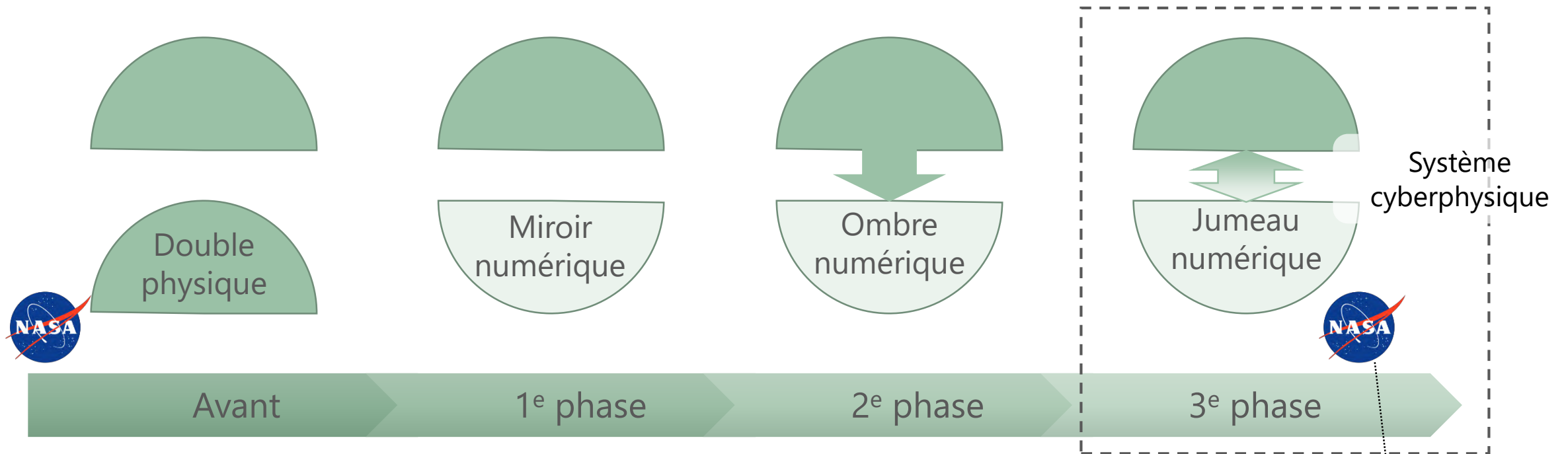
# Concepts associés au jumeau numérique

<https://search.carrotsearch.com/#/search/web/%22digital%20twin%22/pie-chart>  
 Requête «: « digital twin », effectuée le 08/07/2022



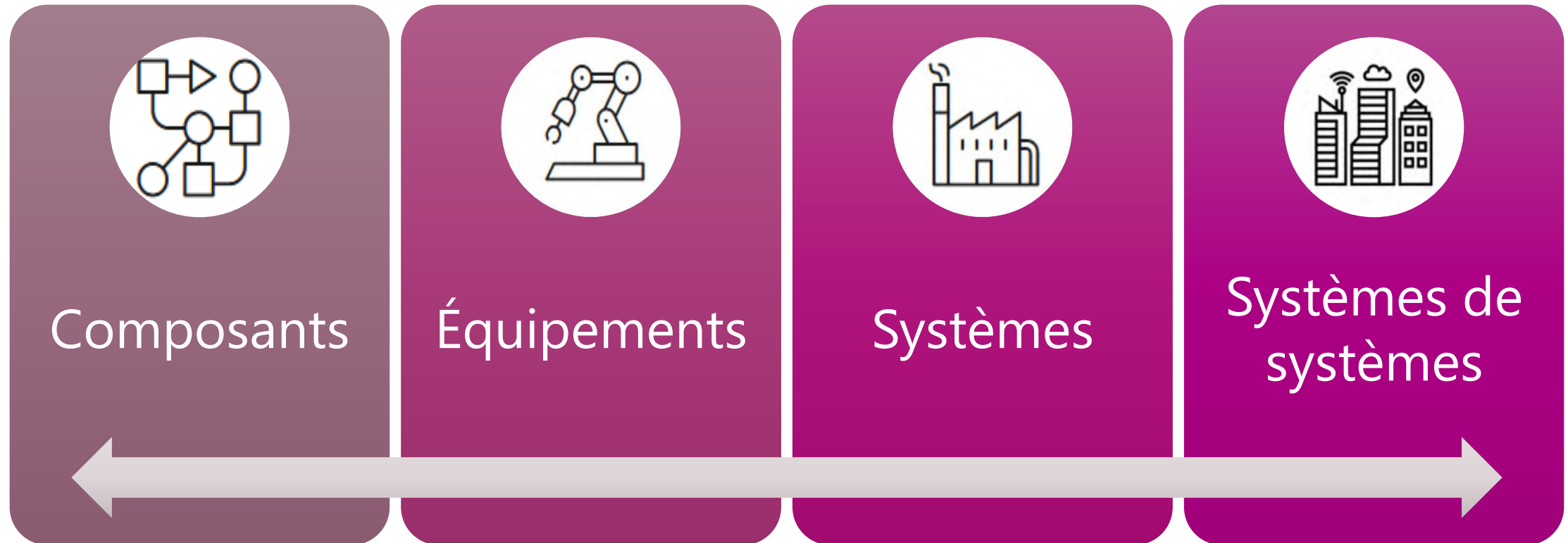
- Digital twin
- Device shadow
- CyberPhysicalSystems

# Jumeau numérique : concepts historiques



Le premier exemple concret de jumeau numérique a été développé par la NASA en 2010, afin d'améliorer la simulation de modèles physiques d'engins spatiaux - Ces jumeaux sont toujours utilisés aujourd'hui !

# Un jumeau numérique pour 4 niveaux d'objets



- **Approche « bottom-up »** : objet + capteurs → données → construction de modèles de prédiction, souvent fondés sur des techniques d'IA.
- **Approche « top-down »** : jumeaux numériques de seconde génération fondés sur la simulation mécanistique. Des équations issues de la physique sont nourries de mesures et résolues numériquement pour prédire des comportements.

Sources : Arnaud Perrot ; Journal du Net

# Un jumeau numérique « vivant » : caractéristiques

---

Un **flux de données constant** entre les espaces réels et virtuel

---

Une capacité à gérer des **données sécurisées**, fiables et pertinentes avec un niveau de précision adéquat

---

Une **architecture** qui permet de valider et d'**améliorer** les modèles

---

Un **contrôle partiel ou total** sur l'environnement réel

---

Une capacité d'**apprentissage**

---

Une capacité de **prédiction**

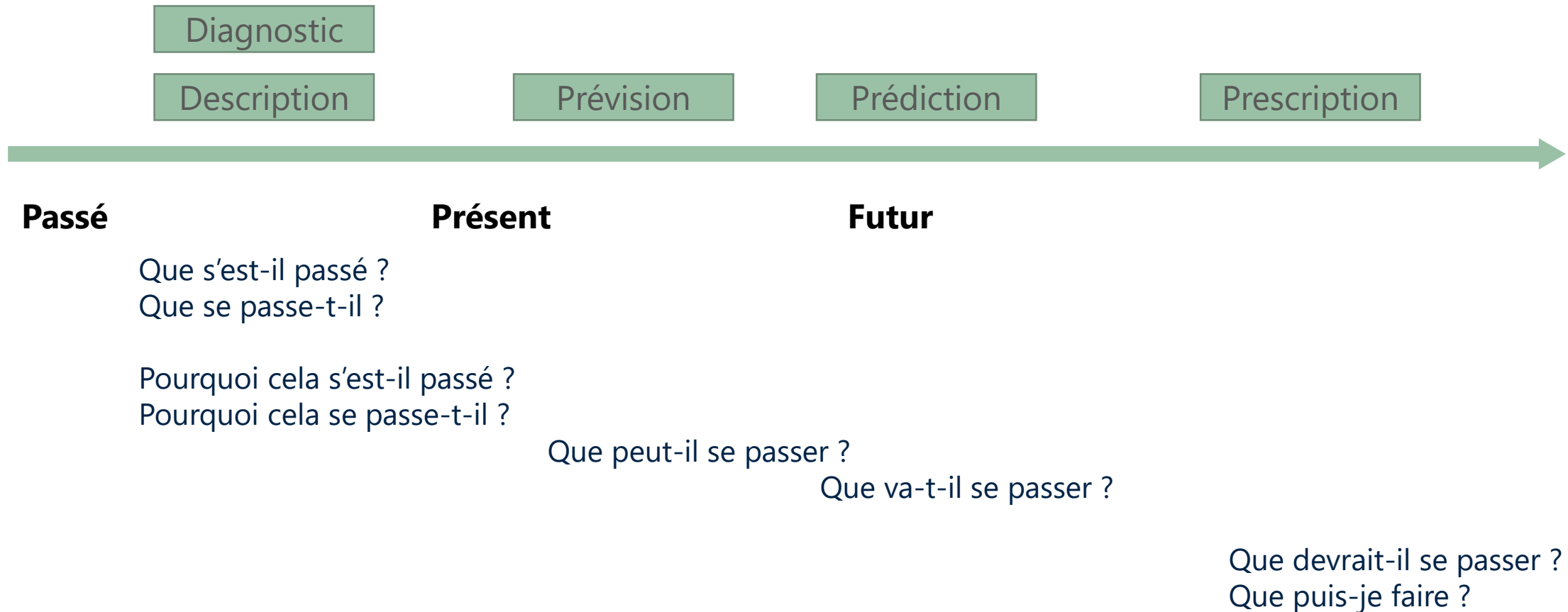
---

Une capacité de **prise de décision**

---

Source : Arnaud Perrot

# Un flux de données constant entre les espaces réel et virtuel



→ **Données logistiques (quoi / qui est où, quand), de consommation énergétique, d'utilisation d'équipements, d'environnement (météo, air, bruit, topographie...), etc.**


Sources : Arnaud Perrot ; analyse AllEnvi Solutions

# Définitions

Modèle virtuel conçu pour refléter avec précision un objet physique. L'objet étudié, par exemple une éolienne, est équipé de divers capteurs liés à des domaines de fonctionnalité vitaux. Ces capteurs produisent des données sur différents aspects des performances de l'objet physique, tels que sa position, vitesse des pales, la production d'énergie, la température, les conditions météorologiques, etc. Ces données sont ensuite relayées vers un système de traitement et appliquées à la copie numérique.

Une fois informé de ces données, le modèle virtuel peut être utilisé pour exécuter des simulations, étudier les problèmes de performances et générer des améliorations possibles, le tout dans le but de générer des informations, qui peuvent ensuite être appliquées à nouveau à l'objet physique d'origine.

