

# L'Usine du futur

**ANALYSE, BILAN ET IMPACT  
DES PROJETS FINANCÉS (2014 – 2023)**



**Les cahiers de l'ANR**  
NUMÉRO 19 – MAI 2025





## Les cahiers de l'ANR

*Les cahiers de l'ANR* traitent de questions thématiques transverses aux différents appels à projets financés par l'Agence nationale de la recherche (ANR). Cette collection, qui existe depuis 2009, met en perspective les recherches, les innovations et les avancées en cours dans un domaine spécifique. Sans prétention d'exhaustivité, son objectif est de revenir sur les enjeux sociétaux et les défis d'avenir identifiés par les communautés de recherche mobilisées sur une thématique. Les cahiers de l'ANR s'adressent aussi bien aux chercheurs qu'aux décideurs politiques et au grand public.

Le présent cahier a pour thème principal l'Usine du futur ou encore l'Industrie 4.0. Il présente une analyse des différents projets financés par l'ANR dans le cadre de son Plan d'action et de France 2030, dans ce domaine, entre 2014 et 2023.

Ce cahier, le 19<sup>e</sup> de la collection a été rédigé par Mamadou Mboup, responsable adjoint du département NuMa (Numérique et Mathématiques) et responsable scientifique au département SPICE (Sciences Physiques, Ingénierie, Chimie, Énergie), axe « Industrie et Usine du futur », avec la contribution de Grégoire Vautrin, chargé de projets scientifiques au département SPICE, axe « Industrie et Usine du futur », notamment pour la collecte et l'analyse des données.

Ce cahier a été réalisé en collaboration avec la Direction de l'information et de la communication, la Direction de la stratégie numérique et des données et la Direction des grands programmes d'investissement de l'État.

Nous remercions les coordinateurs et les coordinatrices des projets présentés dans ce cahier ainsi que les personnes qui ont contribué à sa relecture et sa réalisation.

# Sommaire

P.01 | Préface

## **PARTIE 1**

### **Introduction**

P.02 | Usine du futur ou Industrie 4.0 : contexte et état des lieux

P.04 | Plan d'action de l'ANR

P.04 | Usine du futur à l'ANR : programmation et outils de financement

## **PARTIE 2**

### **Analyse**

P.06 | Panorama des projets

P.11 | Cartographie par nature et instrument de financement

P.14 | Cartographie par thématiques

P.20 | Analyse du partenariat des projets entre 2014 et 2023

## **PARTIE 3**

### **Présentation de 15 projets**

P.26 | Pilier 1 – Technologies

P.30 | Pilier 2 – Organisation

P.33 | Pilier 3 – Humain

# PRÉFACE

**Claire Giry, Présidente-directrice générale  
de l'Agence nationale de la recherche (ANR)**



## Stimuler le renouveau industriel : retour sur dix ans de recherche

Même si les enjeux industriels ont été prégnants dans le débat public depuis plusieurs décennies, ils prennent aujourd'hui une place majeure, tant dans une perspective de préservation de la compétitivité industrielle de la France que pour des raisons liées à la souveraineté du pays. À ces considérations d'ordre économique et géopolitique, s'ajoutent désormais l'urgence climatique et les attentes en termes de développement durable qui réinterrogent les systèmes de production et le modèle industriel.

Il y a un peu plus de dix ans, s'imposait le concept d'« industrie 4.0 » : une promesse de convergence entre deux mondes, celui du numérique et celui de l'industrie. Depuis, les ambitions se sont élargies. L'industrie de demain ne peut plus se concevoir sans penser ses relations avec la société et l'environnement, d'une part, et sans prendre en compte l'émergence et les usages de l'intelligence artificielle, d'autre part.

Dès 2013, le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche s'était saisi du sujet lors de la mise en place de la nouvelle stratégie pour la recherche, le transfert et l'innovation « France Europe 2020 », en identifiant, parmi les neuf défis sociétaux majeurs, un défi pour « Stimuler le renouveau industriel ». Ce défi s'était notamment traduit dans le Plan d'action 2014 de l'ANR

par la création d'un axe scientifique dédié à « l'Usine du futur », dont les objectifs et le contenu s'appuyaient sur les conclusions de l'atelier de réflexion prospective FUTURPROD lancé fin 2011 par l'ANR.

Dix années plus tard, on peut dresser un premier bilan : 178 projets ont été financés sur cette thématique de l'Usine du futur, entre 2014 et 2023, pour un montant d'aide total approchant les 100 millions d'euros. Ce soutien s'est manifesté non seulement dans le cadre de l'Appel à projets générique, et notamment de l'axe scientifique dédié au sujet, mais également par le biais d'autres dispositifs de financement, notamment pour soutenir la recherche partenariale publique-privée, les collaborations européennes et internationales, ou encore *via* les programmes de France 2030.

Ce cahier de l'ANR revient sur cette décennie d'engagement. Il en présente un bilan en termes de résultats scientifiques, de structuration de communautés, de collaborations entre les acteurs de la recherche publique et le monde industriel et d'ouverture à l'international.

Ce bilan interroge l'évolution de la notion même d'industrie du futur à l'aune des défis climatiques, technologiques et sociaux actuels, et réaffirme le rôle essentiel de la recherche pour y répondre.

PARTIE 1

# Introduction

## Usine du futur ou Industrie 4.0 : contexte et état des lieux

Les économies des pays de l'OCDE ont en commun deux mouvements inverses, marqués par une tertiarisation de plus en plus forte et une désindustrialisation continue depuis le milieu des années 1970. En France, le nombre d'emplois dans le secteur tertiaire a été multiplié par 1,8 entre 1970 et 2020 alors que, dans la même période, l'industrie perdait 38 % de ses emplois<sup>(1)</sup>. La France est, au sein de l'Union européenne, l'un des pays où le poids des activités de service dans l'emploi est le plus fort tandis que celui de l'industrie est le plus faible<sup>(2)</sup>.

Le milieu des années 1970 marque aussi le début d'un ralentissement général de la croissance dans les pays de l'OCDE. Certains acteurs, y compris dans le monde de l'économie politique<sup>(3)</sup>, y voient une incapacité du secteur tertiaire à soutenir la productivité. Les mises en garde de tout bord contre une tertiarisation trop poussée de l'économie, au détriment de l'industrie, n'ont pas eu d'effet sur la progression de ce secteur, dopée par les transformations du numérique dans un monde globalisé. Dans le même temps, les préoccupations environnementales grandissantes ont renforcé l'image négative d'une industrie anachronique et polluante<sup>(4)</sup>. L'idée d'une France moderne synonyme d'une France « *fabless* », sans industrie, est portée haut par ceux qui veulent hâter l'entrée dans l'ère postindustrielle et dénoncent « ce condensé de nostalgie qu'est le fantasme de la réindustrialisation »<sup>(5)</sup>.

Pour autant, le rôle primordial du secteur de l'industrie dans l'économie d'un pays comme la France, dans sa souveraineté nationale, tout comme dans son rayonnement international, n'a jamais été remis en cause. La pandémie de la Covid-19 et la guerre en Ukraine en cours confirment l'ampleur des dangers liés à la désindustrialisation.

Plutôt qu'un divorce consommé, les aspirations de la société ont évolué vers une industrie renouvelée, en accord avec son temps. L'opposition secteur tertiaire *versus* industrie a rapidement été dépassée : il faut penser *réconciliation*, *intégration* industrie-tertiaire qui rende caduque toute tentative de délimitation de leurs frontières respectives.

Après une étape marquée par une forte automatisation des systèmes de production, le dépassement devait venir de la fusion entre le monde numérique de l'internet et celui de la production industrielle : « Nous devons [...] gérer rapidement la fusion entre le monde numérique et celui de la production industrielle. En Allemagne, nous appelons cela l'Industrie 4.0. » – Angela Merkel<sup>(6)</sup>, Chancelière allemande de 2005 à 2021.

Le programme « Industry 4.0 » figure ainsi parmi les dix « Projets d'avenir » lancés en 2012 par le gouvernement allemand dans le cadre du plan d'action de sa Stratégie High Tech 2020. Ce programme avait pour vocation de réhabiliter et maintenir le leadership de l'industrie allemande.

Parallèlement, la reconquête industrielle est lancée en France en 2013. Le gouvernement mobilise les acteurs économiques et industriels autour de la Nouvelle France industrielle, dotée de 34 plans destinés à réinventer une industrie « nouvelle et compétitive, capable de gagner des parts de marché en France et à l'international et de créer ainsi des emplois nouveaux »<sup>(7)</sup>. C'est sans surprise que l'Usine du futur figure parmi ces plans, ainsi que la cybersécurité, la robotique, les objets connectés et la réalité augmentée.

Le programme allemand « Industry 4.0 » est piloté par le ministère fédéral allemand de l'Éducation et de la Recherche (BMBF) et le BMWI<sup>(8)</sup>, donnant ainsi une place visible à la recherche. À l'inverse, la Nouvelle France industrielle est entièrement conçue pour l'industrie. En effet, la totalité des 34 plans de la Nouvelle France industrielle s'adressent en priorité aux acteurs industriels, en dehors de l'écosystème de la recherche académique (universités et organismes de recherche), exceptés le CEA et quelques grandes écoles. Pour le plan Usine du futur, en particulier, une enveloppe de 360 millions d'euros, allouée en 2013, a été essentiellement investie dans des PME et ETI pour l'acquisition de robots et leur intégration, susceptibles de leurs redonner de la compétitivité<sup>(9)</sup>. L'« accompagnement des PME et des ETI dans leur diagnostic et leurs actions de modernisation » constitue en effet le cœur du plan. Il est complété par un axe dédié à la « mise en place de lignes de production pilotes, vitrines du savoir-faire français », animé par de grands groupes et par des « projets de R&D » pilotés par le CEA et des équipementiers<sup>(7)</sup>.

1. La part de l'emploi tertiaire est passée de 52 % en 1970 à 78 % en 2020. Voir « Activité, emploi et chômage en 2020 et en séries longues », Enquête emploi en continu – Insee Résultats.

