

IEN Project - Environmental Impact of Digital Alliance CircularIT

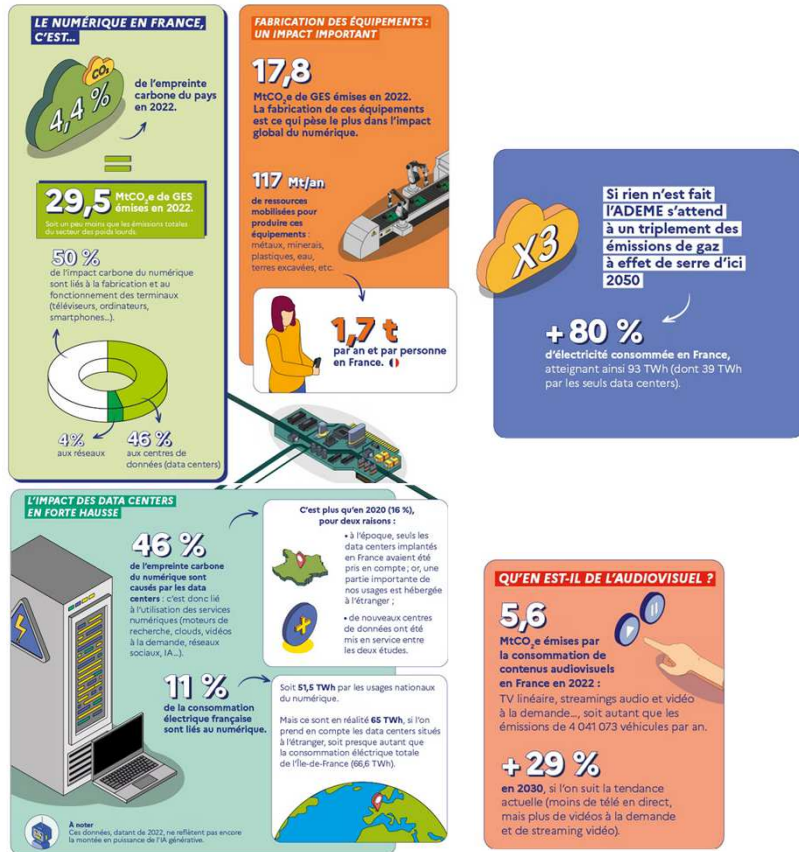
23/06/2025 - CONFIDENTIAL



www.irt-systemx.fr/en



Monitoring Carbon Footprint: A New Responsibility



- **EU Directive:** Carbon neutrality targeted by 2050.
 - **Why it matters:** Monitoring carbon emissions is becoming essential.
- Key Figures (Source: ADEME, ARCEP, French Senate Reports)**
- **Digital sector (2022):**
 - Accounts for **4,4%** of global greenhouse gas (CO₂) emissions.
 - Including **50%** from IT equipments
 - Including **46%** from datacenters
 - **Projected Growth:**
 - Could rise by **x3** by 2050.
 - **Energy Use:**
 - **11%** of annual electricity consumption comes from digital services.
 - **61%** of that is from the **manufacturing phase**.
 - Only **39%** relates to the **usage phase**.

<https://infos.ademe.fr/magazine-janvier-2025/numerique-quel-impact-environnemental-en-2022/>

Monitoring Carbon Footprint: A New Responsibility



<https://alliancegreenit.org/qui-sommes-nous>



<https://boavizta.org/methodologie>



<https://ecoinfo.cnrs.fr/2020/05/06/ecodiag/>



<https://github.com/hubblo-org/scaphandre>



<https://greenspector.com/fr/solutions/conseil-numerique-responsable/>



<https://arxiv.org/abs/1910.09700>



<https://planet-techcare.green/>



<https://github.com/alumet-dev/alumet>

And many others.... But,

Challenges

Several **non-standardized and siloed approaches** exist, but no widely accepted reference methodology is currently available

Data reliability is limited: hardware manufacturers do not provide precise carbon impact

Lack of visibility into applications deployed in the cloud

Environmental Impact of Digital Technologies Project - in a nutshell (2024-2026)

Why?

Provide **tools for assessing digital environmental performance**: a methodology based on Life Cycle Assessment (LCA) defining indicators, and transparent and homogeneous calculation methods that concretely quantify the benefits and associated environmental costs

4 applied case studies



Objectives - Developing tools to evaluate the environmental performance of digital technologies

- Define **evaluation rules on the environmental impacts** of physical components at every stage of the lifecycle of digital systems;
- Establish a **decision-making tool**
- Share with the scientific community **a systemic diagnostics guide on environmental impacts**

With?

Institutional Partner

Industrial partners



Academic Partners : **CentraleSupélec** • Laboratoire Interdisciplinaire des Sciences du Numérique (LISN) • **Sorbonne Université**



IEN Project (2024-2026) - Actions

✓ **2 theses started in October 2024**

 **Thesis #1** – Development of a methodology for assessing the environmental impacts of digital systems

CentraleSupélec
Laboratoire Interdisciplinaire
des Sciences du Numérique
(LISN)



 **Thesis #2** – Assessing the environmental footprint of DNS (Domain Name System)

Sorbonne Université



***Provide digital environmental performance assessment tools:**
a methodology based on LCA and the definition of indicators, and
transparent and homogeneous calculation methods which concretely
quantify the gains and associated environmental costs*



WHITE PAPER

**STATE OF THE ART OF
ENVIRONMENTAL IMPACT
OF DIGITAL TECHNOLOGIES**

MAY 2025



White Paper,
published in May
2025: <https://www.irt-systemx.fr/white-paper-environmental-impact-of-digital-technologies/>