- Référence unique et modulaire, modèle d'information
- Créé lors de la planification d'un projet
- Rassemble et décrit les états passés et présents des objets physiques, et leurs paramètres d'environnement pertinents
- Rassemble les hypothèses d'évolutions possibles des objets
- S'alimente et se maintient à jour par les process d'usages, de consultations, de projections, de décisions, de mesures qui lui sont attachés tout au long des cycles de vie de ses composants
- Au service de l'efficacité opérationnelle et de la performance environnementale



Couvre toutes les phases du cycle de vie :

- Conception
- Fabrication
- Construction / assemblage
- Exploitation
- Maintenance
- Utilisation future et recyclage



# Jumeau numérique vs. simulation

Simulations et jumeaux numériques utilisent tous deux des modèles numériques pour reproduire les différents processus d'un système. Mais le concept de jumeau numérique est plus vaste que celui de simulation :

	Simulation	Jumeau numérique
<b>Périmètre</b>	Processus virtuel	Environnement virtuel = processus + paramètres voisins → plus de points de vue
<b>Échelle</b>	Étudie généralement un <i>processus particulier</i>	Un jumeau numérique peut exécuter plusieurs simulations afin d'étudier <i>plusieurs processus</i> et étudier davantage de problèmes. Et ces processus peuvent être imbriqués
<b>Temporalité</b>	Les simulations ne bénéficient généralement pas de données en temps réel	
<b>Flux</b>	Les simulations utilisent des données mesurées sur l'objet physique	Flux d'informations bidirectionnel : les capteurs fournissent des données pertinentes au processeur du système, et les informations créées par le processeur sont partagées avec l'objet source

● Applications  
Usages  
Adoption



# Applications

- Modélisation d'un moteur d'avion (cas d'usage historique)
  - Représentation d'un système entier : un avion dans son intégralité, une chaîne logistique, une usine...
  - *Cosmo Tech* a réalisé le jumeau numérique de la chaîne d'approvisionnement de Renault, pour l'aider à répondre au mieux à la demande en fonction de la production, du stock, de l'organisation des équipes...
    - ROI en 3 mois
    - Déployée chez Michelin.
  - Le groupe EDF s'appuie sur les jumeaux numériques de l'éditeur *Ansys* pour concevoir ses centrales nucléaires de nouvelle génération et en optimiser le rendement énergétique.
  - GE, l'une des premières entreprises à avoir adopté les jumeaux numériques dans le secteur de la fabrication, a observé une réduction de 40 % de la maintenance curative en moins d'un an. L'entreprise a également économisé 11 M\$ en minimisant les pertes de production, résultat direct de la détection et de la prévention des défaillances par les jumeaux numériques.
  - Un patient virtuel (domaine de la santé) est un jumeau numérique.
- Niveau de complexité suffisant → flux intense et régulier de données
  - Types **d'objets** bénéficiant spécifiquement de l'utilisation de jumeaux numériques :
    - **Grandes infrastructures physiques** Bâtiments, ponts et autres structures complexes liés par des règles d'ingénierie strictes.
    - **Objets mécaniquement complexes** Turbines à réaction, automobiles et avions.
    - **Équipements électriques** Cela inclut les installations de transformation et de transport d'énergie.
    - **Procédés de fabrication** Pour aider à rationaliser l'efficacité des processus, comme ceux que l'on peut trouver dans les environnements industriels avec des systèmes de machines fonctionnant conjointement.

# Secteurs applicatifs dominants

- Gros moteurs :
  - Réacteurs
  - Moteurs de locomotive
  - Turbines de production d'électricité
- → calendriers de maintenance.

Moteurs



- Grandes structures physiques :
  - grands bâtiments
  - plates-formes de forage offshore
- Systèmes dans ces structures, par ex. climatisations.

Infrastructures



- Aide tout au long du cycle

Procédés industriels



- Aide à évaluer les risques sanitaires avant que les maladies ne deviennent symptomatiques,
- tout en permettant aux médecins de simuler les traitements possibles sur le jumeau numérique d'un patient.

Santé



- Aide
  - à la conception,
  - pour augmenter l'efficacité de la fabrication,
  - pour améliorer les performances des véhicules.

Automobile



- Afficher des données spatiales 3D et 4D en temps réel, intégrer des systèmes de réalité augmentée dans les environnements construits.

Urbanisme

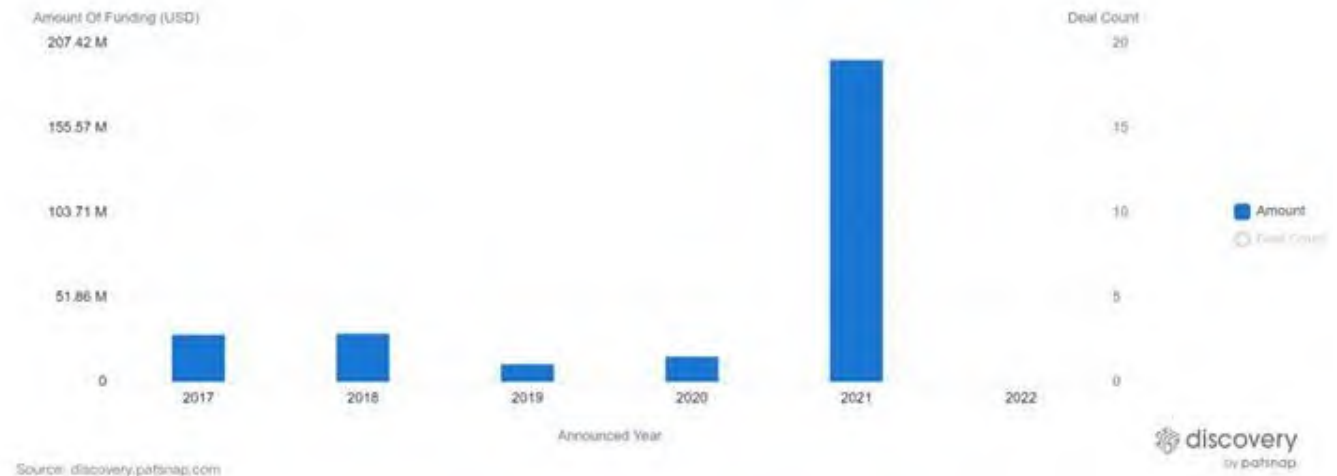


# Éléments de marché

Premiers **secteurs économiques** à implémenter des jumeaux numériques :

- Énergie, commodités (eau, gaz, électricité, déchets...) et matières premières
- Industries
- Aérospatial et défense

Tendances d'investissements par les fonds de capital-risque :



L'année 2021 a vu une augmentation gigantesque des investissements avec 197,05 M\$ investis. À lui seul, l'investissement de 2021 a plus que doublé par rapport aux quatre années précédentes combinées (84,26 M\$). L'heure des jumeaux numériques a sonné !

# Typologie des usages

4 catégories d'usages :