2. En 2018, le poids du tertiaire en France est 4,7 points au-dessus de la moyenne UE au moment où celui de l'industrie est 3,9 point inférieur à la moyenne UE. Voir « Tableaux de l'économie française », édition 2020 – Insee Références.

3. Voir les déclarations de :

• Raymond Barre (1991) : « L'industrie manufacturière est le fondement de la compétitivité. La "société de services" s'appuie sur l'activité manufacturière, puisque la création d'emplois dans les services est pour une large part subordonnée à l'industrie... » ;

• Dominique Strauss-Kahn (1998) : « [...] notre effort doit se porter d'abord sur la production, et notamment la production industrielle, sur la création de vrais emplois qui sont des emplois directement productifs ».

4. Veltz P. et Weil T. (dir.) (2014), *L'industrie, notre avenir*, Eyrolles.

5. Landier A. et Thesmar D. (2013), *10 idées qui coulent la France*, Flammarion.

6. "We must [...] deal quickly with the fusion of the online world and the world of industrial production. In Germany, we call it Industry 4.0." Discours prononcé lors du Forum économique mondial à Davos, Suisse, en janvier 2015, par Angela Merkel, chancelière allemande, <https://www.industrial-union.org/industry-40-the-industrial-revolution-happening-now>

7. La Nouvelle France industrielle – Présentation des feuilles de route des 34 plans de la Nouvelle France industrielle.

Voir <https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/nouvelle-france-industrielle-sept-2014.pdf>. Voir aussi <https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/dp-indus-futur-2016.pdf>.

Si le volet recherche académique de l'Usine du futur est à peine trouvable, même à la périphérie des plans précédents, il est au centre des préoccupations de l'ANR qui, dès juin 2011, lance l'Atelier de réflexion prospective (ARP) FUTURPROD : Les systèmes de production du futur. Cet ARP, porté par le laboratoire G-SCOP - INP Grenoble, et trois réseaux nationaux de recherche – l'AIP-PRIMECA, le GDR MACS et la Société française de génie des procédés –, devait :

- imaginer les systèmes de production à l'horizon 2030 ;
- renouveler en profondeur les approches scientifiques afin d'aborder la production industrielle comme un système aux dimensions multiples : techniques, organisationnelles, économiques, humaines et sociales ;
- contribuer à l'élaboration des futurs programmes de l'ANR en définissant un ensemble de priorités thématiques de recherche.

L'ANR a intégré les conclusions de FUTURPROD<sup>(10)</sup>, dès son Plan d'action 2014 (PA 2014)<sup>(11)</sup>, dans la programmation du Défi 3 – « Stimuler le nouveau industriel ». Ces conclusions constituent encore aujourd'hui en 2025 le socle de l'axe H.19 : « Industrie et Usine du futur : Hommes, Organisation, Technologies » de l'Appel à projets générique (AAPG) de l'ANR.

## Plan d'action de l'ANR

Chaque année le Plan d'action de l'ANR (PA) décrit les actions et les appels à projets proposés par l'Agence, il donne une vue générale de son offre de financement. Il est structuré en quatre composantes transversales, chacune d'entre elles disposant d'un budget, d'instruments de financement, d'appels à projets et de programmes spécifiques.

1. La composante « Recherche et innovation », portée par l'Appel à projets générique (AAPG) introduit en 2014, est structurée en 57 axes de recherche pour l'édition 2025. L'AAPG comprend aujourd'hui cinq instruments de financement :

- JCJC – « Jeunes chercheuses et jeunes chercheurs » – projets de recherche individuelle
- PRME – « Projet de recherche mono-équipe »
- PRC – « Projet de recherche collaborative »
- PRCE – « Projet de recherche collaborative – entreprise »
- PRCI – « Projet de recherche collaborative – international »

2. Les actions spécifiques hors AAPG (Flash, Challenges, appels spécifiques) sont mises en place hors du calendrier habituel de l'AAPG afin de répondre à des besoins urgents de recherche, à une priorité décidée par l'État, ou encore dans le but de mettre en compétition ou de faire collaborer des équipes de recherche afin de lever des verrous scientifiques ou technologiques majeurs.

3. La composante « Construction de l'espace européen de la recherche (EER) et attractivité internationale de la France » vise à impulser des dynamiques partenariales de recherche de haut

niveau et à développer le leadership des équipes françaises dans les programmes européens et internationaux.

4. La composante « Impact économique de la recherche et compétitivité » (IERC) est axée sur le soutien à des projets en partenariat public-privé et le transfert des résultats de la recherche publique vers le monde économique.

## Usine du futur à l'ANR : programmation et outils de financement

Pour contribuer à réaliser l'objectif du Défi 3, clairement indiqué dans son intitulé « Stimuler le nouveau industriel », le Plan d'action 2014 (PA 2014) prévoyait « d'intégrer pleinement les enjeux et contraintes à venir [...] afin de préparer une industrie propre plus durable et justement plus compétitive » qui doit « prendre en compte les dimensions humaines de l'industrie et du travail ». Cette description place d'emblée l'Usine du futur au cœur de ce défi. S'appuyant sur les recommandations des alliances<sup>(12)</sup> Allistene, AllEnvi, ANCRE et Athéna, et sur les conclusions de FUTURPROD, le défi était alors structuré en cinq axes dans le PA 2014, à savoir :

- **Axe 1** : Travail – organisation, relation, formation, santé... ;
- **Axe 2** : Sciences et technologies de production, l'usine numérique ;
- **Axe 3** : Produits – conception, procédés et matériaux ;
- **Axe 4** : Chimie durable, génie chimique et biotechnologie blanche ;
- **Axe 5** : Apport des nanosciences et nanotechnologies aux matériaux fonctionnels et biotechnologies.

8. Le BMBF, ministère fédéral allemand de l'Éducation et de la Recherche, est l'agence du gouvernement fédéral allemand chargé du financement de la recherche. Le BMWI est le ministère fédéral allemand de l'Économie et de l'Énergie.

9. Rapport relatif à la mise en œuvre et au suivi des investissements d'avenir, France 2030 & Investissements d'avenir, Rapport du Sénat sur le projet de loi de finances pour 2023, <https://www.senat.fr/rap/l22-115-317/l22-115-3171.pdf>.

10. Voir le rapport final ici : <https://anr.fr/fr/actualites-de-lanr/details/news/arp-futurprod-rapport-final-en-ligne/>

11. Les conclusions ont été déposées le 28 mai 2013. Le Plan d'action 2014 a été publié en juillet 2013. Il est disponible ici : <https://anr.fr/fileadmin/aap/2014/pa-anr-2014-aap-generique.pdf> et celui de 2024, ici : <https://anr.fr/fileadmin/documents/2023/ANR-PA-2024-v2.pdf>.

12. Les cinq alliances thématiques de recherche (Aviesan pour la santé, ANCRE pour l'énergie, ALLISTENE pour le numérique, AllEnvi pour l'environnement et ATHENA pour les sciences humaines) ont été créées pour la mise en œuvre de la Stratégie nationale de la recherche. Voir Rapport n° 453 de l'OPECST, Les alliances : une nouvelle dynamique pour la recherche, 2011.

Ce découpage en axes est affiné dans le PA 2015 pour un alignement sur la Stratégie nationale de la recherche<sup>(13)</sup> et devient :

- **Axe 1** : Travail – place de l'homme, organisation des écosystèmes, valeur sociétale ;
- **Axe 2** : Usine du futur – système, produit, process ;
- **Axe 3** : Matériaux et procédés ;
- **Axe 4** : Chimie durable, produits, procédés associés ;
- **Axe 5** : Nanomatériaux et nanotechnologies pour les produits du futur.

La mention explicite « Usine du futur » dans l'intitulé de l'axe 2 ne la cantonne pas pour autant à cet axe. En effet, dans l'esprit du PA 2015, l'Usine du futur est plutôt un domaine diffusant à travers tout le Défi 3. La description de l'axe 1, à savoir « Le domaine concerné est donc celui de l'usine du futur, telle qu'envisagée dans plusieurs axes de ce défi, mais aussi l'ensemble de l'écosystème devant exister autour, et entre, ces « usines du futur » est claire à cet égard. Par la suite, le PA 2017 a opté pour un regroupement de ces « usines du futur », par une fusion des axes 1 et 2, en un nouvel axe 1 : « Usine du futur : homme, organisation, technologies ». En plus d'une lisibilité accrue du PA, cette réorganisation a pour but de rappeler et favoriser l'interdisciplinarité inhérente au domaine : le triptyque « homme, organisation, technologies » en appelle aux sciences humaines et sociales (SHS), aux sciences du numérique (SdNum) et aux sciences pour l'ingénieur (SPI). Cette structuration a survécu à l'abandon par l'ANR d'une organisation autour des défis sociétaux au profit d'une organisation en domaines disciplinaires à partir du PA 2019. L'axe 2 est renuméroté « Axe H.19 » et est aussi identifié par le comité d'évaluation CE10 qui lui est associé dans la bijection axe/comité d'évaluation introduite par l'AAPG 2019. Le périmètre scientifique est resté inchangé même après l'ajout du mot « industrie » dans le titre, intervenu dans le PA 2020.

En plus de l'AAPG, le domaine de l'Usine du futur est aussi présent dans d'autres composantes du PA, comme les appels spécifiques, les appels à l'international et les appels public-privé.

Le périmètre de l'étude menée dans ce cahier couvre ainsi l'ensemble des projets financés par l'ANR entre 2014 et 2023, à travers toutes les composantes du Plan d'action.

Depuis 2010, l'ANR est également opérateur des Grands Programmes d'investissement de l'État dans le champ de l'enseignement supérieur et de la recherche. Il s'agit des Programmes d'investissements d'avenir (PIA) de 2010 à 2017, intégrés à France 2030 à partir de 2021. Les objectifs généraux de ces programmes sont de stimuler l'emploi, de renforcer la productivité et d'accroître la compétitivité des entreprises françaises en favorisant l'investissement et l'innovation dans des secteurs prioritaires, générateurs de croissance. Ainsi, au-delà du PA, cette étude inclut aussi les projets financés par l'ANR, dans la thématique de l'Usine du futur entre 2014 et 2023, dans le cadre de ces programmes. Les projets en question concernent essentiellement des projets portés par des Instituts de recherche technologique (IRT)<sup>(14)</sup>.