Sustainable Cyberarchitecture



Sustainable IT park

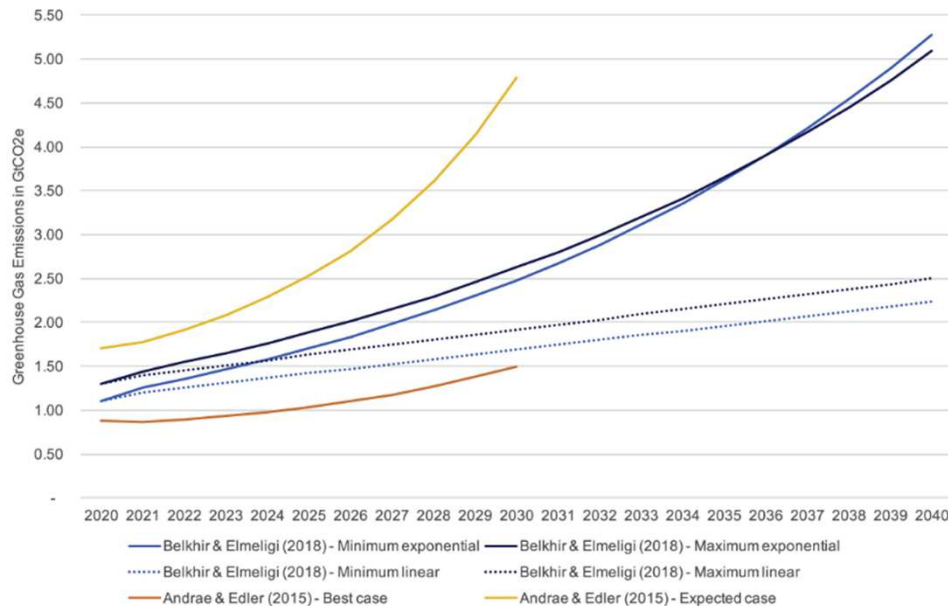


Sustainable AI



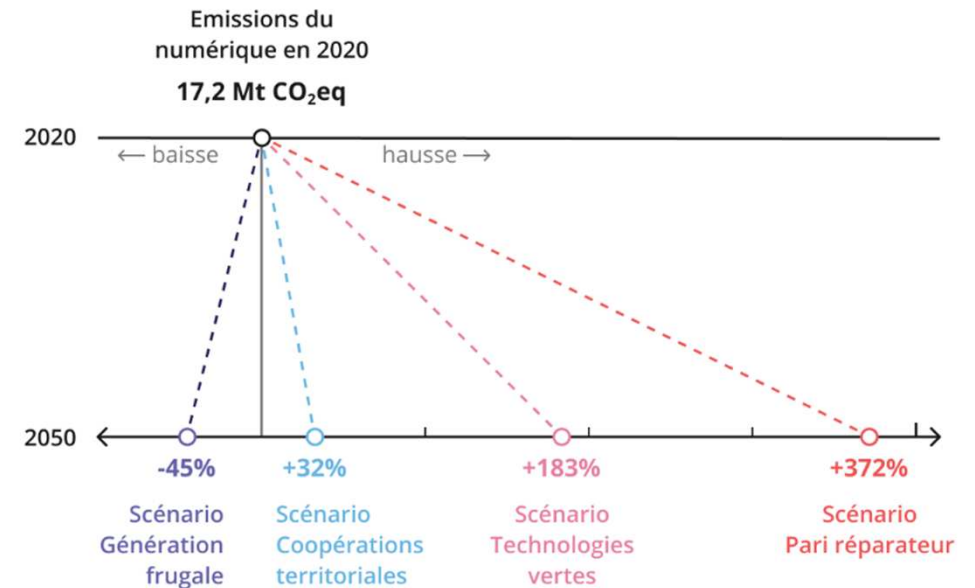
Issue from digital system

Environmental impact of digital service



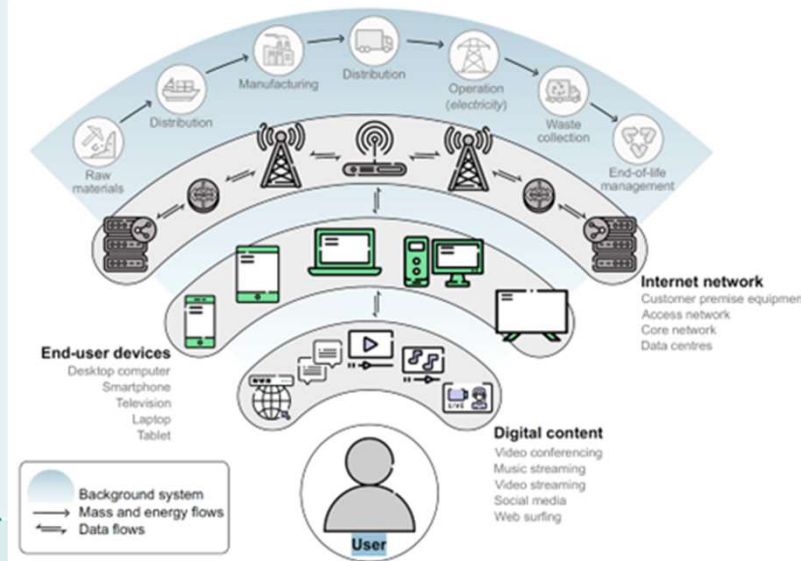
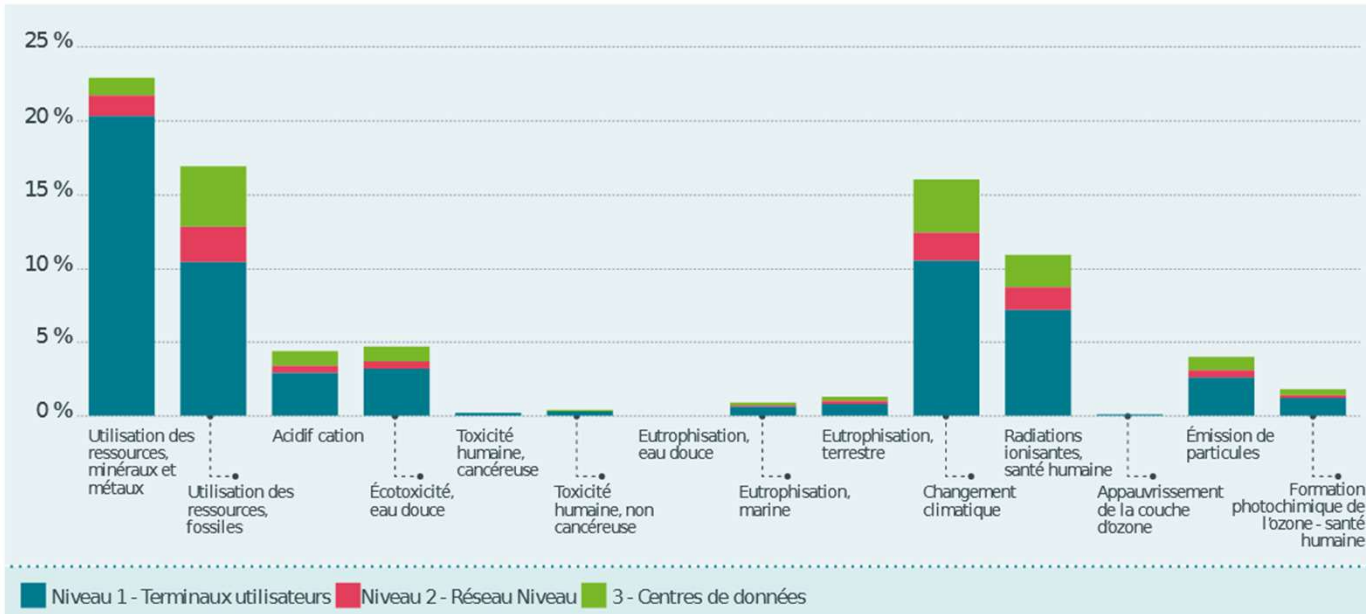
Forecasting of GHG emissions due to Information and Communication Technologies by 2050 – [Belkhir et al., 2018, Andrae et al., 2015, Freitag et al., 2021]