• Construire



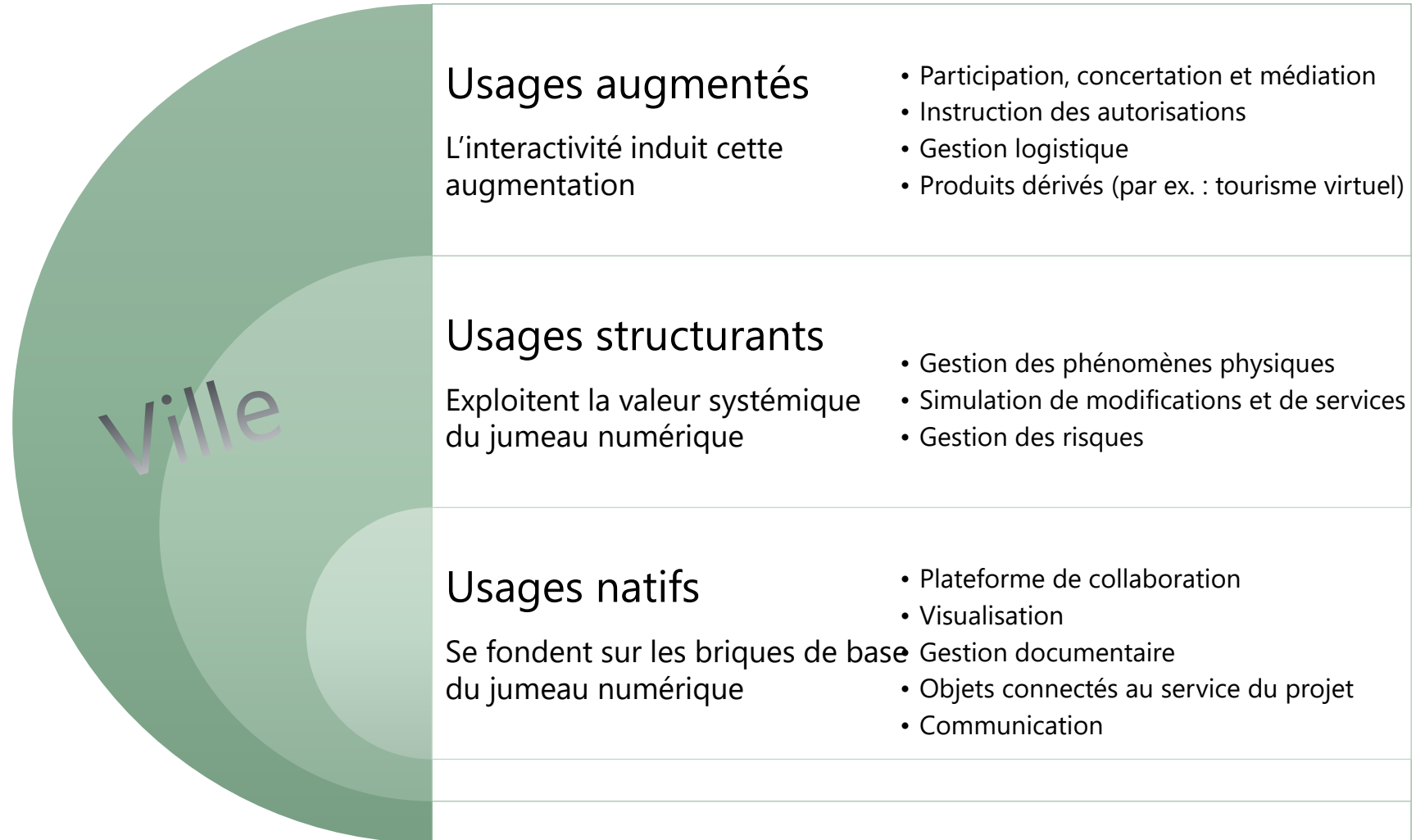
• Former



• Produire

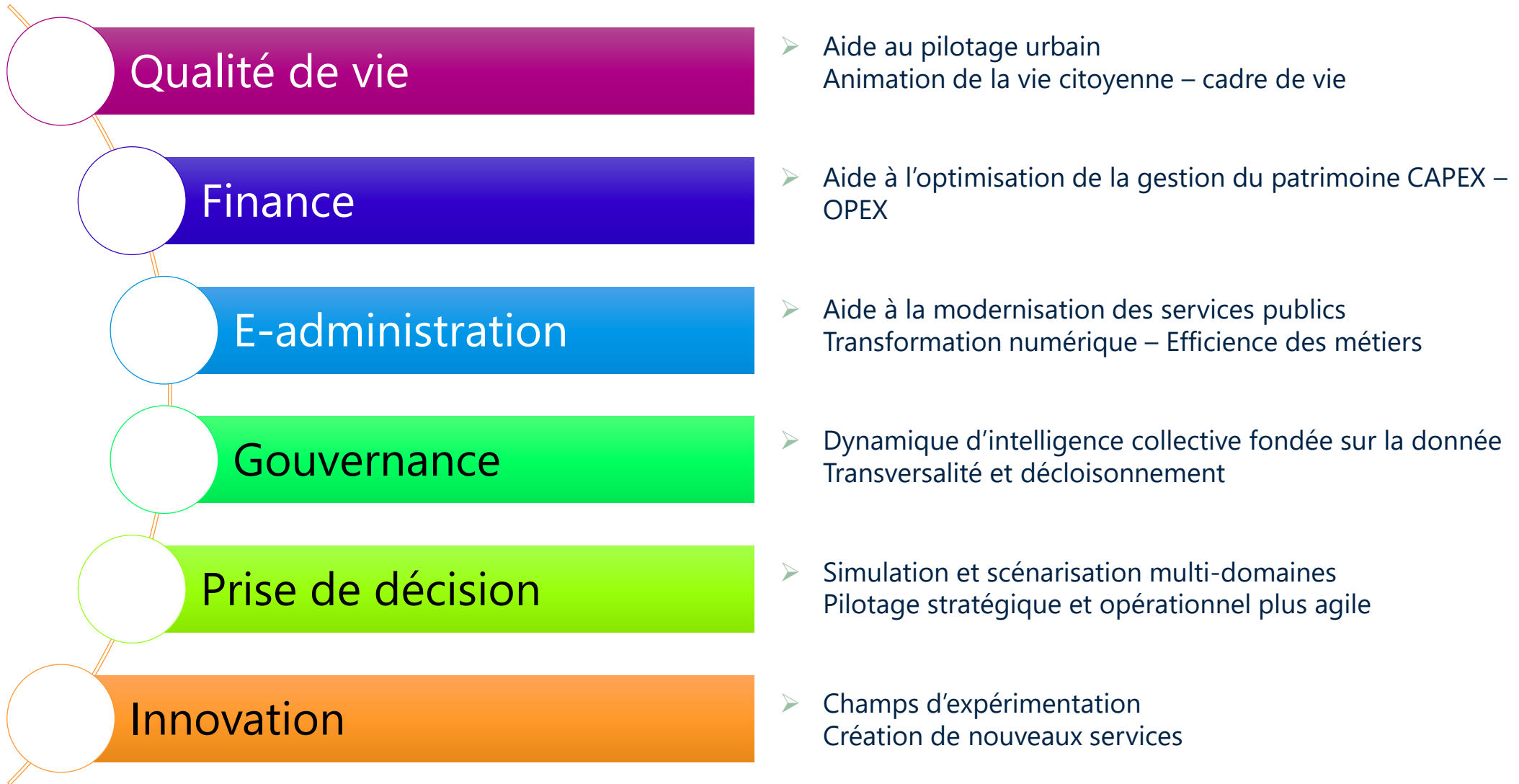


• Organiser



Sources : Arnaud Perrot ; Christelle Gibon

# Le jumeau numérique peut adresser les enjeux clés des collectivités



Source : Christelle Gibon, ville de Rennes

# Avantages des jumeaux numériques (leviers d'adoption)

## Internes

- Un jumeau numérique permet d'étudier les conséquences d'une action sur différents aspects, relevant d'autres métiers.
- Phase de **R&D**
  - Nb données de résultats de performance probables → informations qui aident à affiner les produits ou services avant de commencer la production
- Phase de **gestion**
  - Atteindre et maintenir une efficacité maximale tout au long de la durée de vie.
  - Ex. : Service de diagnostic automatique et fiable de la consommation électrique d'usines complexes
    - Maintenance préventive optimisée
    - Gains financiers
- **Fin de vie**
  - Déterminer quels matériaux peuvent être récupérés

## Externes

Infrastructures ayant permis l'émergence des jumeaux numériques :

- Grande puissance de calcul accessible et disponible,
- Capacités de stockage,
- Réseaux de télécommunication à débit élevé et bas coût



# Des avantages non explicites et potentiels → des freins à l'adoption

Conséquence d'une définition évasive, **les attentes liées aux avantages des jumeaux numériques sont multiples et liées à leurs usages, réels ou souhaités**. Les attentes et leur étendue dépendent des applications :

Le secteur technologique y trouve un nouveau moyen d'optimisation et d'efficience ;

Les collectivités territoriales cherchent à explorer les bénéfices sociétaux : aménagement urbain, participation démocratique, jusqu'à s'occuper du grand défi du changement climatique ;

Les instances gouvernementales ou pan-étatiques imaginent même de « *tester des scénarios qui permettraient un développement plus durable et de soutenir les politiques environnementales européennes* », selon le projet DestinE.

Les **freins à l'adoption** se répartissent dans des catégories distinctes :

- Manque de clarté des bénéfices
- Manque de standards industriels
- Manque de formation
  - Formation des équipes techniques
  - Formation des utilisateurs finaux
  - Formation des prestataires
- Surcoût
  - Global
    - Plus supportable par métropoles que par petites collectivités
    - Pré-requis : transition numérique en cours de déploiement
  - Ressources humaines
    - Recrutement et fidélisation des personnes compétentes en numérique (cf. data scientists)
  - ROI
    - La rentabilité dépend du nombre d'usages (ex. : PLU + trafic routier + gestion des déchets + tourisme...) et d'utilisateurs
    - Potentiellement à long terme
    - Indirect : prises de décisions éclairées par la donnée, les décisions étant prises de toutes façons

● **Enjeux et limites**



# Enjeux

Les jumeaux numériques soulèvent les enjeux suivants :

- Comment agréger les données existantes pour alimenter un jumeau numérique ?
- Comment solliciter des experts externes ?
- Comment maintenir à jour les données ? (notion de jumeau numérique « vivant », impliquant un échange dynamique d'informations)
- Quelles représentations (interfaces utilisateurs) pour un jumeau numérique ?
- Quels sont les impacts de l'utilisation d'un jumeau numérique ? Notamment les impacts environnementaux induits par l'utilisation du numérique (matériel, énergie...), qui sont proportionnels à l'ampleur du projet.

# La définition floue du jumeau numérique engendre des risques

- **Le contrôle *partiel* de l'objet physique rend poreuse la frontière entre ombre numérique et jumeau numérique.** Plusieurs projets revendiquent le statut de jumeau numérique, alors que l'objet physique est contrôlé indirectement et très partiellement. Utiliser cette appellation peut procéder de la volonté de bénéficiaire du caractère nouveau de ce concept hors des applications existantes et de l'image positive associée aux succès obtenus par les jumeaux numériques déployés dans l'industrie 4.0.
- Ce contrôle peut paraître inoffensif pour de l'ingénierie de produits, mais il n'en va pas de même pour des domaines de recherche touchant aux sciences de la vie ou de l'environnement. La volonté de contrôle du monde par la science et la technologie correspond à un mode de pensée qui a pu induire des problèmes de ressources naturelles ou de changement climatique. Toutefois, le coût de l'inaction (ne pas contrôler) pouvant être supérieur à celui de l'expérimentation, une solution pourrait résider dans le lancement de pilotes, aptes à monter en échelle.
- Conséquence du caractère fluctuant de la définition, **l'évaluation des risques associés à l'emploi d'un jumeau numérique nécessite de clarifier sa capacité d'évolution et d'inclusion de paramètres non modélisés initialement.**
  - Par exemple, le jumeau numérique d'une meunerie inclura sans doute des simulations de processus qui utiliseront comme paramètres la quantité, la variété et la qualité des grains de blé, la cadence des moulins, le flux de sacs etc. Si une meule est changée, alors le jumeau numérique doit refléter cette modification ; c'est le caractère **évolutif**, qui doit être inhérent au jumeau pour diminuer les risques liés à son utilisation et à son action sur l'objet physique. De plus, si la poussière générée n'est pas prise en compte, alors il faut pouvoir l'inclure pour que les actions ne soient pas décidées à partir de données incomplètes ; ce caractère **modulaire** permet de mieux maîtriser les risques.
  - Autre exemple, la conséquence de l'utilisation d'une représentation incomplète pour la gestion de l'écosystème forestier peut être grave : l'optimisation des espèces connues peut, par inadvertance, déséquilibrer l'écosystème en raison de lacunes dans les connaissances et compromettre la survie d'espèces inconnues ou non enregistrées.

Sources : P. Korenhof et al. ; analyse AllEnvi Solutions

# Des hypothèses implicites posent des questions

Hypothèse	Critique	Question
<b>La représentation numérique est supposée réaliste</b> / de haute-fidélité.	La représentation numérique s'ajoute et se substitue à l'objet physique.	Comment comprendre et composer avec cette représentation subjective ?
Le terme « jumeau » suppose une <b>relation d'égalité</b> entre l'objet physique et son double numérique.	La relation est hiérarchique : le double numérique pilote l'objet physique.	Quelles sont les conséquences de cette relation hiérarchique ?
Un jumeau numérique est une technique de pilotage. Il fédère la collaboration.  Les informations du jumeau numérique permettent <b>d'objectiver les décisions</b> .	Un jumeau numérique est un outil au service d'un projet. Dans un projet, sont décrits les objectifs, la manière dont ils sont atteints, qui décide de ce qu'il faut faire et quand le faire.  Des personnes choisissent les paramètres utilisés dans la représentation, pour servir des objectifs précis, en fonction de possibilités technologiques.	Quelle description minimale du périmètre du projet pour réduire cette asymétrie informationnelle de façon éthique et pour gagner la confiance des parties prenantes ?
Le jumeau numérique fournit de l'information à l'objet physique.	Des personnes utilisent un jumeau numérique pour piloter un objet physique.	Comment intégrer la transparence et la responsabilité des décisions dans la conception et l'utilisation d'un jumeau numérique ?
Un jumeau numérique est neutre.	Un jumeau numérique place une quantité considérable de pouvoir décisif sur une entité physique entre les mains des personnes qui façonnent et contrôlent la représentation numérique.	Dans le cas du déploiement d'une nouvelle technologie dans le domaine public ou pour appliquer une politique publique, qui bénéficie et qui voit son pouvoir augmenté par cette technologie ?