13. Voir : [https://www.info.gouv.fr/upload/media/organization/0001/01/sites\\_default/files\\_contenu\\_piece-jointe\\_2015\\_t1\\_rapport\\_strategie\\_nationale\\_de\\_recherche\\_snr.pdf](https://www.info.gouv.fr/upload/media/organization/0001/01/sites_default/files_contenu_piece-jointe_2015_t1_rapport_strategie_nationale_de_recherche_snr.pdf)

14. Site de l'ANR, Instituts de recherche technologique (IRT), appel à projets, 2010 : <https://anr.fr/en/france-2030/call-for-proposals-details/call/appel-a-projets-instituts-de-recherche-technologique-irt/>

PARTIE 2

# Analyse

## Panorama des projets

### Collecte et traitement des données

Les projets financés dans l'axe de l'AAPG dédié à la thématique de l'Usine du futur, entre 2015 et 2023, font naturellement partie du cadre de cette étude. Ils en forment alors le corpus initial.

Ensuite, une API Python a permis d'extraire un ensemble représentatif de mots clés du domaine, à partir des résumés des projets du corpus initial. Ces mots clés sont, par la suite, recherchés dans l'ensemble des résumés des projets financés par l'ANR, dans toutes ses composantes (hors axe dédié), entre 2014 et 2023. Un score est établi pour chacun de ces projets, en fonction du nombre de mots clés retrouvés, comptés avec leur multiplicité et des associations entre les mots clés retrouvés. Les projets ayant un score au-delà d'un seuil sont retenus comme susceptibles d'intégrer le corpus.

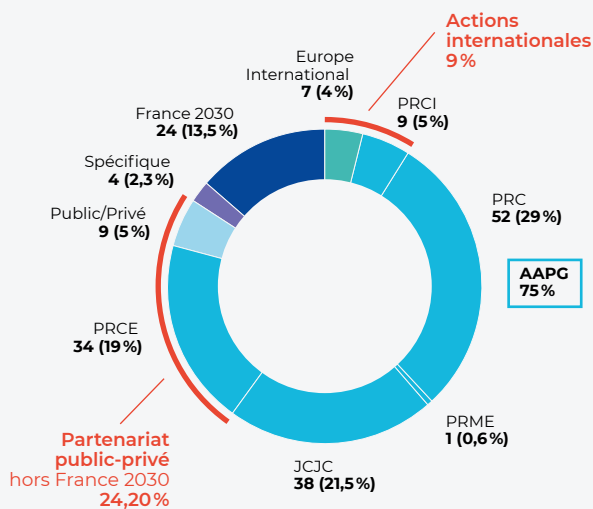
Enfin, une lecture minutieuse des résumés de chacun de ces projets a permis de consolider la constitution du corpus final. Il est remarquable que, en dehors de l'axe dédié créée en 2015, aucun projet de l'AAPG n'ait été retenu à la sortie de ce processus, à l'exception de quatre projets financés en 2014. Cette remarque conforte l'hypothèse d'une grande clarté du Plan d'action en ce qui concerne l'identification de la thématique de l'Usine du futur au sein de l'AAPG.

Du côté de France 2030, le choix des thématiques de recherche financées s'inscrit dans une logique descendante (*top-down*) en opposition à la logique ascendante (*bottom-up*) du Plan d'action. L'identification des projets France 2030 relevant de la thématique Usine du futur est donc plus simple *a priori*.

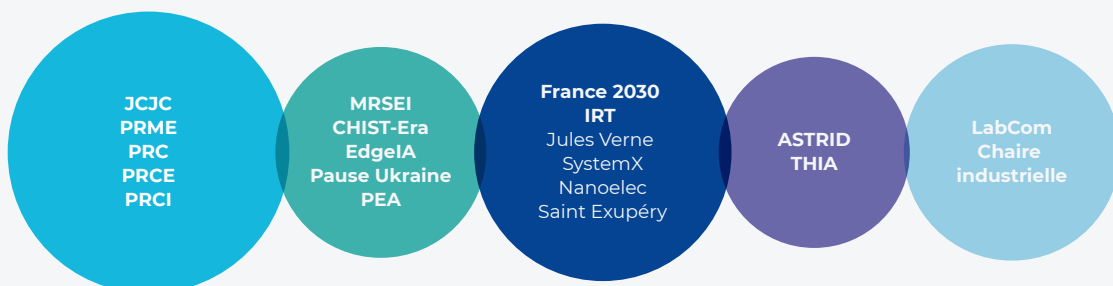
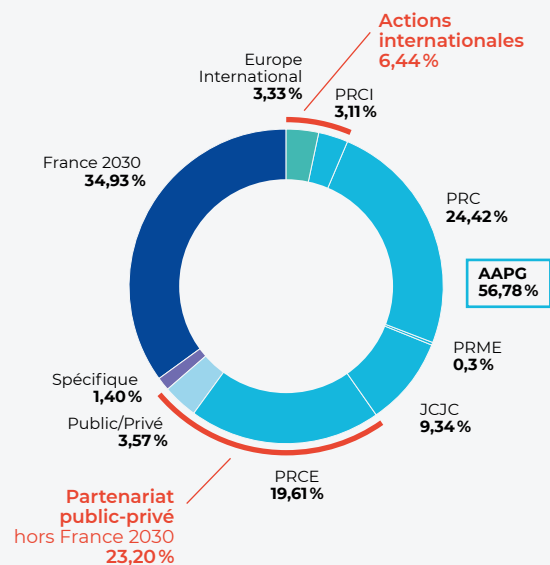
Le corpus final est composé de 178 projets répartis dans les différents programmes de financement de l'ANR comme décrit sur la Figure 1.

Figure 1 | Portefeuille Usine du futur à l'ANR, entre 2014 et 2023

a) 178 projets financés entre 2014 et 2023, dont 134 pour l'AAPG



b) 99,97 M€ alloués entre 2014 et 2023, dont 56,78 M€ pour l'AAPG



L'AAPG concentre les trois quarts des projets financés dans la thématique Industrie et Usine du futur, France 2030 compris. La répartition budgétaire montre une configuration très différente. Le montant moyen d'aide allouée aux projets France 2030 étant sensiblement plus élevé que celui des projets de l'AAPG, le poids relatif de ce dernier accuse un retrait notable (56 % du budget total pour 75 % du nombre de projets) au profit de la part France 2030 (37,8 % du budget global pour seulement 15 % des projets).

### Soutien de l'ANR à l'Usine du futur

Les projets France 2030 ont en effet des caractéristiques et des finalités différentes de ceux du Plan d'action. Ceux du portefeuille étudié, relevant donc de la thématique de l'Usine du futur, sont essentiellement des projets issus des Instituts de recherche technologique : IRT Jules Verne, IRT SystemX, IRT NanoElec et IRT Saint Exupéry, hors IRT M2P qui est rattaché

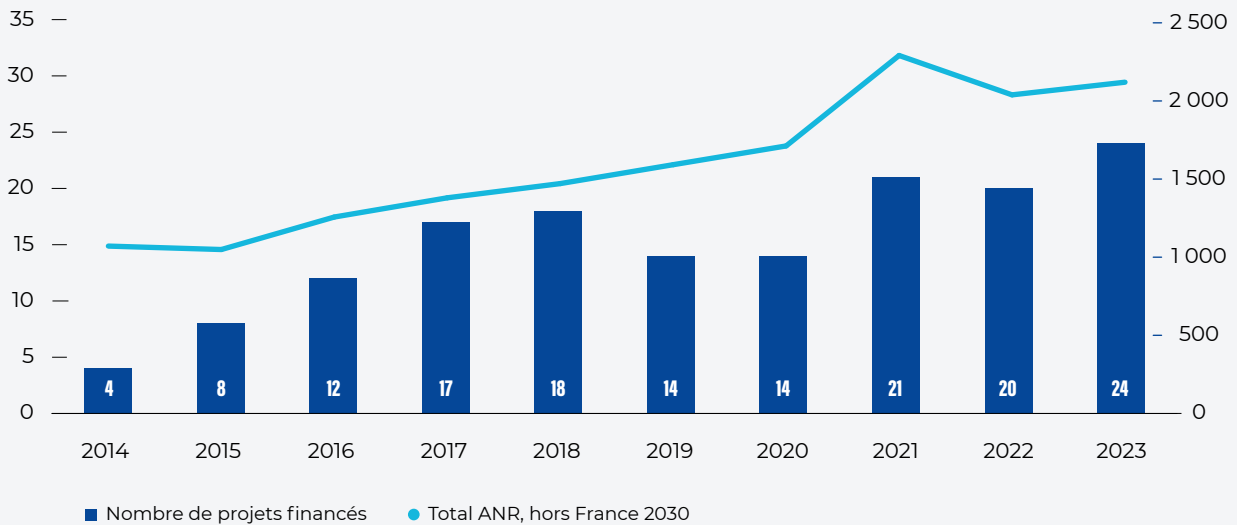
à l'axe 3 « matériaux et procédés ». Ces projets seront ainsi traités séparément, en parallèle, en particulier en ce qui concerne les analyses portant sur les moyens déployés, pour éviter des biais de comparaison.

### Moyens déployés dans le cadre du Plan d'action

Le lancement de l'ARP FUTURPROD, en 2011, suivi de la création de l'axe Usine du futur, en 2015, relèvent de la volonté de l'ANR de mettre en place, développer et pérenniser la présence de cette thématique au sein du Plan d'action. Cette volonté s'est traduite par un soutien de l'axe, visible à travers les éditions successives du PA comme illustré sur les Figures 2a et 2b.