- Belkhir, Lotfi, et Ahmed Elmeligi. « Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations ». *Journal of Cleaner Production* 177: 448-63. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.239>.
- Andrae, Anders S. G., et Tomas Edler. « On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030 ». *Challenges* 6, no 1: 117-57. <https://doi.org/10.3390/challe6010117>.
- Freitag, Charlotte, Mike Berners-Lee, Kelly Widdicks, Bran Knowles, Gordon S. Blair, et Adrian Friday. « The Real Climate and Transformative Impact of ICT: A Critique of Estimates, Trends, and Regulations ». *Patterns* 2, no 9: 100340. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>.
- A. Berthelot, « L'empreinte environnementale complète d'un usage numérique : contribution à l'analyse de cycle de vie de services numériques », phdthesis, Ecole normale supérieure de Lyon - ENS LYON, 2024. Disponible sur: <https://theses.hal.science/tel-04874694>



Evolution of GHG emissions due to digital sector from 2020 to 2050 in France (from ADEME – Arcep) – [Berthelot, 2024]

Environmental impacts of digital

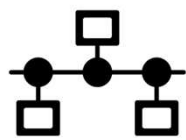


Environmental Impacts distribution from Life cycle assessment of digital in European Union in 2019.
[Berthelot 2024]

[Istrate et al. 2024]



Created by subima edita
from Noun Project



Created by BEARoons



Created by Prodybonds
from Noun Project

- A. Berthelot, « L'empreinte environnementale complète d'un usage numérique : contribution à l'analyse de cycle de vie de services numériques », phdthesis, Ecole normale supérieure de lyon - ENS LYON, 2024. Disponible sur: <https://theses.hal.science/tel-04874694>
- Istrate, R., Tulus, V., Grass, R.N. et al. The environmental sustainability of digital content consumption. *Nat Commun* 15, 3724 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-47621-w>

Development of a methodology for assessing the environmental impacts of digital systems

Motivations

- Methods fail to capture **the real impacts** of digital services
- **No standard** yet for assessing the environmental impacts of Digital services (varying practices)
- Mainly focused on Climate Change and CO2 emissions calculation
- Mainly based on energy consumption
- LCA-based studies remain scarce



Floris Thiant

SystemX
INSTITUT DE RECHERCHE
TECHNOLOGIQUE

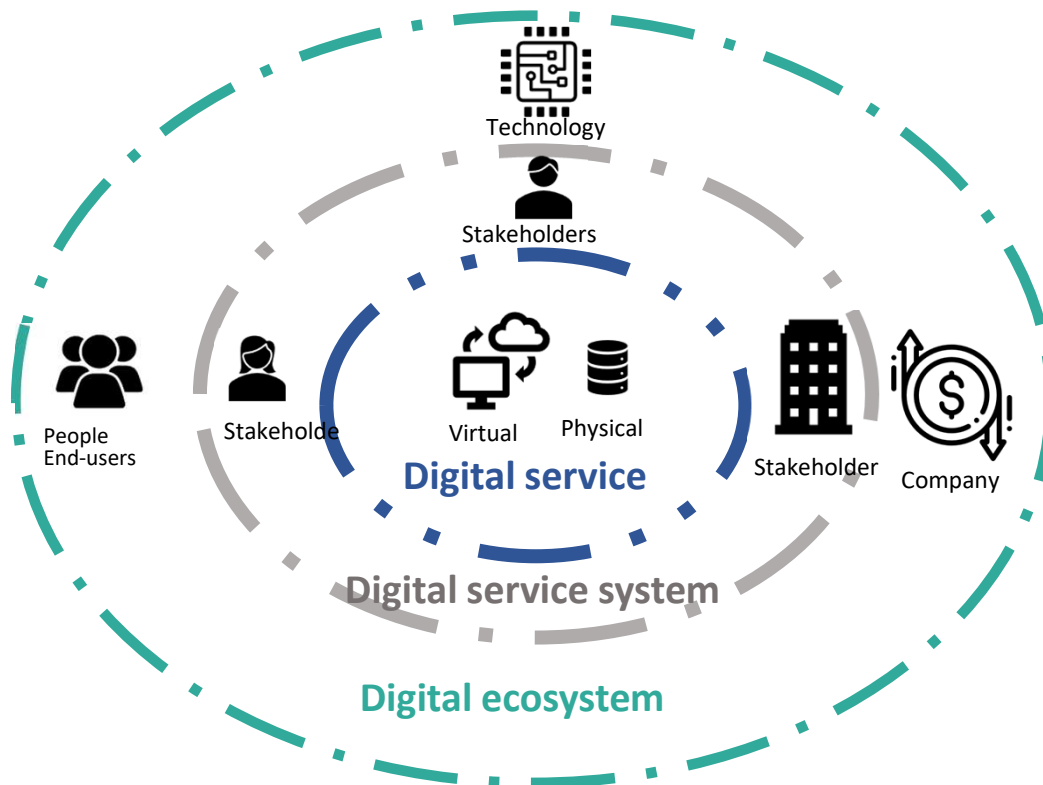
LISN
LABORATOIRE INTERDISCIPLINAIRE
DES SCIENCES DU NUMÉRIQUE


CentraleSupélec

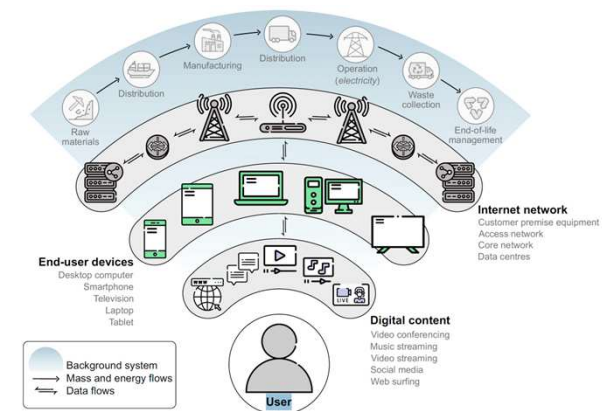

Laboratoire Génie Industriel

Digital service

Definition of the system boundaries



- The digital service in its environment can be considered as:
 - A complex system, especially a **System of Systems**
 - A **Product-service system**