Sources : P. Korenhof et al. ; analyse AllEnvi Solutions

● **Jumeaux numériques et  
environnement**



# Et l'environnement dans tout ça ?

« 60% des organisations des principaux secteurs s'appuient sur les jumeaux numériques comme catalyseur pour

- améliorer les performances opérationnelles

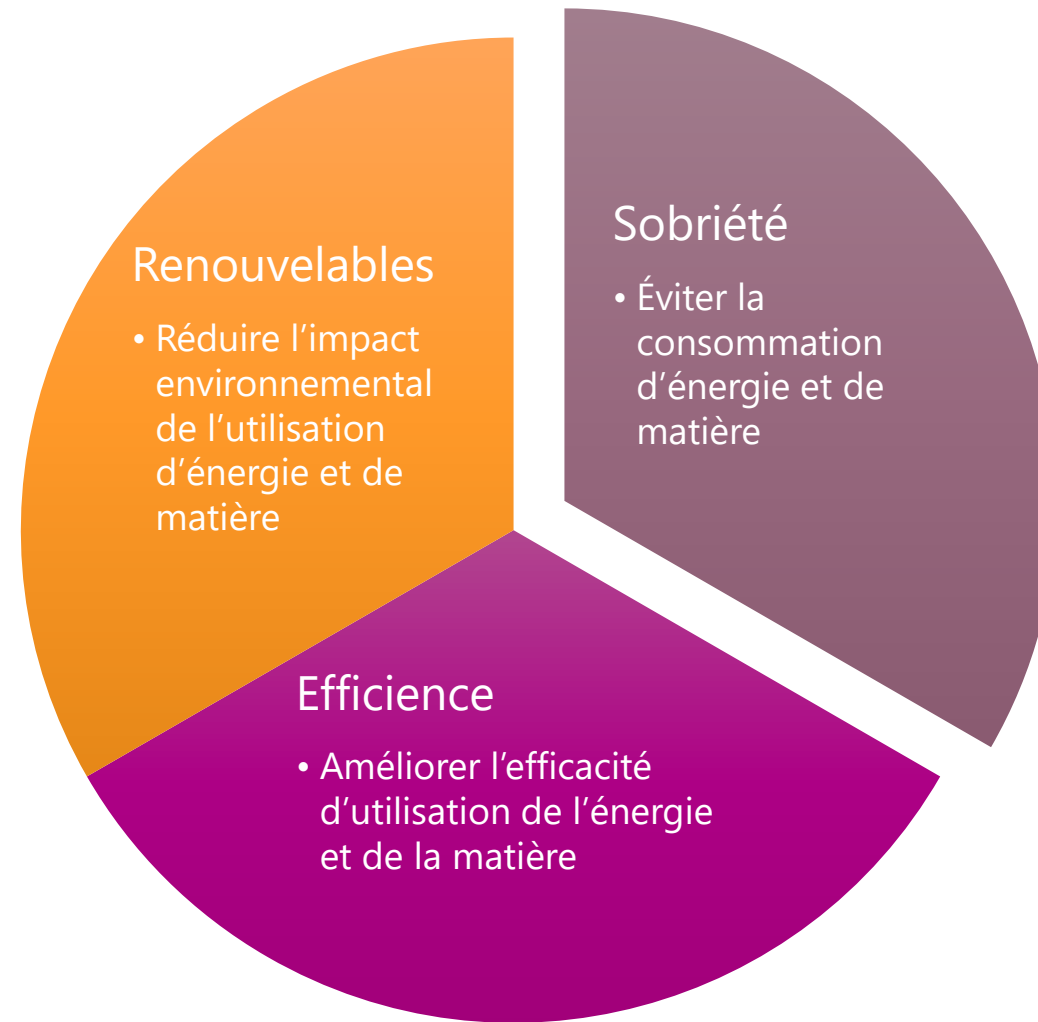
+

- réaliser leur programme de développement durable. Simulation du monde physique → aide à
  - mieux utiliser les ressources,
  - réduire les émissions de carbone,
  - optimiser les réseaux d'approvisionnement et de transport,
  - à accroître la sécurité des employés. »

**→ Durabilité, résilience et soutenabilité**

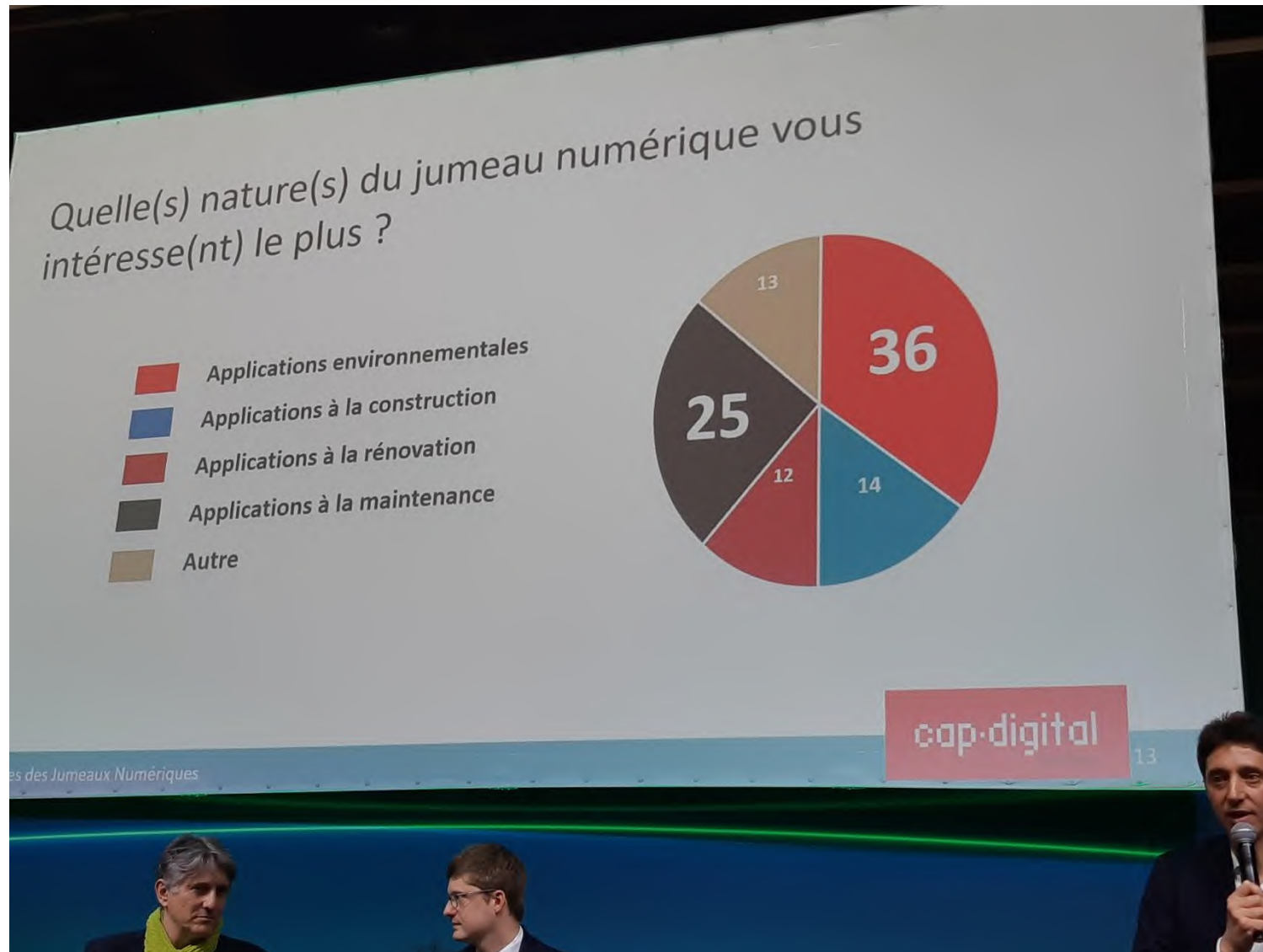
Source : Journal du Net

# Recommandations du GIEC pour atténuer le changement climatique





# Des intentions louables



- Échantillon interrogé : motivé
- Des intentions aux actes...
- Travaux à suivre

# La recherche environnementale construit des *ombres* numériques

Destination Earth, alias DestinE

- Initiative de la Commission Européenne
- Vise à créer une simulation numérique de la Terre avec un jumeau numérique.
- Pour mieux comprendre les effets du changement climatique et des catastrophes environnementales pour permettre aux décideurs politiques de réagir plus efficacement à ces problèmes.
- Ambition réaliste de Gaïa Data : contribuer à des briques qui pourront être intégrées dans des jumeaux numériques d'écosystèmes.

L'IGN réalise un modèle 3D de l'intégralité du territoire.

Objectif : créer des jumeaux numériques utiles au pilotage des politiques publiques, aux simulations de phénomènes (inondations, sécheresse...), ou encore au déploiement du véhicule autonome.