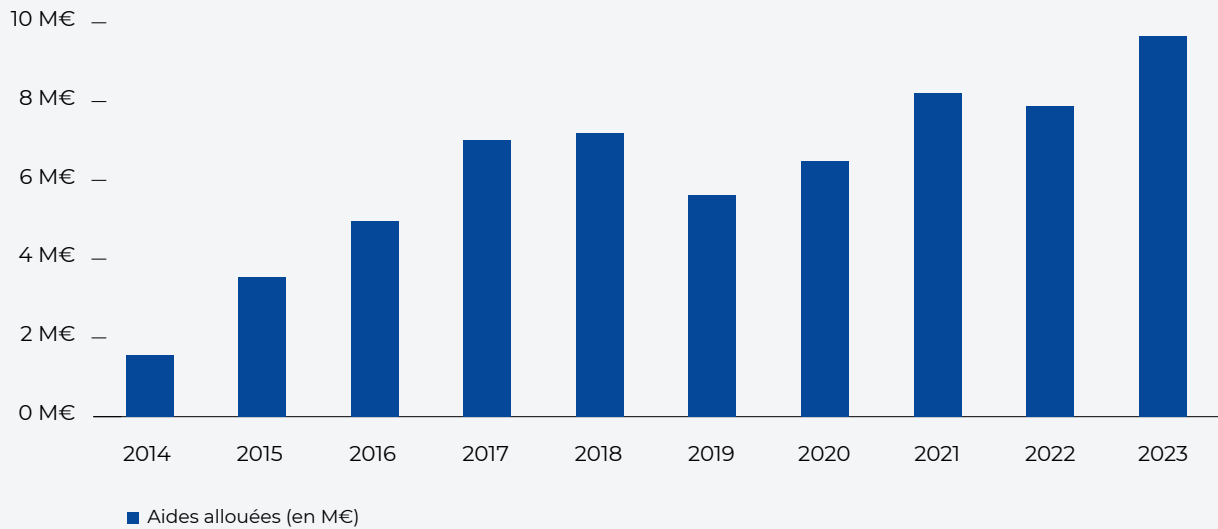
15. Loi n° 2020-1674 du 24 décembre 2020 de programmation de la recherche, JORF n°0312 du 26 décembre 2020.

**Figure 2.a | Évolution par année du nombre de projets Usine du futur financés, en comparaison du nombre total de projets financés par l'ANR, hors France 2030**  
**152 projets Usine du futur financés (hors France 2030)**



**Figure 2.b | Évolution par année du montant cumulé d'aide allouée par l'ANR aux projets Usine du futur, hors France 2030**

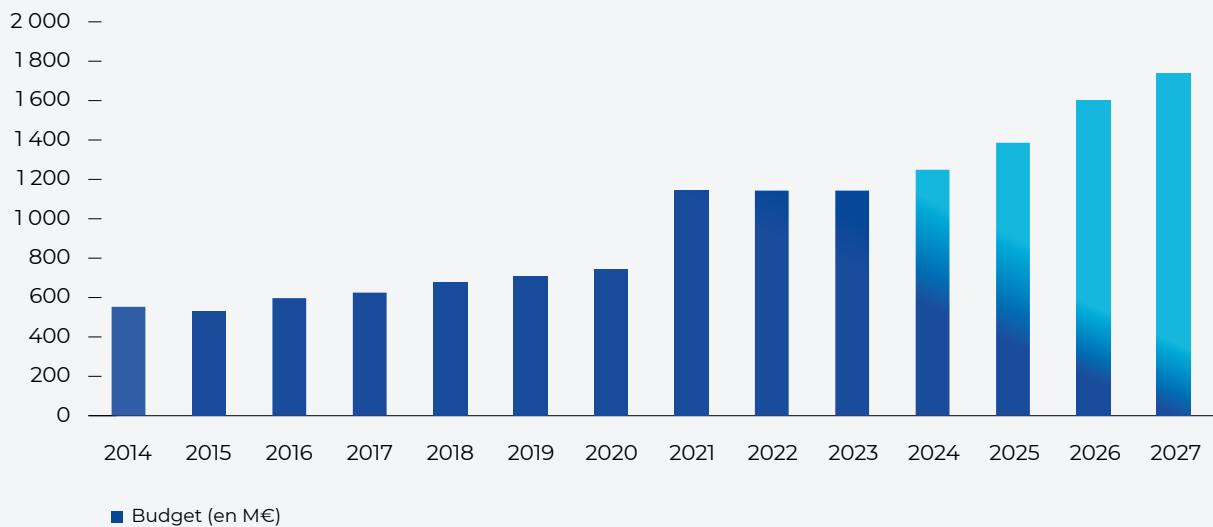
Montant d'aide allouée, hors France 2030 — 62,17 M€



Les nombre de projets financés et les budgets associés suivent une même trajectoire. Cette dernière retrace, dans ses grandes lignes, l'évolution du budget d'intervention de l'ANR entre 2014

et 2023, représentée sur la Figure 3 avec, en bleu clair, les projections de 2024 à 2027, telles que prévues par la loi de programmation de la recherche (LPR) <sup>(15)</sup> en 2021.

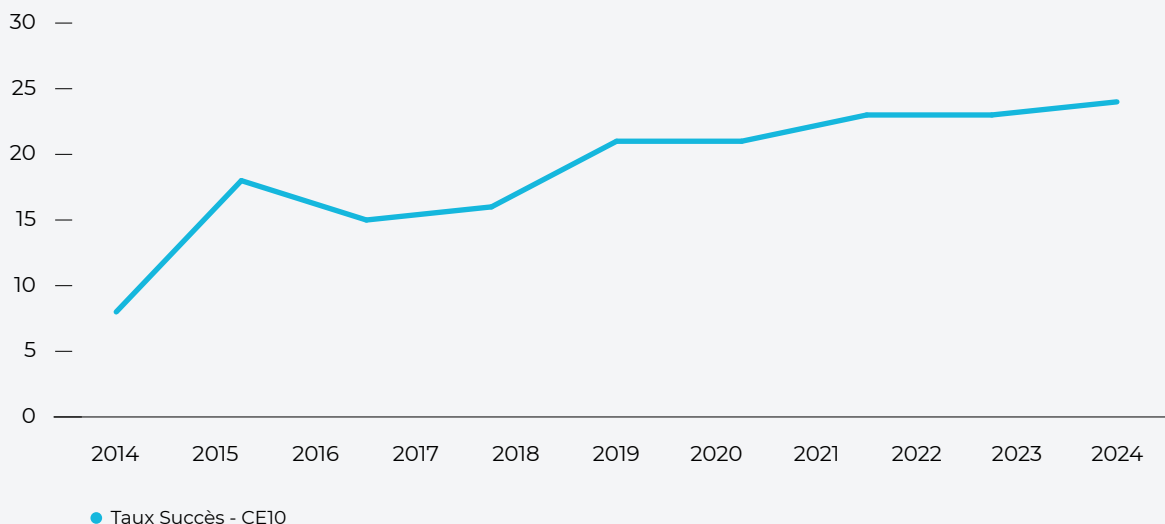
**Figure 3 | Budget d'intervention de l'ANR (en M€) - Subventions, hors France 2030, et mesures de préservation de l'emploi dans la R&D privée du Plan de relance contexte LPR et plan de relance 2021-2022**



La cohérence entre les évolutions du budget d'intervention de l'ANR et celle de son soutien à l'Usine du futur n'exclut toutefois pas quelques différences notables. La mise en place de l'axe dans le paysage de l'AAPG a nécessité un effort soutenu dans sa phase initiale. Les trois premières années, de 2015 à 2017, ont ainsi été marquées par une progression bien plus forte pour l'Usine du futur que pour l'ensemble de l'ANR. Cette progression est maintenue après cette phase initiale, avec un taux de succès croissant à travers toutes les éditions de l'AAPG (Figure 4), en gommant les effets cumulés, en 2021, de la LPR et du Plan de relance.

Le tassement du financement observé en 2019 et 2020 (Figures 2a et 2b) est donc une conséquence directe d'une baisse du dépôt de projets par la communauté scientifique. La réorganisation de l'AAPG, en 2019, en domaines disciplinaires au détriment de la logique des défis sociétaux qui prévalait jusque-là, est une hypothèse pour expliquer cette baisse.

Figure 4 | Évolution du taux de succès des projets déposés dans l'axe H.19, hors PRCI



## Moyens déployés au sein de France 2030

Les projets France 2030 de la thématique Usine du futur sont portés essentiellement par les IRT, notamment l'IRT Jules Verne, qui compte un axe dédié à l'Usine du futur.

La répartition de ces projets sur la décennie est présentée dans le Tableau 1.

**Tableau 1 | Répartition des projets France 2030 et montant des aides**

Programme France 2030	Nombre de projets financés	Aide ANR allouée
IRT Jules Verne	17	25 910 221 €
IRT NanoElec	1	1 000 000 €
IRT Saint Exupéry	1	500 000 €
IRT SystemX	5	7 511 653 €
<b>Total général</b>	<b>24</b>	<b>35 121 874 €</b>

Comme évoqué plus haut, la hauteur de financement des projets France 2030 est sensiblement plus élevée que pour ceux du Plan d'action. En effet, le montant moyen de l'aide allouée s'élève à 1,46 M€ pour les projets IRT contre 0,42 M€ pour ceux de l'AAPG, soit un rapport de près de 3,5.

Les projets IRT reposent sur une logique de co-investissement entre l'État, des établissements publics de recherche et des industriels. Les consortia incluent en général de grands groupes industriels. L'enjeu étant de renforcer la compétitivité de filières technologiques stratégiques par la recherche industrielle, les projets s'appuient sur des plateformes technologiques pour hisser les développements à des niveaux de maturité technologique (TRL) élevés (du prototypage à la validation en environnement opérationnel). L'IRT M2P est, parmi les IRT, le plus tourné vers l'industrie. Ses projets se consacrent aux nouveaux matériaux et aux nouveaux procédés d'élaboration, de mise en forme et de recyclage de ces matériaux. N'étant pas centrés sur la thématique de l'Usine du futur, ces projets n'ont par conséquent pas été pris en compte dans cette étude.