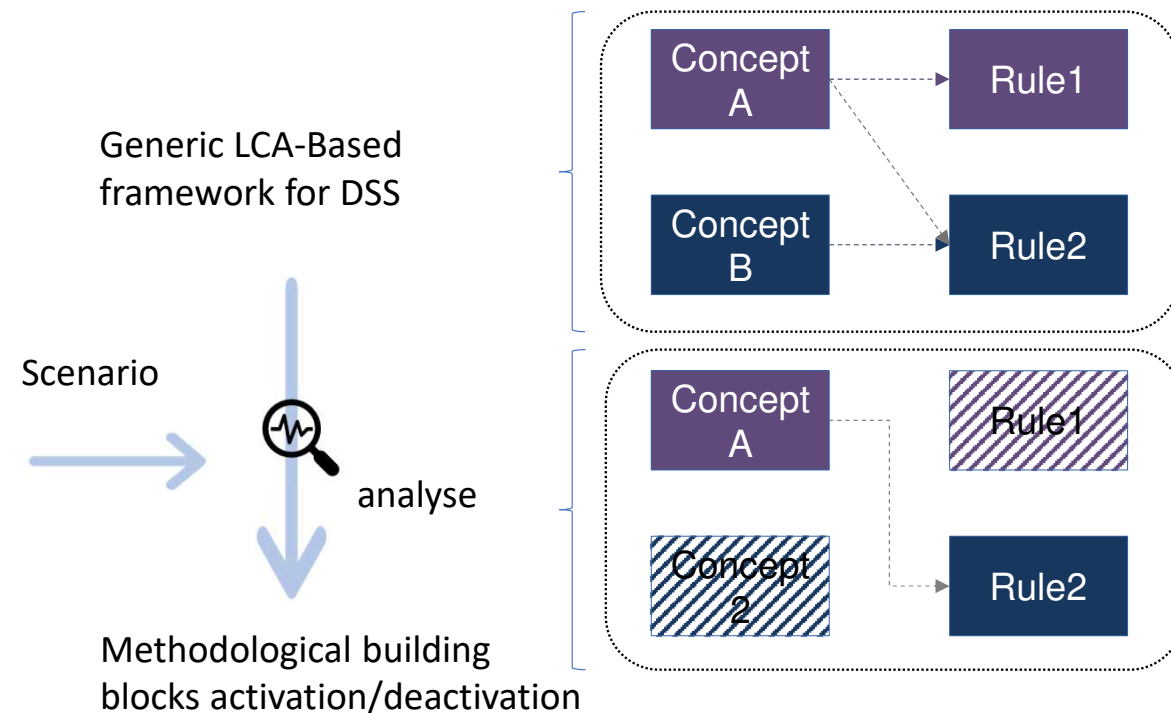
Modeling issues

- A digital service is [Salminen 2014]:
 - **Intangible**: services are activities and not physical objects
 - **Heterogeneous**: Services are unique products or unique processes. Services cannot be standardized due to inconsistency of behavior
 - **Inséparable**: services are consumed at the point of production
 - **Perishable**: services provides benefits for a limited duration (as a product), and capacity cannot be utilized to meet future demand without timely demand (perishable in capacity)
- Modeling issues:
 - IE depends on equipment and infrastructure – **time and spatial variability**
 - The shape of the study highly depends on the **final application**
 - IE depends on the functional breakdown of the system and the FU formulation
 - Allocation rules between equipment and services
 - Few rules to calibrate LCA-based studies

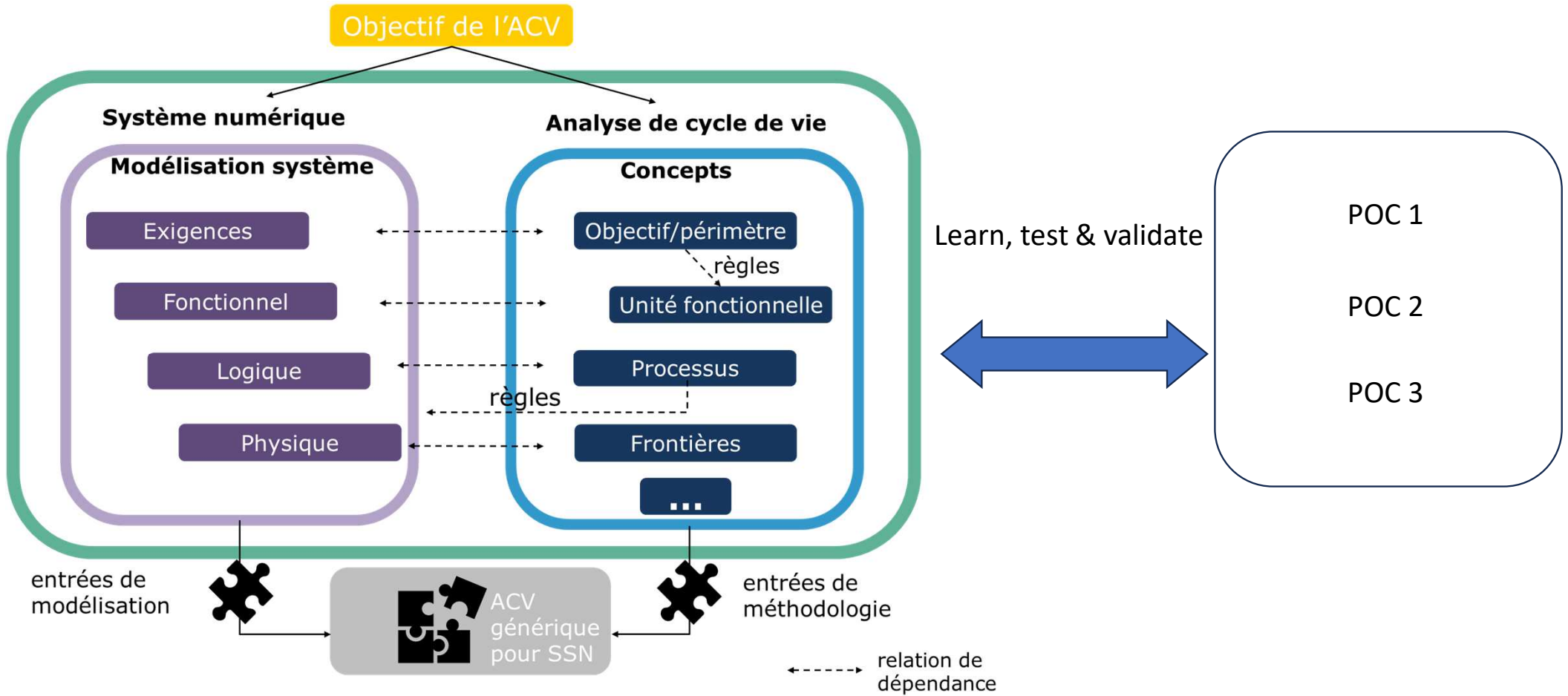
Salminen, J. (2014). Digital Services – How Are They Different? Proceedings of International Conference on Business, Information, and Cultural Creative Industry. Taipei, Taiwan, 6-8 August

- The main goal is to develop a generic framework to assess the environmental footprint of digital service systems (DSS) integrating:

- Future uses of LCA results (e.g. applications)
- Data scarcity and monitoring devices
- DSS consumption models and behavioral system of systems models



Digital service systems modeling framework





WHITE PAPER

STATE OF THE ART OF ENVIRONMENTAL IMPACT OF DIGITAL TECHNOLOGIES

MAY 2025



<https://www.irt-systemx.fr/white-paper-environmental-impact-of-digital-technologies/>