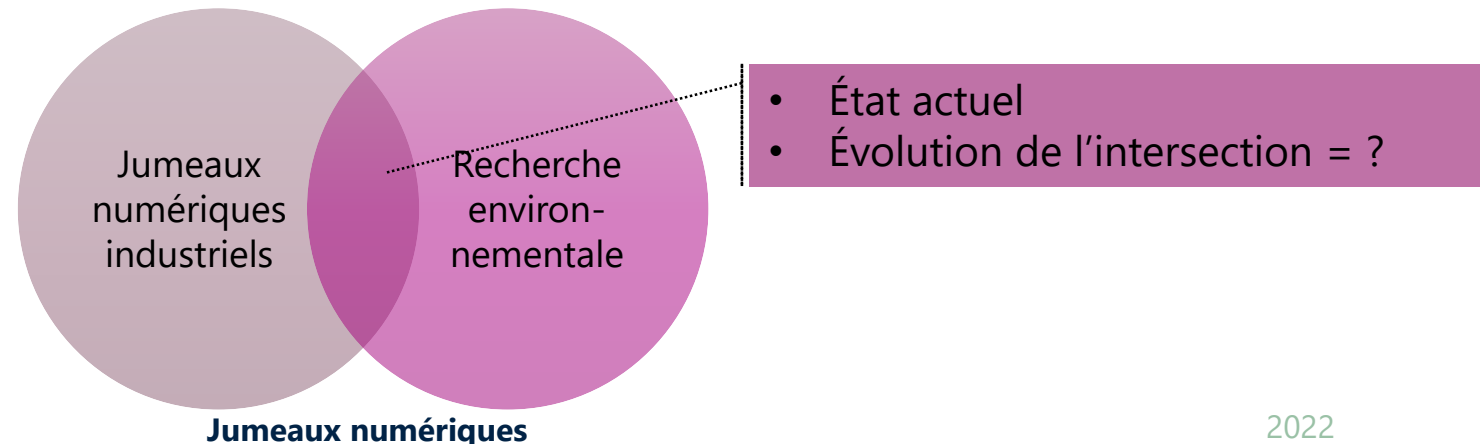
Méthode : l'IGN réalise une cartographie Lidar haute densité - données sur le bâti comme le végétal - de l'ensemble du territoire.

Financement : projet doté de 60 M€ soutenu par le fonds pour la transformation de l'action publique (21,55 M€) et le plan France Relance (22 M€).

Avancement : la Corse, la majeure partie de la région Paca et une grande partie du Grand Est sont modélisés. Fin du projet en 2026.



Sources : ASCo AllEnvi Valorisations économiques des données environnementales ; Banque des territoires





# Bibliométrie sommaire

Juin 2022

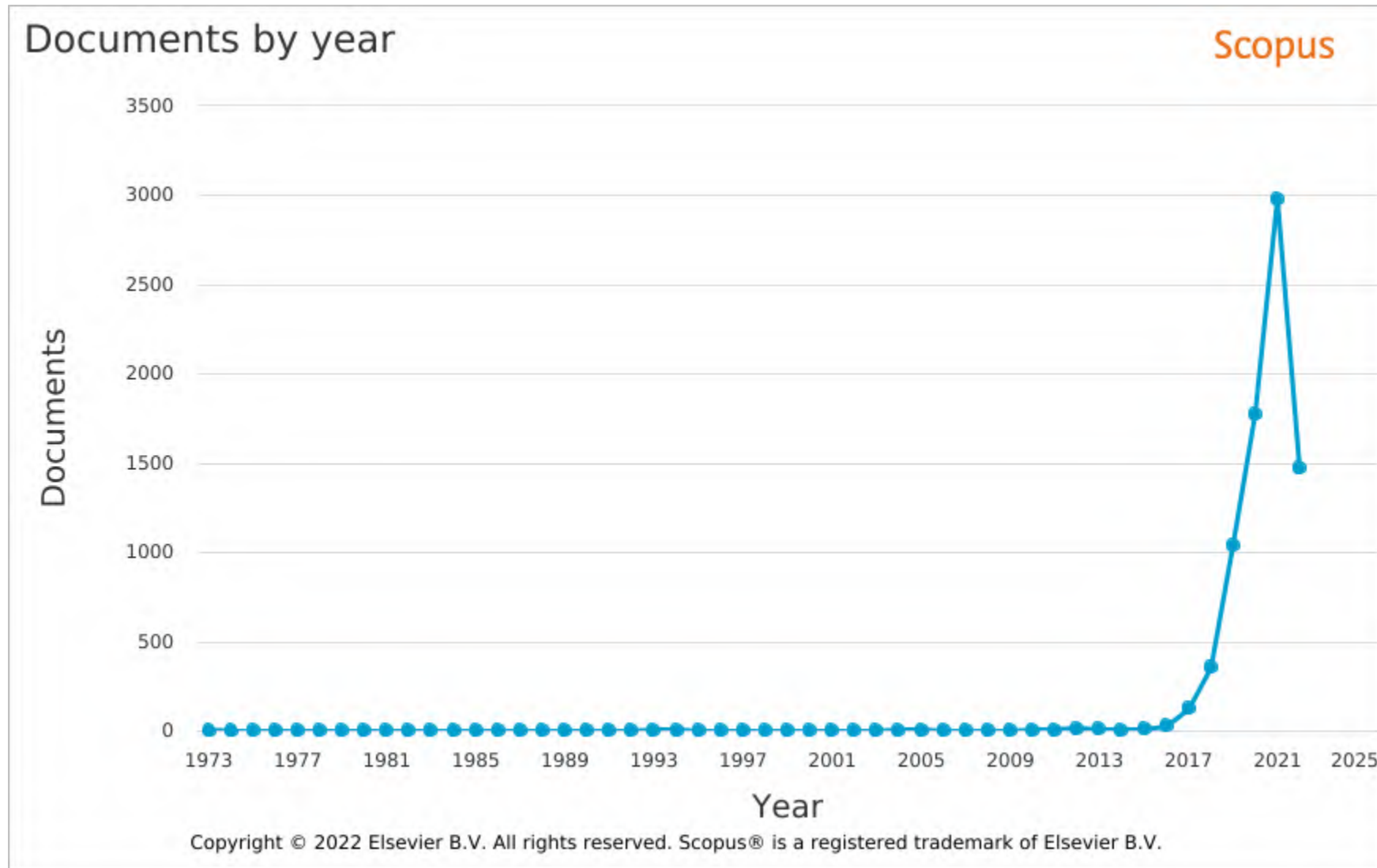


# La recherche académique s'empare du sujet des jumeaux numériques

Requête :

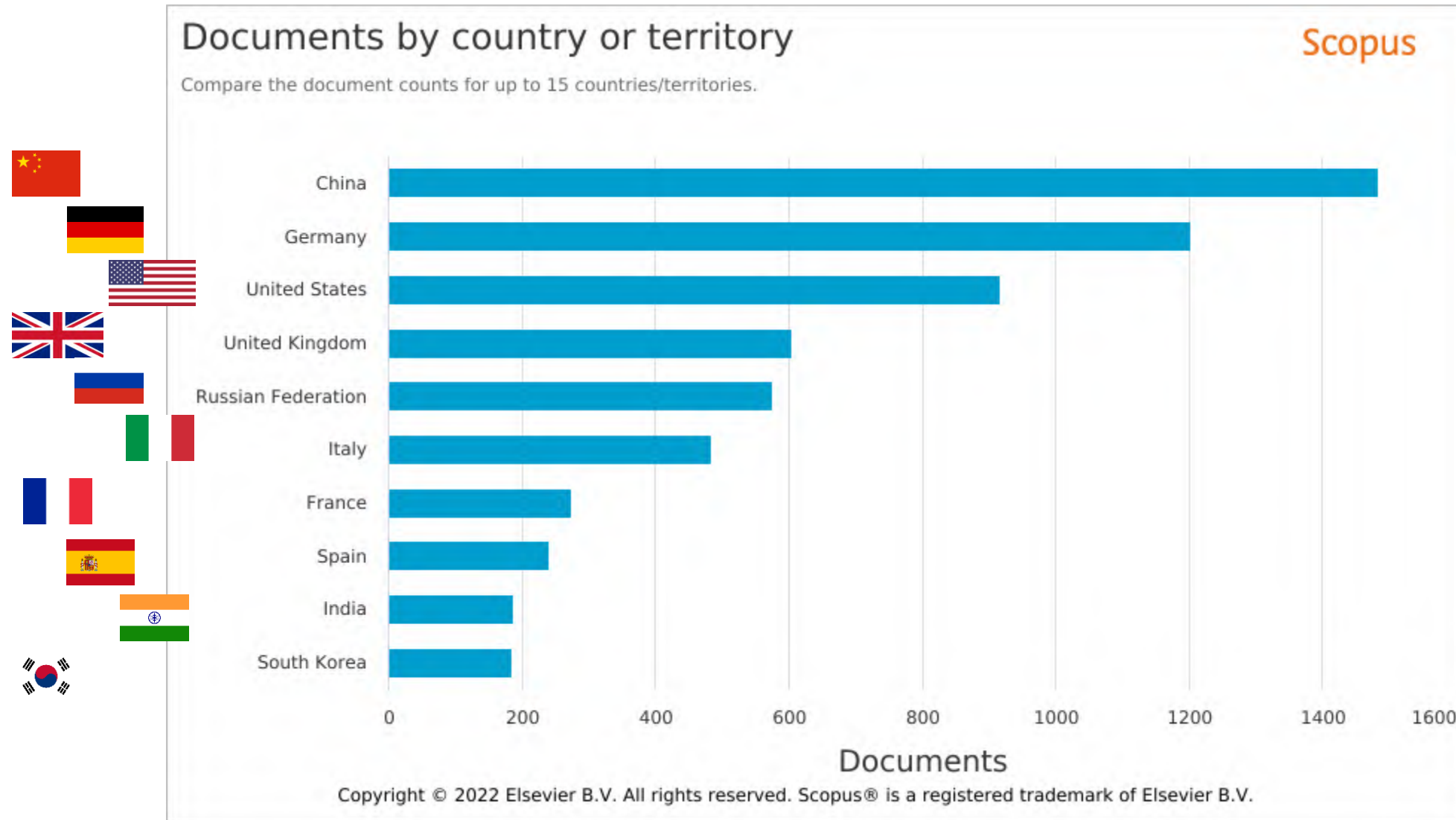
« digital twin\* »