Il convient aussi de noter que le soutien de la thématique de l'Usine du futur dans le cadre de France 2030 ne se limite pas aux projets des IRT. En effet, l'appel à manifestation d'intérêt lancé fin 2021 par l'ANR et BPI France sur le thème « Soutiens à l'offre de solutions pour l'industrie du futur » a permis, en 2024, le financement de six projets pour un montant total alloué de 19,42 millions d'euros. Cet appel France 2030 vise à identifier les technologies françaises les plus prometteuses pour accompagner la transition vers l'industrie du futur. Il poursuit un double objectif :

- structurer et renforcer une offre nationale de solutions innovantes et ambitieuses ;
- accélérer la numérisation sur l'ensemble du territoire.

Cette action ambitieuse de positionner la France sur des segments technologiques stratégiques tels que l'intelligence artificielle, la 5G, la blockchain ou le cloud. Il soutient le développement de solutions industrielles adaptées aux nouveaux usages, en accompagnant les start-ups, PME et ETI innovantes.

Les six projets retenus n'ont toutefois pas été intégrés dans le périmètre d'analyse de ce cahier en raison de leur démarrage tardif, en 2024.

## Cartographie par nature et instrument de financement

L'Usine du futur à l'ANR c'est :

### Une thématique concentrée dans l'axe dédié H.19/CE10 de l'Appel à projets générique

La thématique Industrie 4.0 est peu présente dans les programmes du Plan d'action en dehors de l'AAPG.

Hors France 2030, la proportion AAPG des projets financés dans la thématique de l'Usine du futur monte à 87 %. Ce poids est significativement plus important que celui de l'AAPG dans sa totalité, relativement à l'ensemble des programmes de l'ANR (hors France 2030) où il représente 77 %<sup>(16)</sup> des projets financés en 2023. La répartition

budgetaire confirme cette forte concentration de l'Usine du futur dans l'AAPG. En effet, considérant l'Usine du futur au sein du Plan d'action, la part AAPG représente 91 % du montant total de l'aide allouée à la thématique entre 2014 et 2023. À la concentration de la thématique Usine du futur dans l'AAPG s'ajoute son confinement dans l'axe éponyme au sein de l'AAPG. En effet, comme évoqué plus haut, tous les projets AAPG du corpus sont issus de l'axe H.19 « Industrie et Usine du futur : homme, organisation, technologies ». Dans tout le PA, la thématique de l'Usine du futur est ainsi essentiellement identifiée à l'axe H.19/CE10. Cette identification claire renvoie à une communauté scientifique, par son appropriation de la thématique au sein du Plan d'action.

Au sein de France 2030, la thématique est principalement portée par le programme Usine du futur de l'IRT Jules Verne qui rassemble environ 65 % des projets financés et près de 69 % des aides allouées.

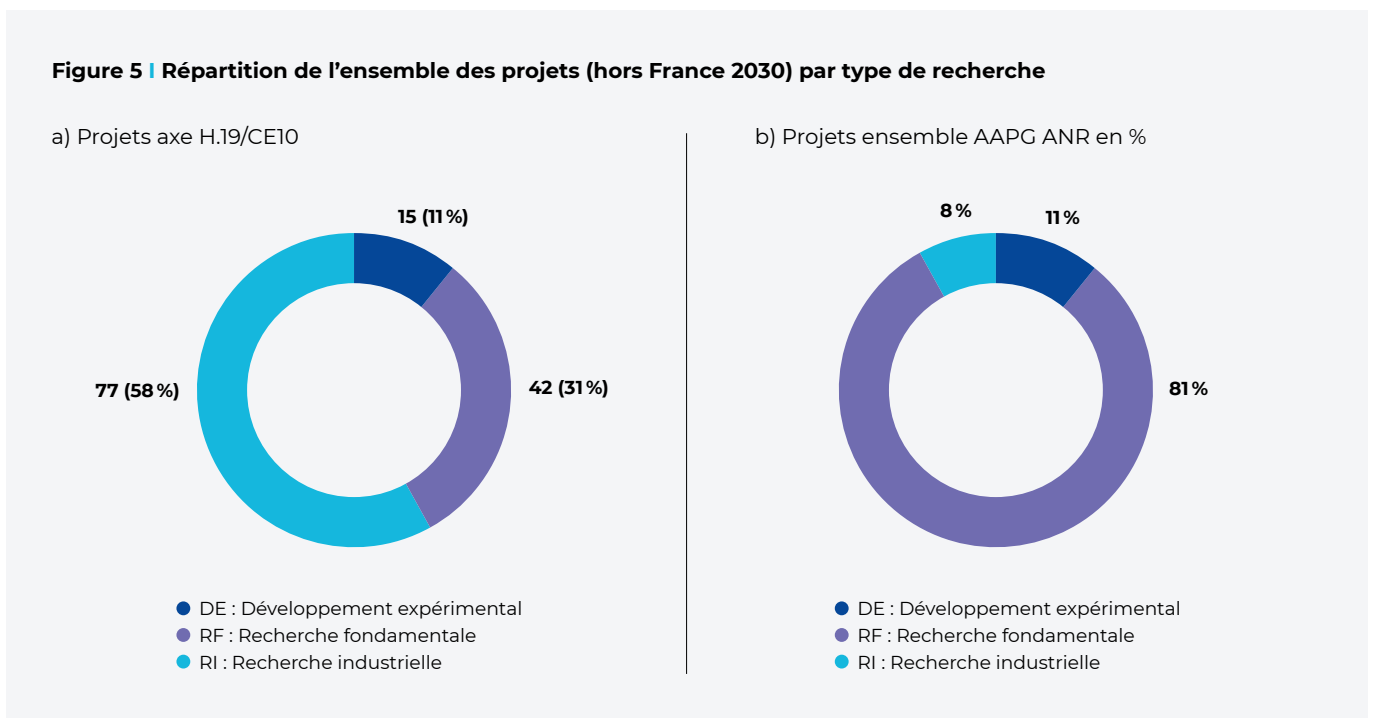
16. Voir le rapport d'activité 2023 de l'ANR. 1 640 projets ont été sélectionnés pour financement dans le cadre de l'AAPG en 2023 sur un total de 2 120 projets, incluant les programmes et appels spécifiques (116 projets), la recherche européenne et internationale (277 projets) et la recherche partenariale public-privé (87 projets - hors AAPG et PRCE), <https://anr.fr/fileadmin/documents/2024/ANR-Rapport-Activite-2023.pdf>.

### Des projets de type Recherche industrielle

L'AAPG (17) s'adresse à « tous les types de projets : projets visant des objectifs ou concepts originaux, en rupture ou exploratoires, projets visant la levée de verrous scientifiques bien identifiés dans la communauté, projets exploitant les données générées par les infrastructures de recherche, projets faisant suite à de précédents projets et permettant d'envisager de nouveaux objectifs ». Concernant la thématique de l'Usine du futur en particulier, le texte descriptif de l'axe H.19 mentionne un « axe de recherche ouvert à des projets de recherche fondamentale et à des projets de recherche industrielle ».

Lors du dépôt à l'AAPG, les porteurs de projet doivent indiquer le type de recherche de leur projet en choisissant une parmi ces trois catégories : Recherche fondamentale (RF), Recherche industrielle (RI) ou Développement expérimental (DE). En ce qui concerne les projets du portefeuille hors AAPG et hors France 2030, un examen minutieux des résumés a permis de les classer dans l'une des trois catégories susmentionnées.

La Figure 5a ci-dessous montre la répartition, selon cette classification, de l'ensemble des projets AAPG relatifs à l'Usine du futur avec, en référence, celle correspondant à l'ensemble de l'AAPG (Figure 5b).



La Figure 6 reprend les mêmes éléments, mais avec un niveau de granularité plus fin et élargis à l'ensemble du Plan d'action. Elle décrit la répartition des projets, par type de recherche, par instrument ou programme de financement.

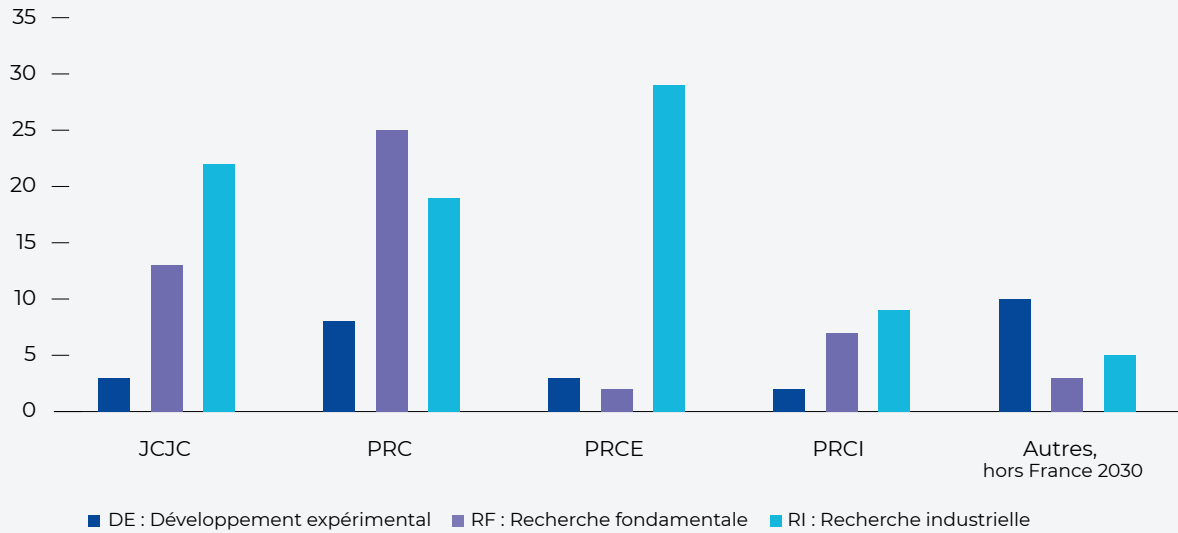
La comparaison avec l'ensemble de l'AAPG (Figure 5b) offre une lecture enrichissante de ces données. Il est important de noter que la classification de la nature de la recherche par les porteurs est simplement déclarative. Aussi, il est vraisemblablement exagéré de considérer que 81 % des projets financés par l'ANR dans le cadre de l'AAPG relèvent de la recherche fondamentale. De même, la présence des mots « industrie » et « usine » dans le titre de l'axe H.19 a probablement induit un biais dans les réponses des porteurs de cet axe. Néanmoins, la différence très significative de la typologie de la recherche entre l'ensemble de l'AAPG et l'axe Usine du futur est un marqueur pour ce dernier.