Thanks for your attention

Contacts: gwenaelle.berthier@irt-systemx.fr
vann.lerov@centralesupelec.fr

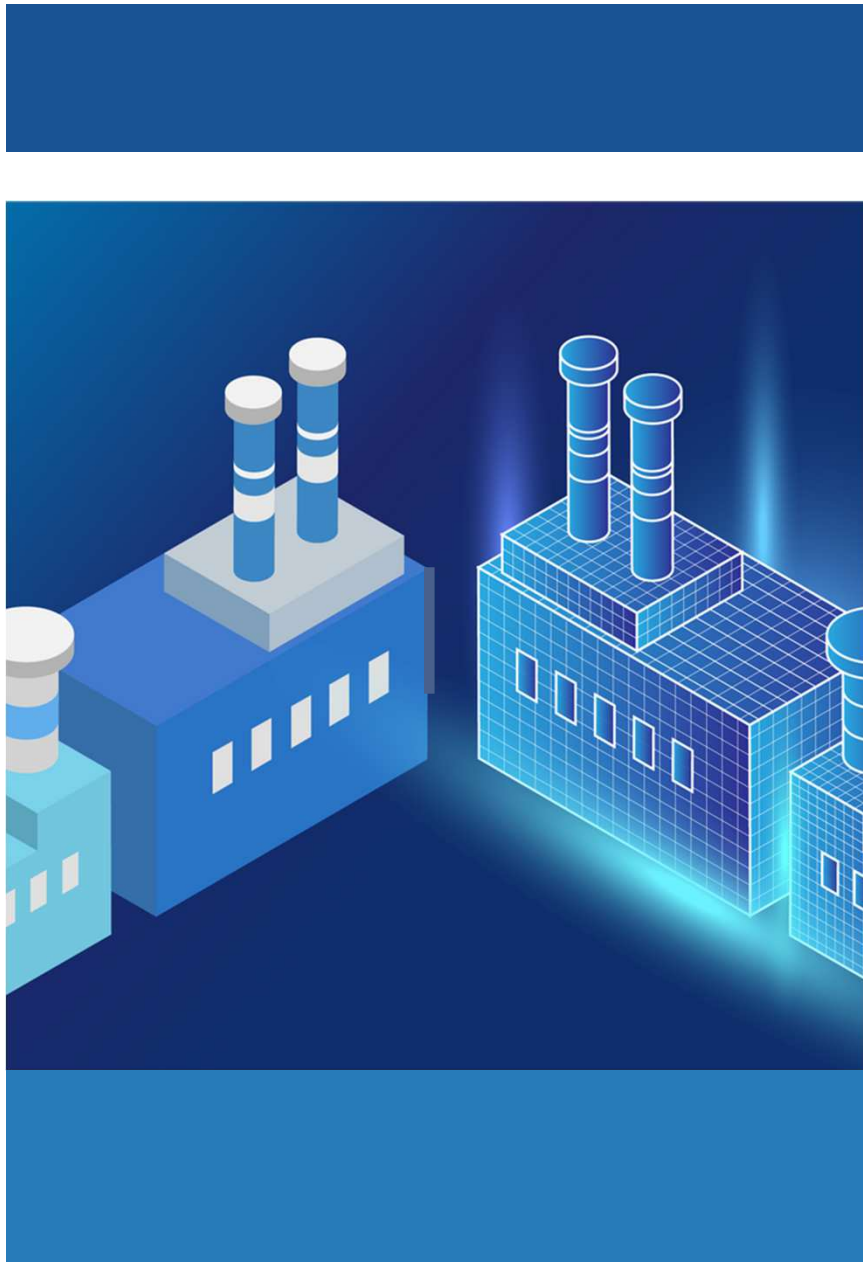
JNI Alliance CircularIT

19/06/2025 - CONFIDENTIAL



www.irt-systemx.fr/en



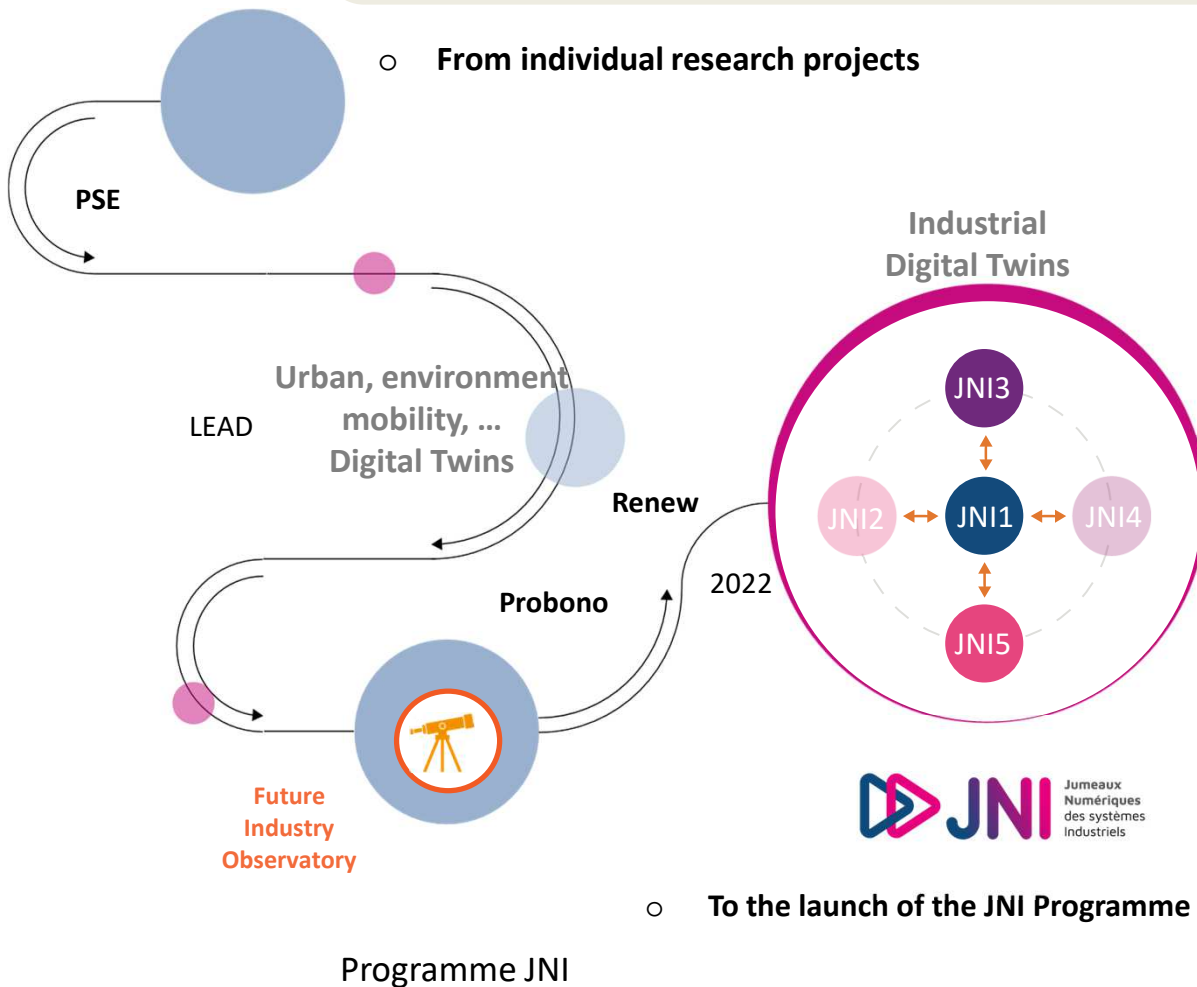


**PROGRAMME Jumeaux
NUMÉRIQUES INDUSTRIELS
pour une industrie durable
et résiliente**

Alliance CircularIT - SystemX Project IEN



Jumeaux numériques des systèmes industriels - JNI



Supporting the adoption of digital twins for industrial systems.



The Digital Twin Technology Adoption – Gartner:
productivity plateau 5 to 10 years



- ✓ How can I **keep control** of my engineering and know-how?
- ✓ How can I benefit from the advantages of digital twins for my company and **avoid cyber threats**?
- ✓ How can I master **digital continuity**, the complexity of interaction between my digital twins and my IT, and **avoid becoming dependent on technology suppliers**?

- 🎯 Conceive a methodological framework and toolkit for the engineering of complex industrial systems digital twins.
- 🎯 Prove this environment robustness through its capability of instantiating various DT : predictive maintenance, optimization, resilience, sustainability, ...in a secured manner.