dans titre,  
résumé,  
mots-clefs



→ Sujet émergent pour la recherche

# La recherche allemande en pointe, la France en 7<sup>e</sup> position



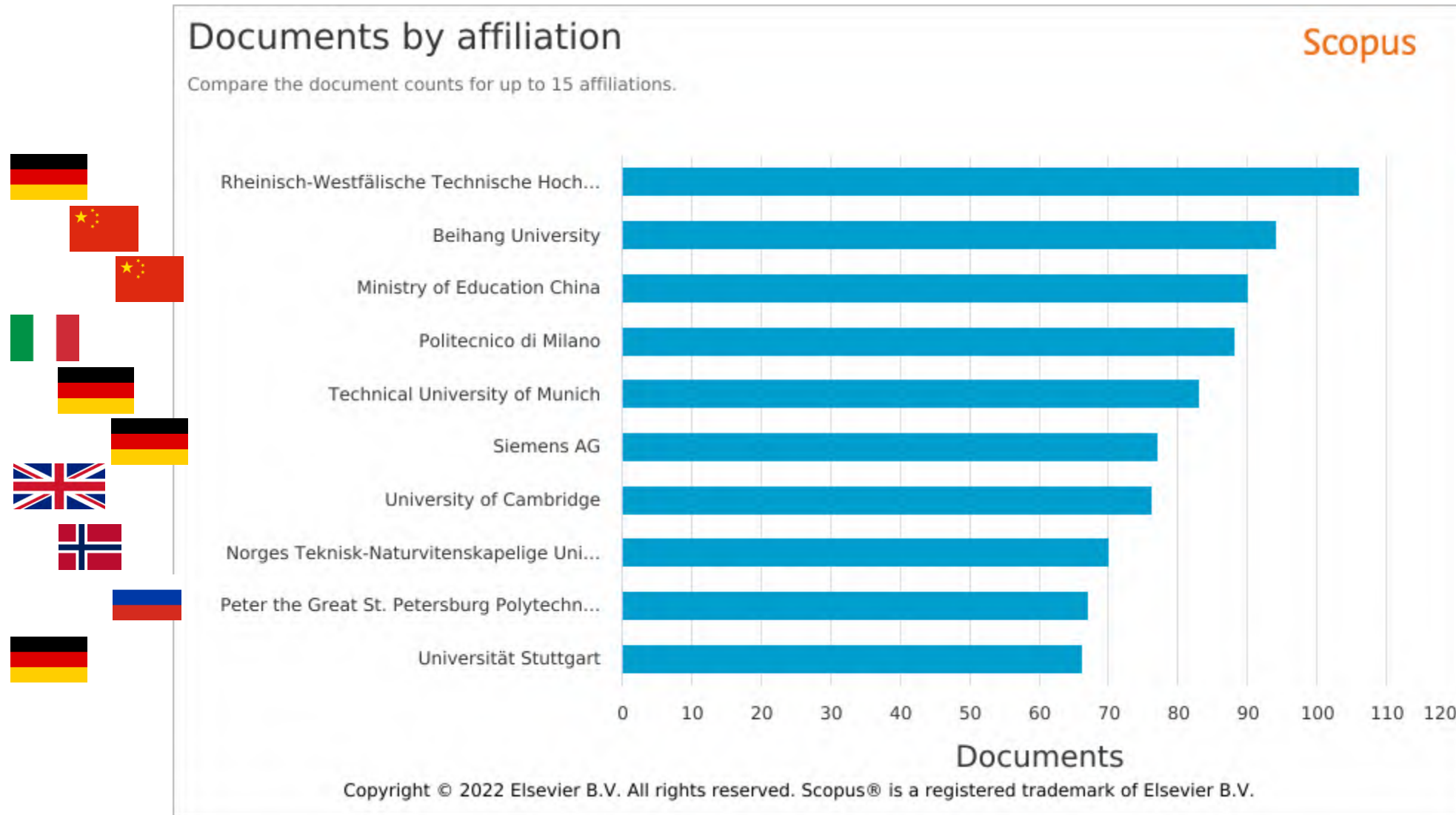
→ Un lien avec le tissu industriel fort ?

# Une dynamique européenne pour les financements

National Natural Science Foundation of China	503	
European Commission	293	
Horizon 2020 Framework Programme	260	
National Key Research and Development Program of China	203	
Engineering and Physical Sciences Research Council	137	
Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China	116	
Bundesministerium für Bildung und Forschung	113	
European Regional Development Fund	104	
Deutsche Forschungsgemeinschaft	99	

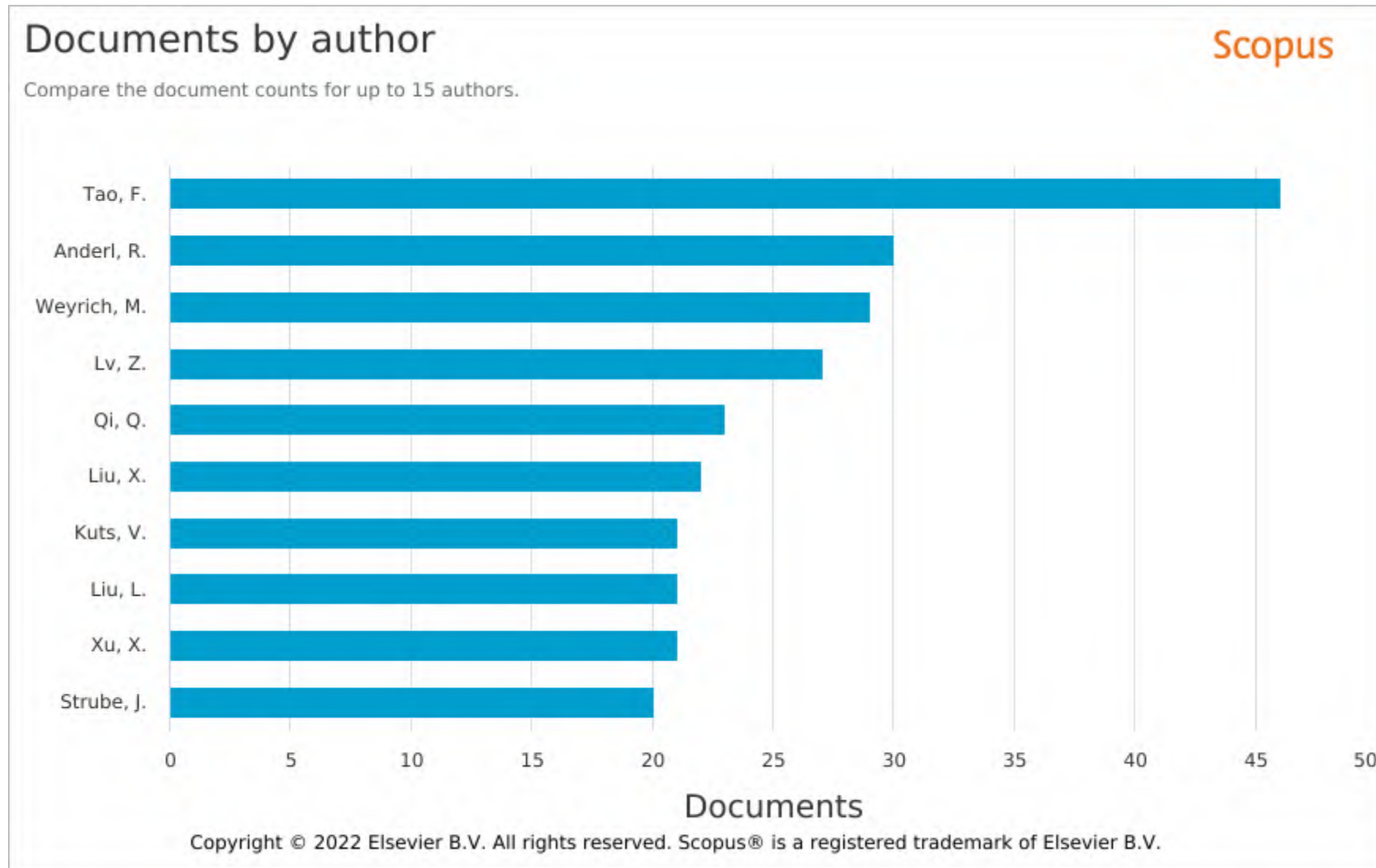
→ Complétée par des investissements allemands