Les projets France 2030 financés au niveau des IRT abordent des problématiques de type recherche industrielle, voire développement expérimental, excepté un ou deux projets de l'IRT SystemX qui relèvent de la recherche fondamentale.

Le projet PEA, comme le programme qui le finance, est conçu pour le développement de l'enseignement supérieur. Le projet THIA peut être rangé dans la même catégorie. Ces deux projets, ainsi que ceux relevant de France 2030, n'ont pas été pris en compte dans cette partie de l'analyse.

17. Voir par exemple la page 5 du Guide de l'AAPG 2025, <https://anr.fr/fileadmin/aap/2025/ANR-AAPG-2025-Guide-V1.0.pdf>

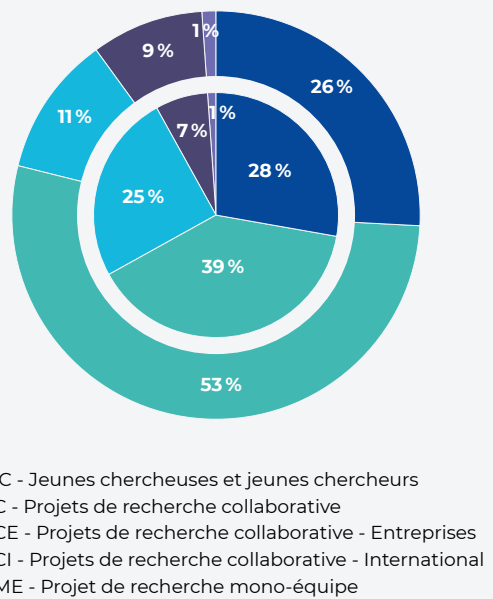
**Figure 6 | Nombre de projets par type de recherche et par instrument/programme de recherche (hors France 2030)**



**Une thématique ouverte au partenariat public-privé**

L'attention accordée à l'instrument PRCE est un deuxième marqueur de l'axe. En moyenne, un projet financé dans l'axe H.19 sur quatre est un projet PRCE (voir Figure 7), ce qui traduit une grande ouverture au partenariat public-privé, comparé au contexte global de l'AAPG. Rappelons que cette ouverture est en cohérence avec les objectifs initiaux de l'axe, inscrits dans le Défi 3 – « Stimuler le renouveau industriel ». Cependant, avec seulement 34 projets PRCE financés en dix ans, il convient de noter que la grande ouverture évoquée est toute relative. De plus, le peu de projets LabCom (7) et Chaires industrielles (2) financés, qui complètent le dispositif du partenariat public-privé du PA sur ces dix ans, renforce cette retenue. Dans le cadre de France 2030, l'ensemble des projets financés inclut des partenaires industriels. En effet, les IRT étant fondés sur des partenariats public-privé, le développement de collaborations entre la recherche publique et les entreprises est inscrit dans leurs objectifs. Ces projets associent alors des établissements d'enseignement supérieur et de recherche, des grands groupes et des PME (voir plus loin, Figure 18, p. 24, pour plus de détails sur les types de partenariats).

**Figure 7 | Cartographie des projets de l'axe H.19 (anneau intérieur) vs total AAPG (extérieur), par instrument de financement (2014 à 2023)**



### Un axe ouvert aux jeunes chercheuses et jeunes chercheurs

La participation des jeunes chercheuses et jeunes chercheurs via l'instrument JCJC est déjà assez importante au sein de l'ensemble de l'AAPG. Pour la thématique de l'Usine du futur, elle est légèrement au-dessus de la moyenne AAPG, avec 28 % des projets financés contre 26 % pour l'AAPG (voir Figure 7).

### Une ouverture timide à l'international

Avec seulement neuf projets PRCI financés en dix ans (trois avec le Luxembourg, deux avec l'Allemagne, deux avec l'agence taïwanaise, un avec la Suisse et un avec l'Autriche), l'ouverture de l'axe H.19 à l'international est modeste. Toutefois, en termes de proportion, l'activité internationale de l'axe est à l'image de la moyenne AAPG, avec 7 % des projets financés pour l'axe H.19 contre 9 % pour l'ensemble de l'AAPG.

## Cartographie par thématiques

L'Usine du futur est un domaine de recherche inter- et pluridisciplinaire, où interviennent principalement les sciences pour l'ingénieur (SPI), les sciences du numérique (SdNum) et les sciences humaines et sociales (SHS). Cette liste est loin d'être exhaustive. En effet, les recherches peuvent aussi faire appel aux mathématiques (par exemple : recherche opérationnelle pour l'optimisation des flux logistiques), aux sciences de l'environnement (pour s'inscrire dans la circularité), à la biologie-santé, etc. Par conséquent la cartographie par thématiques du domaine nécessite plusieurs points d'entrée complémentaires.

### Cartographie par mots clés ERC <sup>(18)</sup>

Cette analyse est limitée aux projets de l'AAPG. Pour ces projets, les mots clés ERC sont renseignés par les porteurs de projet, de façon systématique, pour décrire le périmètre thématique de leur proposition. Ces informations ne sont pas disponibles pour les autres programmes du portefeuille.

L'analyse offre une vision globale de l'ensemble des disciplines en présence dans les projets, et de leur poids respectif. Chaque projet de l'AAPG est caractérisé, entre autres, par trois mots clés choisis, par ordre de priorité, parmi l'ensemble des mots clés des différents panels de l'ERC. Chaque bâton des histogrammes de la Figure 8 code deux informations. La première, la hauteur du bâton, représente le nombre d'occurrences du mot clé correspondant dans l'ensemble des projets AAPG du portefeuille. La seconde, ici une couleur associée à un score, renseigne sur le degré de priorité du mot clé. Il s'agit d'une palette de couleurs dont la plus froide, associée au score 1, correspond à la priorité 3, et la plus chaude, associée au score 10, correspond à la priorité 1.

La Figure 8a montre, comme évoqué plus haut, les principaux grands domaines disciplinaires mobilisés dans les projets, à savoir les :

- SPI, avec les panels PE08 – "*Products and Processes Engineering*" et PE07 – "*Systems and Communication Engineer*";
- SdNum avec le panel PE06 – "*Computer Science and Informatics*";
- SHS avec le panel SH01 – "*Individuals, Markets and Organisations: Economics, finance, management*";
- Mathématiques, avec le panel PE01 – "*Mathematics*".

La présence d'autres grands domaines disciplinaires, comme la biologie-santé (LS), est anecdotique.

La Figure 8b offre plus de détails, avec la distribution des thèmes à l'intérieur des grands domaines. Cette distribution est largement dominée par les thèmes du PE08

- PE08\_09 : *Production technology, process engineering*
- PE08\_10 : *Manufacturing engineering and industrial design*
- PE08\_07 : *Mechanical engineering*.

La couleur claire des barres associées indique que ces thèmes apparaissent en général en priorité 1 dans les projets.

Les aspects en lien avec l'environnement arrivent en deuxième rideau. La couleur de la barre correspondant au PE08\_11 : *Environmental engineering, e.g. sustainable design, waste and water treatment, recycling, regeneration or recovery of compounds, carbon capture & storage*, correspond à un score moyen compris entre 4 et 5, ce qui signifie que ce thème apparaît dans les projets le plus souvent en priorité 2 ou 3. En d'autres termes, l'économie circulaire et les questions liées à l'environnement sont prises en compte dans un nombre significatif de projets, mais elles n'en représentent pas le thème principal.

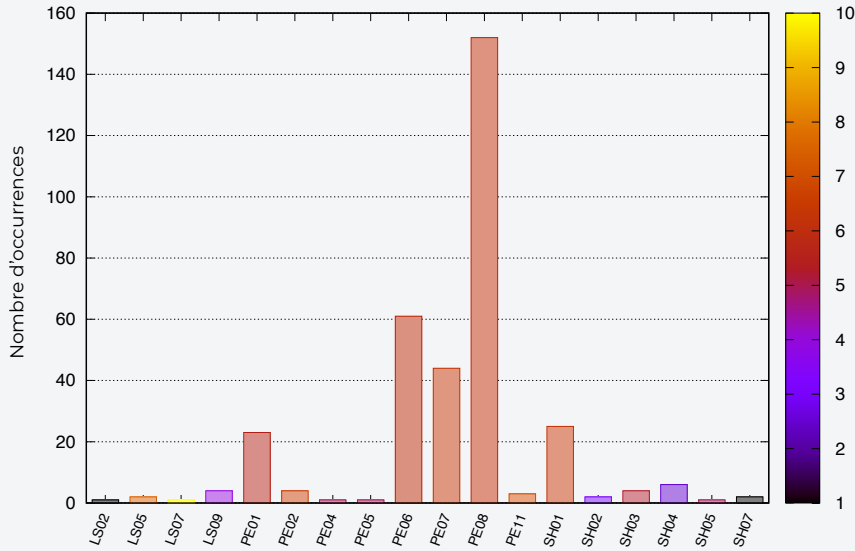
La présence du numérique est aussi assez visible, avec notamment les aspects calculatoires, PE08\_04 : *Computational engineering* et l'intelligence artificielle, PE06\_07 : *Artificial intelligence, intelligent systems, natural language processing*, avec des scores autour de six et sept.

La robotique (PE07\_10 : *Robotics*), fait aussi partie des thèmes les plus présents et, de plus, en priorité moyenne forte, d'après la couleur claire de la barre associée.