- 🎯 Participate to standardization ecosystems to leverage the interoperability

Collaborative research projects



JNI1

A methodological cyber by-design toolkit for Engineering Digital Twins

Launched: September 2022 Duration: 3 years



JNI3

Digital Twin for predictive maintenance and health indicators

Launched: September 2022 Duration: 4 years



JNI5

Digital Twin for Reliability, Robustness and Resilience (R³) of critical Systems

Launched: September 2024 Duration: 4 years



Upcoming JNI projects



JNI1.1

Advanced JNI1



JNI4

Energy Consumption and Carbon impact optimization



JNI2

Supply Chain and logistic optimization

Other related JN projects

QIM Transition

DT for climate issues among residents of the Paris region

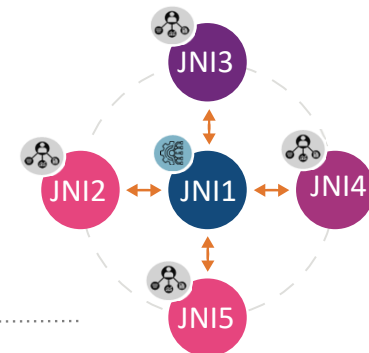
Launch: June 2025 Duration: 3 years



Industrialisation

Sovereign DT platform

Ask of industrial interests in progress

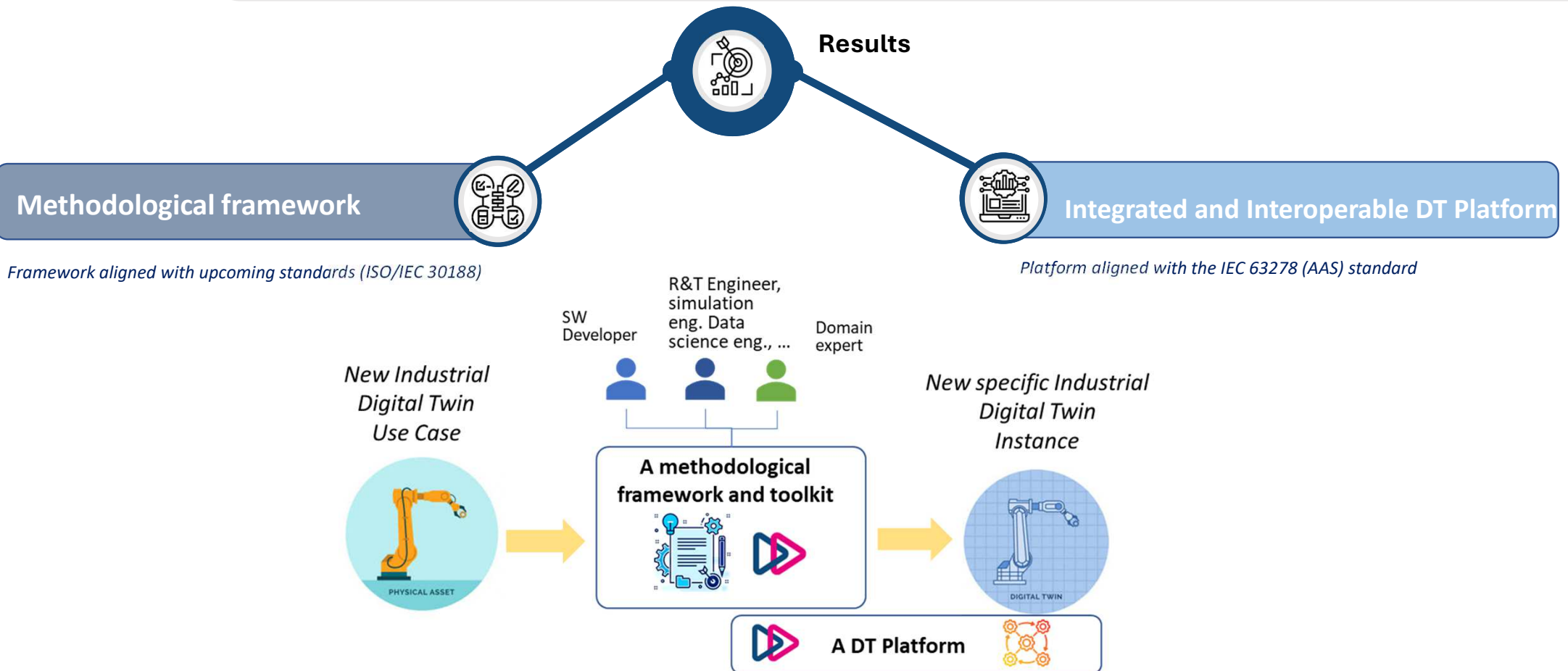


Base project

Thematical project

JNI Programme: Digital twins for complex industrial systems programme

Overview and outcomes



Overview and outcomes

- The digital twin platform is a set of integrated services, applications, that are designed to be used to implement industrial digital twins