# Les institutions allemandes très représentées



→ La recherche allemande dans son ensemble se mobilise sur le sujet

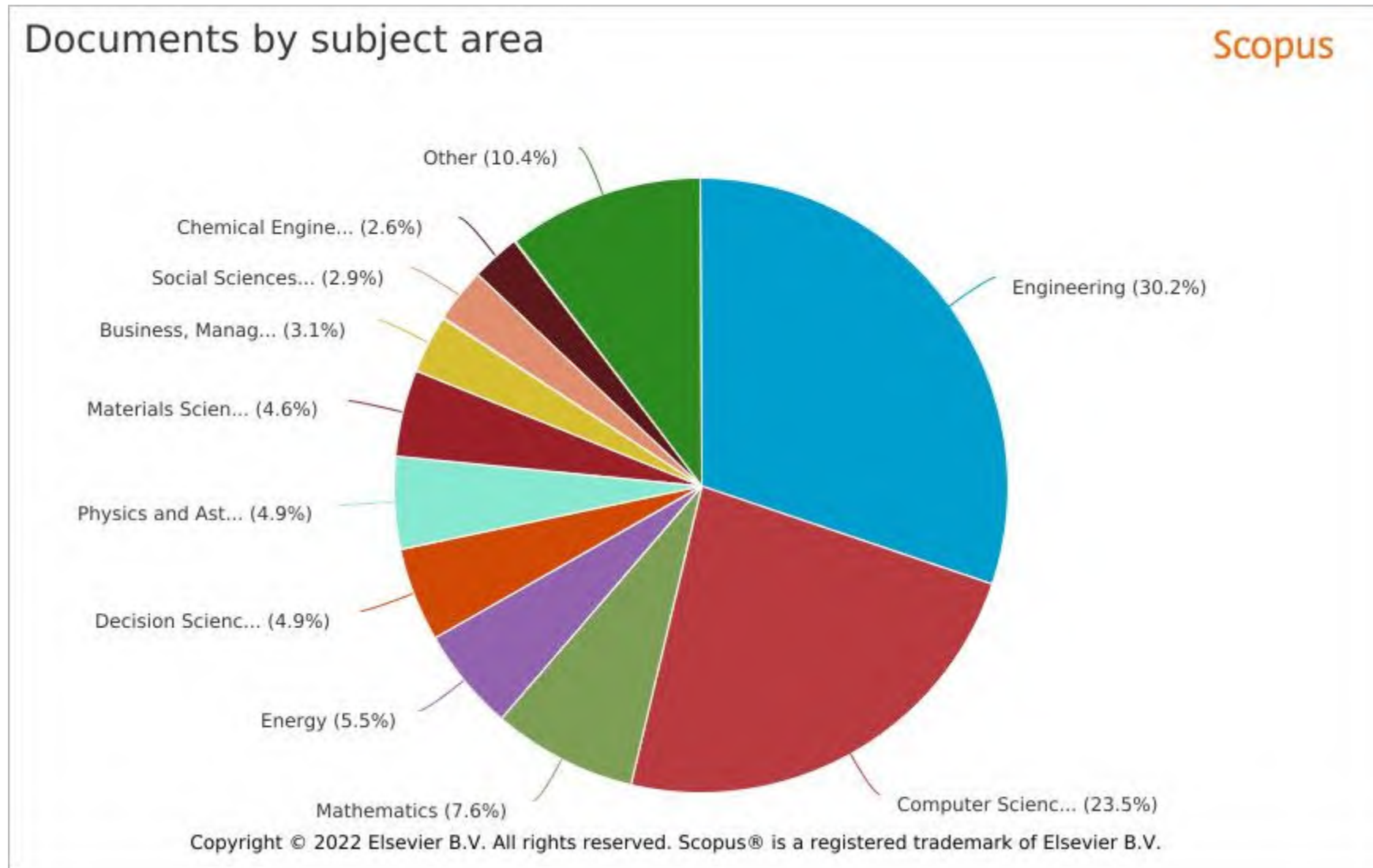
# Un peloton de tête compact



➔ Les leaders seront à examiner en fonction du domaine

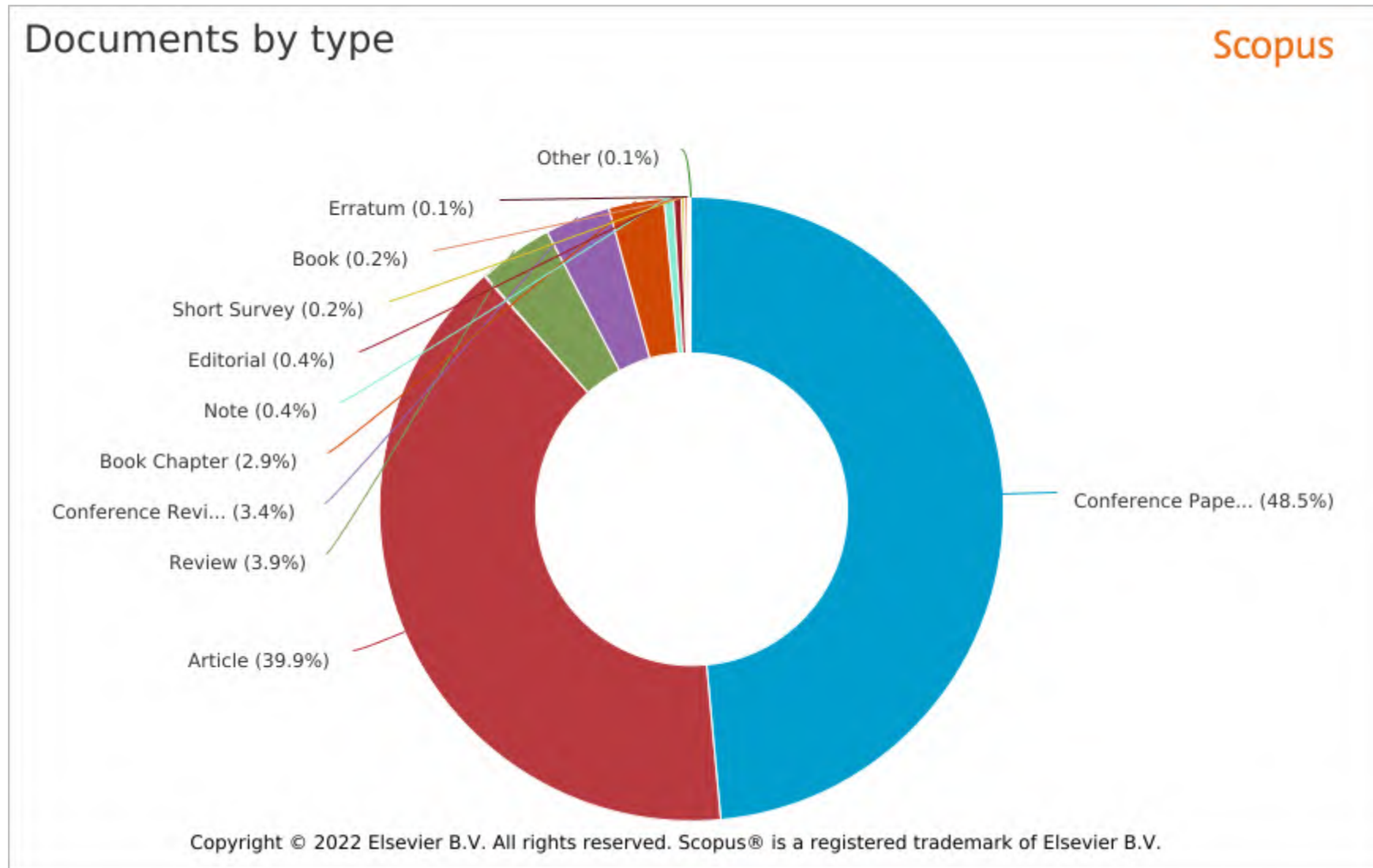


# Aucune surprise dans les catégories de sujet



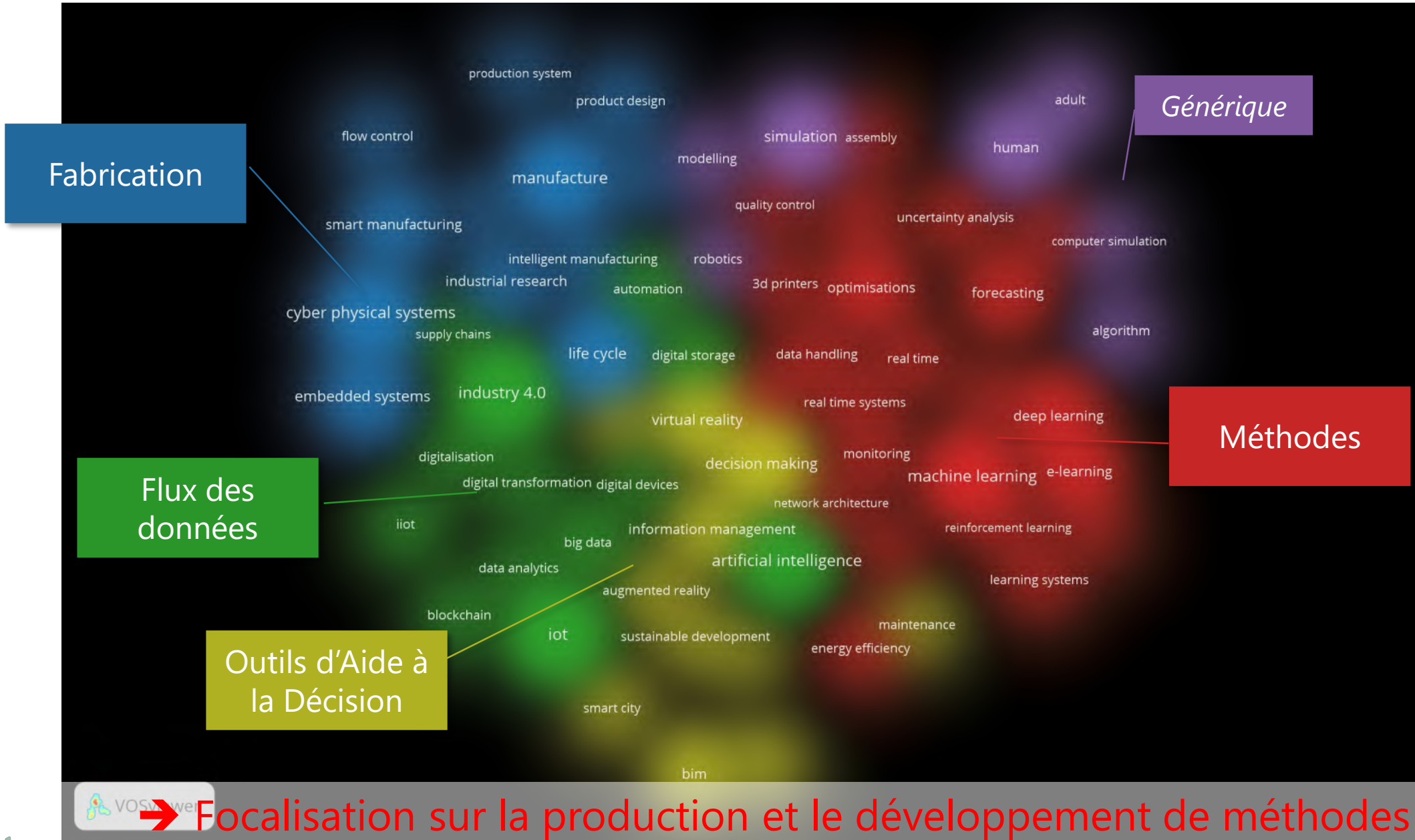
➔ Mais l'environnement est absent

# Un domaine en effervescence



→ Et en cours de consolidation

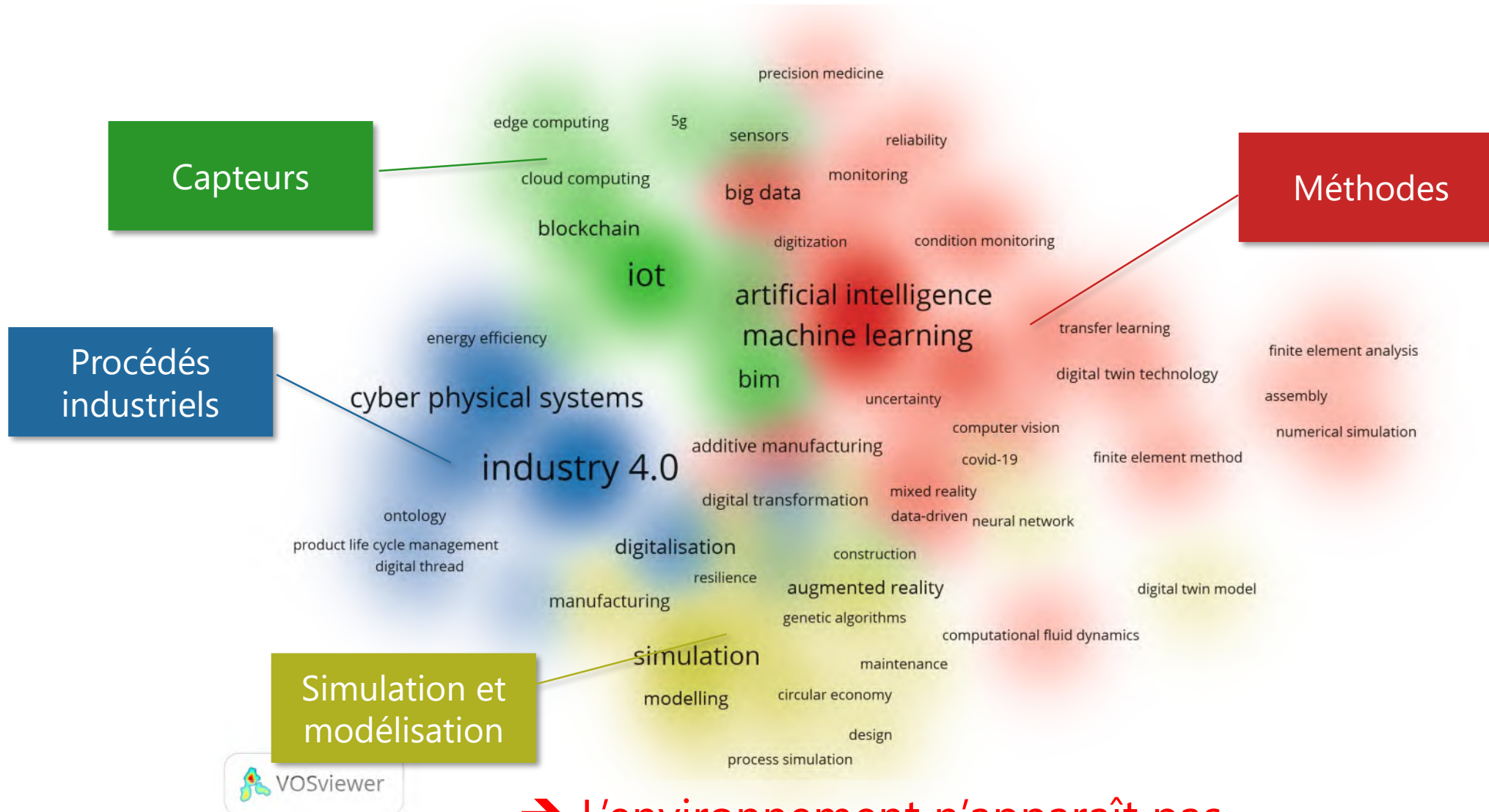
# 4 domaines de recherche



- Mots-clefs : auteurs et index
- Minimum 50 co-occurrences

**Focalisation sur la production et le développement de méthodes**

# Les thématiques de recherche croisent IA et industrie



Mots-clefs :  
auteurs

➔ L'environnement n'apparaît pas

# Catégories de jumeaux numériques développés par la recherche française

En première approche, **les organismes de recherche français développent des jumeaux numériques selon deux voies :**

- les jumeaux numériques liés à des procédés industriels (CEA, Inrae, IRSN ; IFPEN...)
- et les jumeaux numériques liés à de la planification territoriale (IGN, Ifremer ?, Cerema, UGE ?...)

La 1e voie correspond au champ de développement historique du jumeau numérique, « bottom-up », qui implique un contrôle aussi complet que possible de l'objet physique.

La 2nde voie correspond à l'appropriation du concept de jumeau numérique par de nombreux acteurs ayant des usages du jumeau numérique très variés.

● Exemple d'application :  
le bâtiment



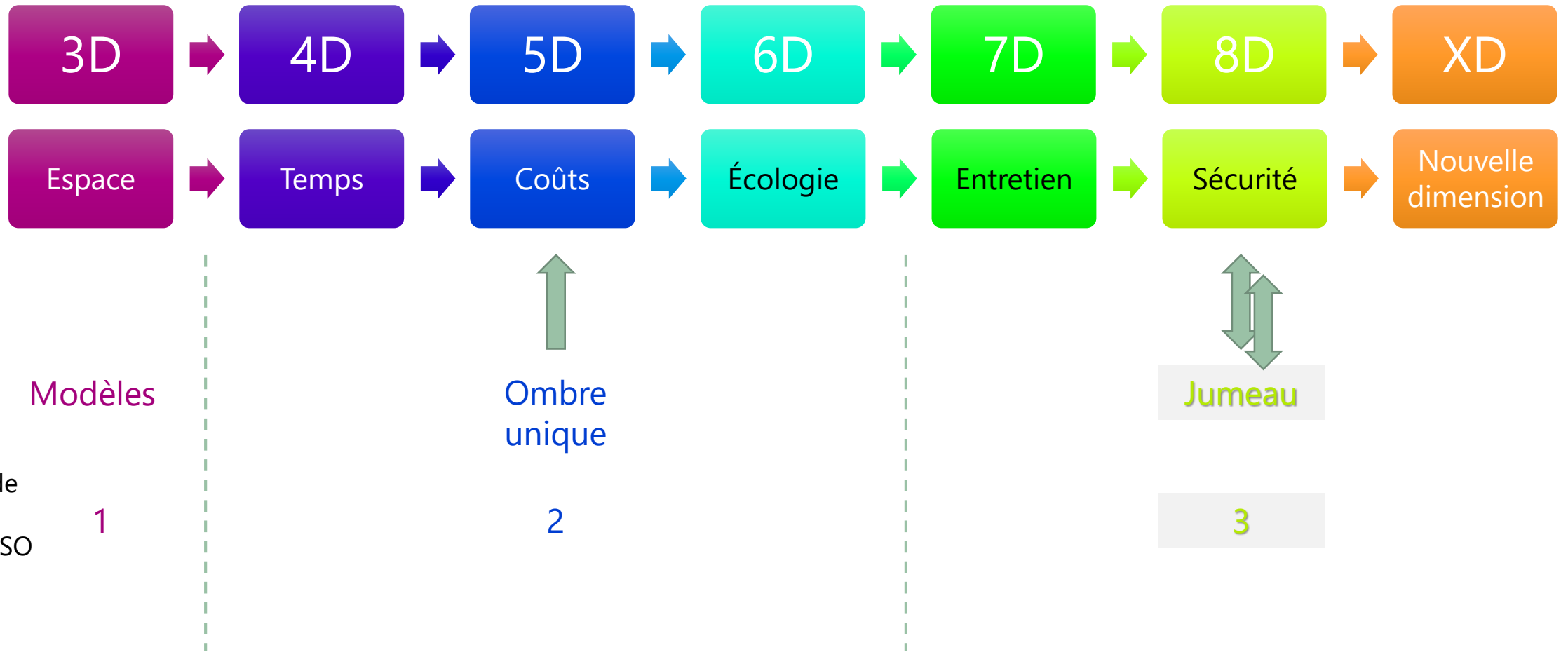
# Le BIM, un vecteur pour le jumeau numérique ?

- BIM = méthode de travail fondée sur la collaboration autour d'une maquette numérique
- Dans un **processus** BIM, chaque acteur de la construction crée, renseigne et utilise cette maquette unique :
  - Tire les informations dont il a besoin pour son métier
  - Alimente la maquette

➔ Objet virtuel unique

Le jumeau numérique devient un produit du BIM

# Le jumeau numérique pour la construction

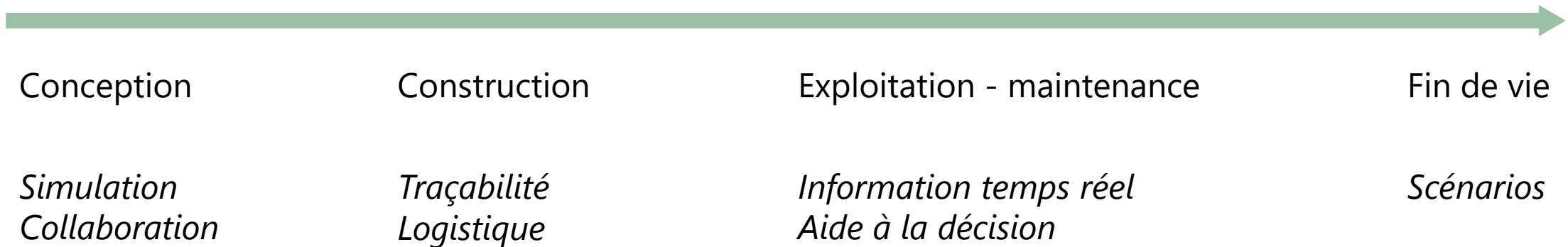


Source : Arnaud Perrot



# Le jumeau numérique du bâtiment

- Modèle vivant :
  - Référence unique de données communes
  - Miroir du présent
  - Histoire du passé
  - Visions potentielles du futur
- Créé lors de la phase de conception d'un projet, qui couvre le cycle de vie jusqu'à la réutilisation future en passant par l'exécution des travaux, l'exploitation et la maintenance en exploitant les données temps réel.