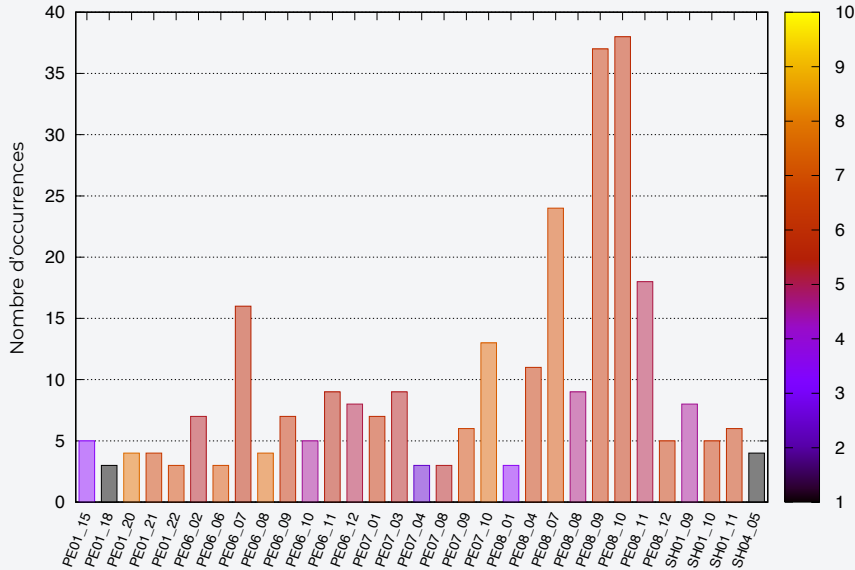
<sup>18</sup>. L'ERC (European Research Council) est structuré en trois grands champs disciplinaires : Sciences humaines et sociales (SH), Sciences physiques et ingénierie (PE) et Sciences de la vie (LS).

**Figure 8 | Cartographie par mots clés ERC des projets de l'Usine du futur financés dans l'AAPG, entre 2015 et 2023\***

a) Distribution des domaines ERC : 2015–2023



b) Distribution des thématiques ERC : 2015–2023



\* L'information relative à la priorité est codée de la façon suivante :

- à chaque mot clé  $ERC_i$  est associé un score  $S_i$  déterminé par  $S_i = \frac{N_i w_1 + M_i w_2 + L_i w_3}{N_i + M_i + L_i}$  où
- $N_i, M_i$  et  $L_i$  sont le nombre d'occurrences du mot clé respectivement en priorités 1, 2 et 3, dans l'ensemble des projets ;
- $w_1=10, w_2=5$  et  $w_3=1$  sont des poids affectés aux trois priorités 1, 2 et 3 ;
- les valeurs des scores  $S_i$ , comprises entre 1 et 10, sont enfin codées par la palette de couleurs qui accompagne chaque figure. Une couleur chaude indique un mot clé apparaissant plutôt en priorité 1, alors que les couleurs froides correspondent à des mots clés utilisés le plus souvent en priorité 3.

### Cartographie à partir des sous-thématiques dans la description AAPG de l'axe

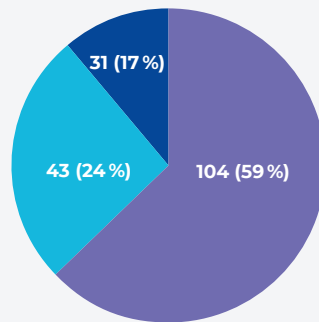
L'analyse précédente repose sur des éléments déclaratifs fournis par les porteurs au moment du dépôt de leur projet. La cartographie proposée ici repose, quant à elle, sur une analyse réalisée par l'ANR à partir des documents de dépôt et de suivi scientifique des projets. Elle concerne l'ensemble des projets du portefeuille, tous programmes confondus (AAPG, France 2030, partenariats public-privé, etc.).

L'analyse aborde deux niveaux de granularité.

La première cartographie est une classification (voir Figure 9) selon le triptyque homme-organisation-technologies, qui renvoie aux trois axes de rupture attendus<sup>(19)</sup> des projets de l'Usine du futur :

- centrer l'usine sur l'humain : « centrer l'usine sur l'humain qui reste au cœur des opérations alors que l'organisation du travail devient plus flexible. Il conviendra aussi de répondre aux enjeux de production tout en allégeant le travail cognitif et physique de l'opérateur » ;
- vision et organisation systémique : « promouvoir une vision et une organisation systémique de l'usine, pour un processus de développement intégrant les dimensions cycle de vie des produits et de réseaux de valeurs » ;
- technologies : « soutenir, comprendre et amplifier le développement des nouvelles technologies du numérique, de la fabrication ou de la production afin de répondre à la demande de produits innovants, personnalisés et optimisés ».

Figure 9 | Classification selon le triptyque homme-organisation-technologies



- Technologies : nouvelles technologies du numérique, de la fabrication, de la production
- Organisation : vision et organisation systémiques du système industriel
- Humain : centrer l'usine sur l'humain (allègement du travail cognitif et physique de l'opérateur)

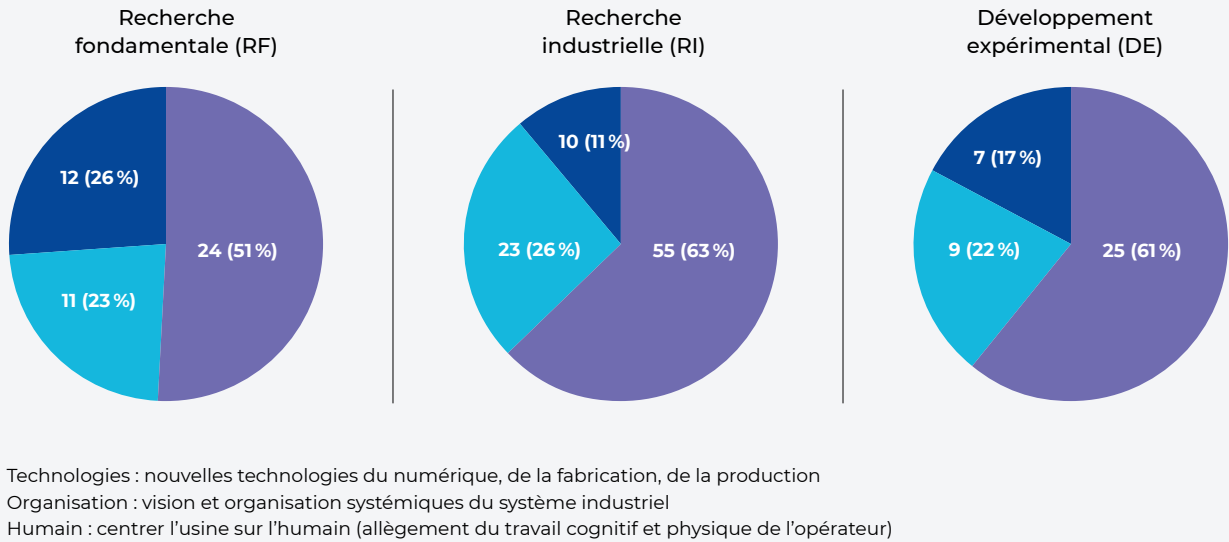
La répartition montre une importance significative de chacun des trois piliers de l'Usine du futur, malgré une prépondérance très nette du pilier « technologies ». Près d'un quart des projets financés visent le développement d'une vision systémique de l'usine. La question de la place de l'humain dans l'usine est au cœur de 17 % des projets financés. Même s'il reste encore une marge de progression dans cette dernière direction, les statistiques montrent, dans leur ensemble, une bonne adéquation

entre les orientations des projets financés dans la thématique et les attentes exprimées dans le Plan d'action, à travers, notamment, le texte descriptif de l'axe H.19.

Le poids relatif de ces différents piliers est variable selon le type de recherche déclaré. Par exemple, le pilier « Centrer l'usine sur l'humain » semble plus ouvert à la recherche fondamentale (voir Figure 10).

<sup>19</sup>. Voir le texte descriptif de l'axe H.19, p. 82, <https://anr.fr/fileadmin/aap/2025/ANR-AAPG-2025.pdf>

**Figure 10 | Classification selon le triptyque homme-organisation-technologies, par type de recherche**

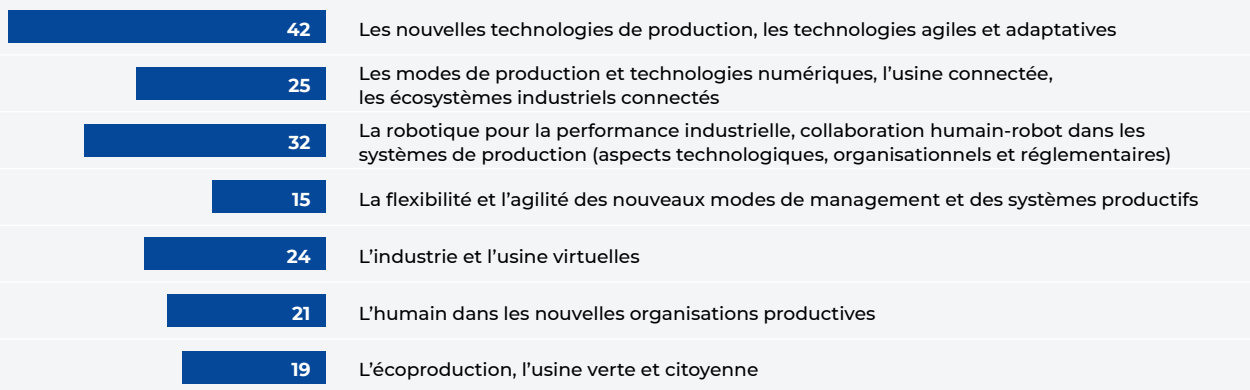


La seconde cartographie concerne un niveau de granularité plus fin, correspondant aux sous-thématiques identifiées dans la description de l'axe H.19 (voir, par exemple, le texte de l'AAPG 2025), à savoir :

- l'humain dans les nouvelles organisations productives ;
- la robotique pour la performance industrielle, collaboration humain-robot dans les systèmes de production (aspects technologiques, organisationnels et réglementaires) ;

- les modes de production et technologies numériques, l'usine connectée, les écosystèmes industriels connectés ;
- l'industrie et l'usine virtuelles ;
- la flexibilité et l'agilité des nouveaux modes de management et des systèmes productifs ;
- les nouvelles technologies de production, les technologies agiles et adaptatives ;
- l'écoproduction, l'usine verte et citoyenne.