- Key benefits:**



Implements the **Industry 4.0 standard**
Asset Administration
Shell



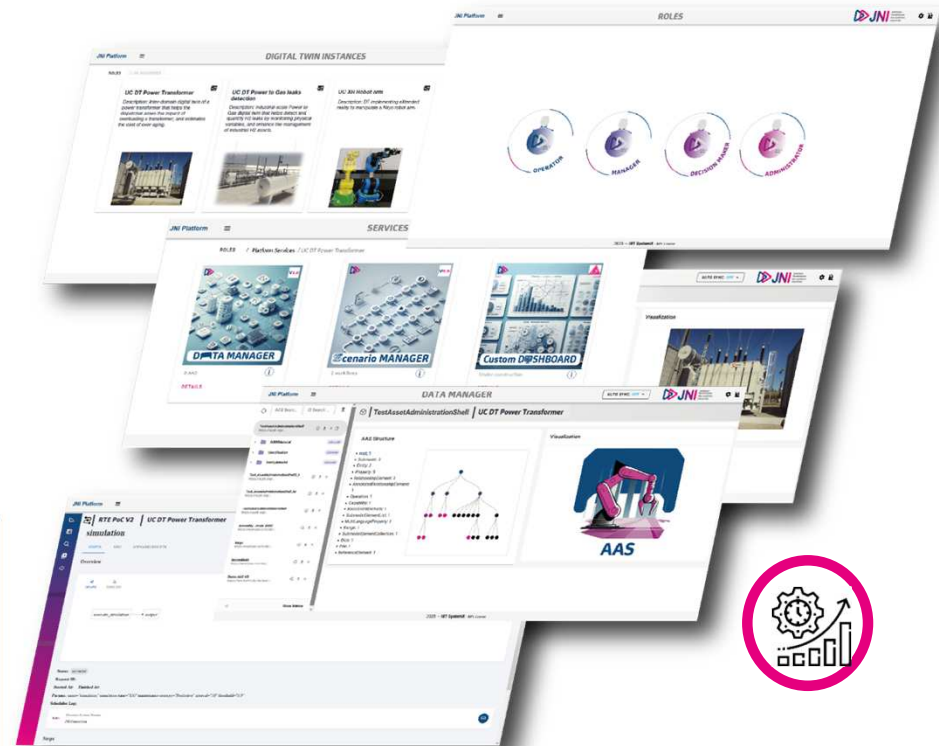
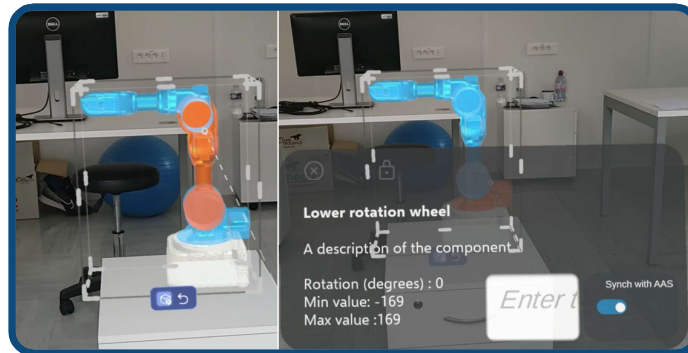
Provide a generic
scenario manager to
cover **DTC capabilities**



Open-source
Selection of open-
source solutions

Accelerated Time-to-PoC

JNI Platform



Cas d'usage du Programme Jumeaux Numériques Industriels

8 cas d'usages concrets de jumeaux numériques industriels

NAVAL
GROUP

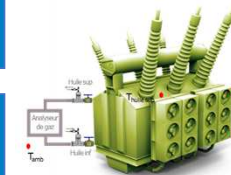
Optimisation énergétique du site naval de Lorient



Rte

Optimisation d'usage des transformateurs électriques

Maintenance prédictive des postes sous enveloppes métalliques



nafran

Maintenance prédictive du compresseur à rebours

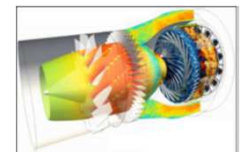
Anticipation des fuites d'hydrogène (Jupyter 1000)



SAFRAN

Sensibilité des données métiers des moteurs d'avions

Maintenance prédictive pour la décarbonation de l'aviation



SHERPA
ENGINEERING

Cyber résilience des voitures électriques



Global Understanding

A Structured collection of data related to a product

Manufacturer information, Sustainability & Circularity oriented information,...

...With defined purpose(s)

A “tool” to Support Performance requirements from EU Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR)

...With agreed data ownership and access rights

Essential Requirements on a « need-to-know » basis

...Accessible by electronic means

Connected through a data carrier (*affixed on product*) to a persistent unique product identifier. Achieved through decentralized system with a central registry.



**Tracking of
Raw Materials**



Ensure **Access** to
information



Tracking life story of a product, enabling
Service on Circularity



Market Surveillance,
Availability of information at customs



Reliable information to enable link between
Incentives and **Sustainability**
performances

COMPULSORY APPROACH of Digitalization in the European Market



Partenaires en discussion



Ambition partagée :

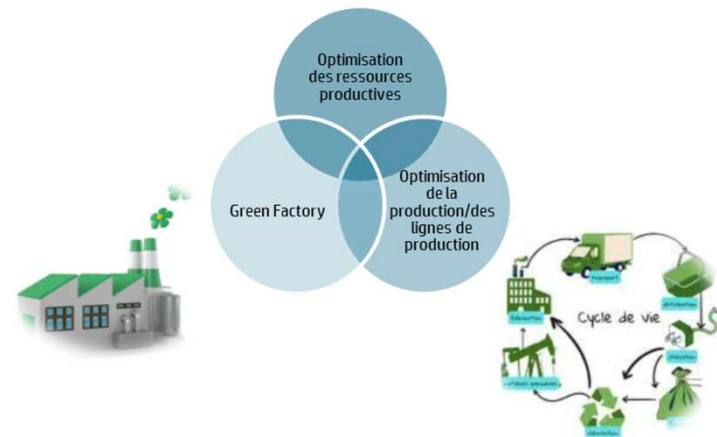
Développer un jumeau numérique pour optimiser l'efficacité énergétique des systèmes industriels et des chaînes d'approvisionnement, afin d'améliorer la gestion de l'économie circulaire tout au long de leur cycle de vie.

Objectif du projet :

- Développer un outil d'aide à la décision pour diminuer l'impact environnemental des systèmes complexes, y compris leur empreinte carbone
- Considérer le passeport numérique des produits dans la modélisation des assets
- Intégrer l'outil d'aide à la décision dans le pilotage de la performance des systèmes industriels
- Contribuer à la traçabilité des processus et des produits tout au long de leur cycle de vie pour piloter l'économie circulaire.

Ecosystème du projet :

- Bénéficier des assets technologiques du Programme JNI lancé par l'IRT-SystemX
- Participer à l'alliance CircularIT lancée par IRT-SystemX et CentraleSupélec
- Bénéficier de l'écosystème du programme en activités de standardisation et de normalisation (IDTA, Afnor, ISO, AIF ...)