Source : Arnaud Perrot

● **Annexe**



# Bibliographie

- [4 innovations qui utilisent l'intelligence artificielle pour faire la chasse au CO2](#). Maddyne, 09/03/2022
- BIM World. 5-6 avril 2022, Porte de Versailles
- [Qu'est-ce qu'un jumeau numérique ?](#) Arkance Systems. Consulté le 30/06/2022
- [Jumeau numérique : qu'est-ce que c'est ?](#) Futura Tech. Consulté le 30/06/2022
- [Jumeau numérique \(Digital Twin\)](#). Le MagIT. Consulté le 05/07/2022
- [Jumeau numérique : définition, exemple en santé, différence avec le BIM](#). Journal du Net, 23/06/2022
- [Qu'est-ce qu'un jumeau numérique ?](#) IBM. Consulté le 05/07/2022
- [L'IGN s'adapte à la nouvelle donne de l'information géographique](#). Banque des territoires, 02/12/2021
- Comment le projet européen CPS4EU facilite le développement des systèmes cyberphysiques. L'Usine Nouvelle, 04/07/2022
- [Steering representations – towards a critical understanding of digital twins](#). P. Korenhof, V. Blok, S. Kloppenburg. Philosophy & Technology (2021) 34:1751-1773.
- [25 emerging tech trends to watch](#). GCN, 12/08/2022
- [Where physical meets digital – how digital twins are unearthing new insights for asset-intensive organizations](#). M. Ouissi, Diginomica, 28/04/2022

## Un projet de recherche :



Commencé il y a trois ans et doté d'un budget de 53 millions d'euros.

Piloté par Valeo, CPS4EU regroupe 36 partenaires industriels et académiques, dont Thalès, RTE, Arcure, M3 Systems, Kalray, le **CNRS**, le **CEA** et **l'Inria** en France.

Le projet CPS4EU a pour ambition d'accélérer le développement et le déploiement des systèmes cyberphysiques - comme une voiture autonome - grâce à des sous-systèmes électroniques et logiciels prêts à l'emploi.

Secteurs dits « stratégiques » du transport, de l'énergie et de l'usine 4.0, afin d'améliorer la compétitivité de l'industrie européenne en réduisant les coûts.

Source : l'Usine Nouvelle, juillet 2022



*AllEnvi Solutions est financé par le fonds national de valorisation du Programme Investissements d'Avenir (PIA) pour ses actions collectives*

[www.allenvi-solutions.fr](http://www.allenvi-solutions.fr)



**Contact : François Christiaens**

•

**Tel 06 79 97 70 50**

**Email [francois.christiaens@inrae.fr](mailto:francois.christiaens@inrae.fr)**

•

**28, rue du Docteur Finlay  
75015 Paris**

**allenviSolutions**