Partenaires en discussion

En cours de
prospection

Ambition partagée :

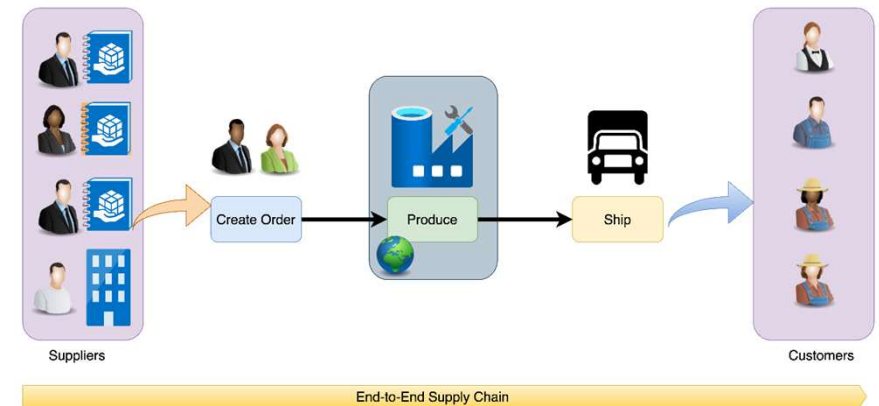
Développer un jumeau numérique pour optimiser l'efficacité de la chaîne logistique à chaque étape du cycle de vie d'un produit.

Objectif du projet :

- Identifier les Incertitudes et perturbations dans les chaînes d'approvisionnement
- Définir des stratégies de réacheminement dynamique pour gérer rapidement les perturbations
- Prédire et optimiser des stratégies alternatives pour palier les perturbations de la supply chain
- Faire des recommandations pour l'optimisation de la chaine logistique dans un contexte d'entreprise étendue

Ecosystème du projet :

- Bénéficier des assets technologiques du Programme JNI lancé par l'IRT-SystemX
- Bénéficier de l'écosystème du programme en activités de standardisation et de normalisation (IDTA, Afnor, ISO, AIF ...)



QIM-Transition : Comment accompagner la résilience territoriale et mettre en œuvre de la Transition écologique et énergétique en Ile-de-France ?

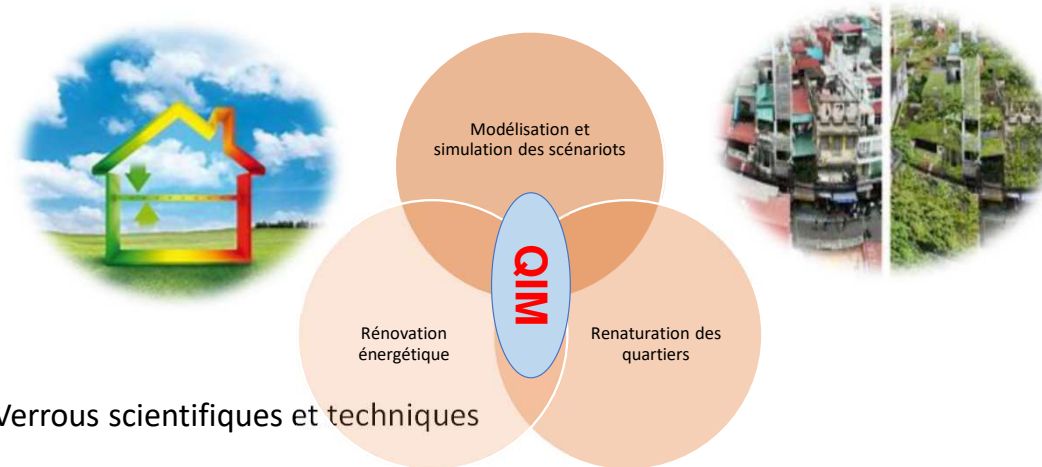
Objectifs du projet :

- Faciliter l'adaptation aux changements climatiques en termes de résilience territoriale, de renaturation en ville et de rénovation énergétique.
- Accompagner la mise en œuvre de la Transition écologique et énergétique en Ile-de France avec des outils technologiques et pédagogiques basés sur la recherche scientifique.
- Promouvoir une information climatique éclairée basée sur les études des expert.es scientifiques, des faits et des mesures

Attentes du projet :

- Réalisation d'outils numériques **d'aide à la décision** pour mesurer l'efficacité des projets d'aménagement des tissus urbains et ruraux (biodiversité, CO2, qualité de l'air, santé, soutenabilité alimentaire, coût économique, etc.).
- Développement d'outils avec une **facilité d'utilisation**, une ergonomie et une intelligibilité des résultats et actions pour promouvoir la sensibilisation continue aux enjeux climatiques et élargir l'adoption des dispositifs et les projets d'aménagement mis en place.

Cas d'usage envisagés :



- Visualisation des données et sensibilisation des usagers
- Modélisation et simulation des systèmes pour la conception d'infrastructures (bâtiments, urbanisme..) en fonction des données climatiques/ environnement

❖Axe 1 : Technologique et scientifique

Livrables : Portfolio d'outils de modélisation, simulation et visualisation de scénarios

Modéliser les scénarios de transition environnementale

Simuler les interactions entre les différentes parties prenantes des scénarios envisagés

Mesurer en amont l'impact des décisions proposées

Visualiser les projets d'aménagement urbains et ruraux à l'aide de solutions ergonomiques et immersives pour une meilleure compréhension des enjeux climatiques.

❖Axe 2 : Communication et sensibilisation

Livrables : Support de communication et événement de sensibilisation

Ateliers d'échanges avec les agents territoriaux pour capturer le besoin et identifier les attentes

Séminaires et journée thématiques destinées au grand public avec une première démonstration des outils développés en novembre 2025.

Déployer un support de communication ludique

Des publications et communications dans des revues et conférences scientifiques.

❖Axe 3 : recherche de solutions collectives

Livrables : Rapport d'avancement

Ecosystème de recherche avec 3 laboratoires (LGI, LSCE, LURPA) pour une approche globale à la croisée de plusieurs disciplines

Associer des acteurs industriels de référence pour des expertise, données, développement, ...

Favoriser l'interaction entre les différentes instances de recherche

Données

DataSet-1

DataSet-2

DataSet-3

DataSet-n



Modèles

Cosmo-
Tech

LGI/
LURPA

LSCE

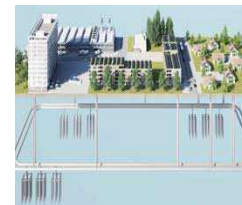
ISX

...

Scenarios

KPI (qualité de l'air, CO2, Indice
énergétique, ...)

Cas d'usage n° 1 :
JN pour la rénovation
énergétique du bâti



Cas d'usage n° 2 :
JN pour la renaturation



Recommandations pour l'aide à
la décision



Simulation par Jumeaux Numériques



Boosting Digital Transformation

Merci

Contacts

Amira.benhamida@irt-systemx.fr

Stephen.creff@irt-systemx.fr

Achraf.kallel@irt-systemx.fr



www.irt-systemx.fr/en