**Figure 11 | Répartition des projets dans les sous-thématiques identifiées de l'axe H.19**



Comparée à la cartographie précédente, la distribution des projets (voir Figure 11) dans les différentes sous-thématiques est plus équilibrée. Cet équilibre conforte la pertinence du choix de ces sous-thématiques pour la description de l'axe H.19 dans l'AAPG.

La cartographie de la Figure 11 confirme aussi l'intérêt des recherches financées pour une usine verte et citoyenne, soucieuse de prendre en compte les attentes de la société en matière de développement durable, comme relevé plus haut dans l'analyse par mots clés ERC.

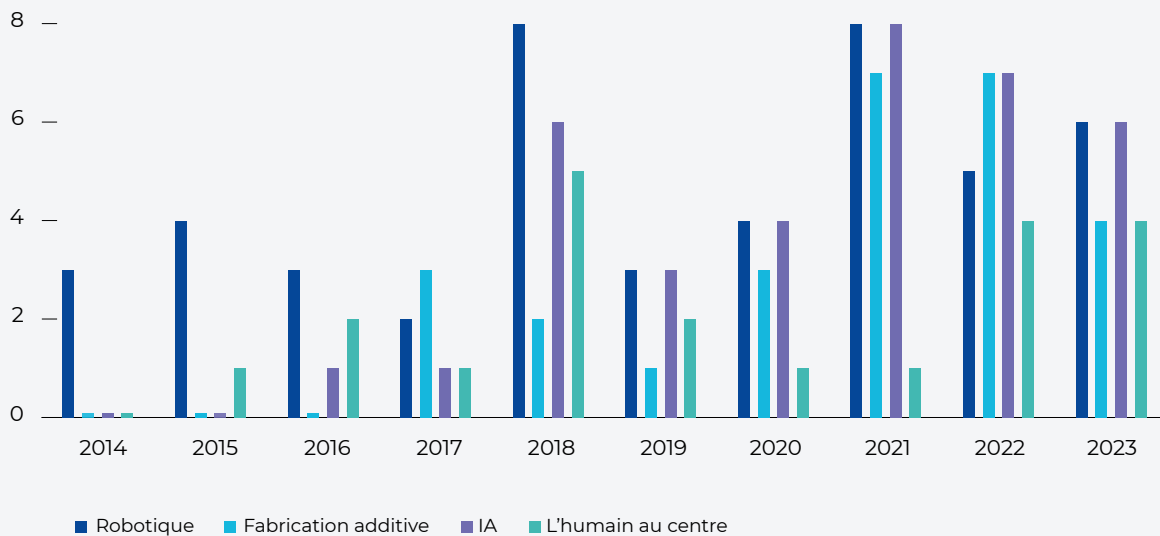
Les sous-thématiques s'inscrivant dans les possibilités du numérique (modélisation, simulation, optimisation, IoT, etc.) regroupent plus de 40 % des projets du portefeuille (soit 74 projets) pour répondre aux attentes d'une usine connectée, pilotée, virtuelle, flexible et agile, en termes de performances industrielles et de services aux clients.

La cartographie confirme également le poids fort des sous-thématiques portées par les démarches classiques de la recherche industrielle telles que l'utilisation de la robotique et des nouvelles technologies de la production, pour l'automatisation de l'industrie :

- aux 32 projets centrés sur la robotique, financés durant la décennie, s'ajoutent 14 autres projets, répartis dans les autres classes, dans lesquels la robotique intervient de façon significative sans constituer l'objet principal de la recherche ;
- concernant les nouvelles technologies de production, un examen plus fin permet de voir une forte empreinte de la fabrication additive.

Ces deux sous-thématiques constituent, avec l'intégration de l'intelligence artificielle (IA) et la place de l'humain dans l'usine, quatre points saillants du portefeuille qui méritent plus d'attention. La Figure 12 montre la distribution des projets de ces sous-thématiques à travers les différentes éditions, de 2014 à 2023.

Figure 12 | Évolution par année des quatre sous-thématiques les plus saillantes



À la différence de la robotique qui, dès la création de l'axe Usine du futur, s'est affirmée comme l'une de ses sous-thématiques principales, la fabrication additive n'est apparue que trois années plus tard, en 2017. Les projets traitant de la fabrication additive pour l'Usine du futur émergeaient auparavant, sans doute, dans l'axe voisin « Matériaux et Procédés » dont le périmètre a été redessiné à partir de l'édition 2018 de l'AAPG. Clairement, un projet portant sur comment « industrialiser les procédés de fabrication additive » est un projet de l'Usine du futur. Il est néanmoins aussi clair que, pour la fabrication additive, les frontières avec des axes centrés sur les matériaux peuvent être floues. Mais, dans tous les cas, la fabrication additive s'est installée durablement dans l'axe et en constitue une sous-thématique principale depuis l'édition 2020.

L'intégration de l'IA a suivi une trajectoire similaire, mais avec une progression sensiblement plus forte, dopée par l'effervescence mondiale suscitée par cette technologie. Démarrant avec seulement un projet financé en 2016 et un autre en 2017, l'IA intervient au final dans 36 projets du portefeuille, soit un projet financé sur cinq. Notons cependant que, dans la plupart de ces projets, l'IA intervient seulement en tant qu'outil technique. Avec le développement de l'IA, il est attendu qu'elle soit intégrée de plus en plus en amont, par exemple comme démarche principale pour aborder l'interopérabilité cognitive Homme-système cyber-physique.

Avec seulement 21 projets financés en dix ans, la place de l'humain dans l'usine n'a pas encore atteint la visibilité escomptée lors de la fusion en 2017 de ce qui constituait l'axe 1 (Travail – place de l'homme, organisation des écosystèmes, valeur sociale) et l'axe 2 (Usine du futur – système, produit, process) en l'actuel axe H.19 : « Industrie et Usine du futur : homme, organisation, technologies ». Comme pour la robotique, il convient de compléter cet ensemble de 21 projets centrés sur l'humain dans l'usine par au moins une dizaine de projets supplémentaires où cette question est abordée en lien avec un autre thème central. On remarque aussi la diversité grandissante des questions abordées qui vont des techniques d'ergonomie pour alléger le travail de l'opérateur, ou des techniques permettant de fluidifier les collaborations humain-machine, à des questionnements sur la gestion des « risques sur l'éthique industrielle », le tout sur fond d'IA. Il convient enfin de noter que seuls dix laboratoires de recherche affiliés SHS assurent la coordination de ces projets centrés sur l'humain

## Analyse du partenariat des projets entre 2014 et 2023

### Distribution géographique des partenaires

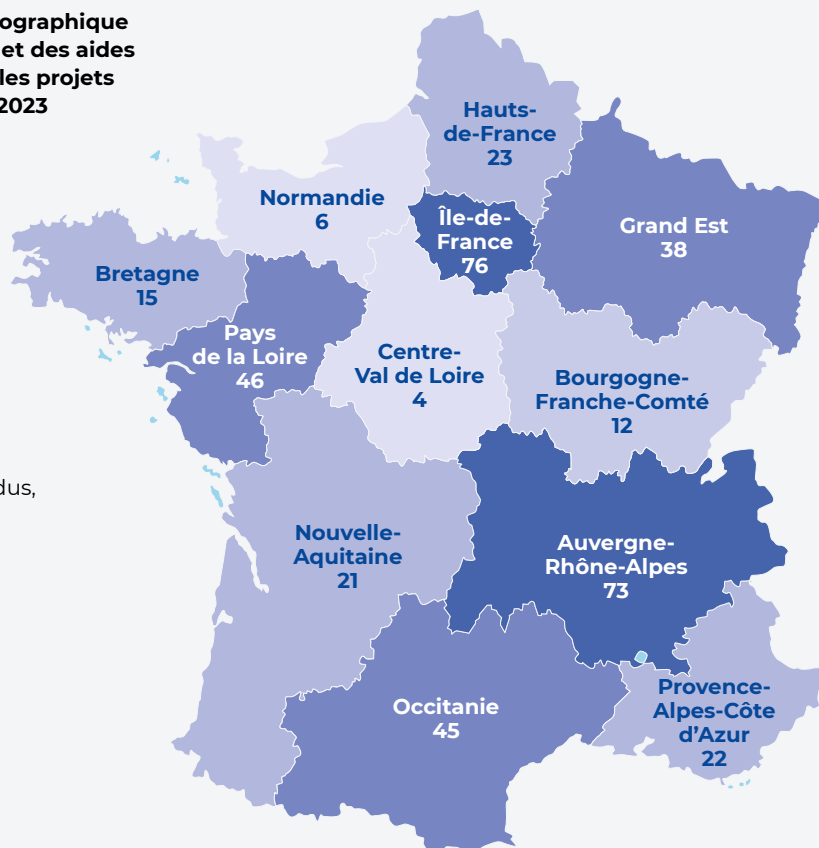
**Figure 13 | Répartition géographique des partenaires financés et des aides allouées par région pour les projets de l'Usine du futur, 2014-2023**

# 178

projets du portefeuille, tous programmes confondus, ont mobilisé

# 382

partenaires financés, répartis sur l'ensemble des régions



Régions	Aides allouées	Coordinateurs	Partenaires	France 2030	Total
Île-de-France	14,29 M€	29	42	5	<b>76</b>
Auvergne-Rhône-Alpes	14,21 M€	26	46	1	<b>73</b>
Pays de la Loire	30,47 M€	10	19	17	<b>46</b>
Occitanie	7,31 M€	18	26	1	<b>45</b>
Grand Est	7,12 M€	20	18	0	<b>38</b>
Hauts-de-France	3,94 M€	12	11	0	<b>23</b>
Provence-Alpes-Côte d'Azur	4,08 M€	10	12	0	<b>22</b>
Nouvelle-Aquitaine	4,08 M€	10	11	0	<b>21</b>
Bretagne	2,34 M€	9	6	0	<b>15</b>
Bourgogne-Franche-Comté	4,01 M€	8	4	0	<b>12</b>
Normandie	0,78 M€	1	5	0	<b>6</b>
Centre-Val de Loire	0,54 M€	1	3	0	<b>4</b>
La Réunion	0,057 M€	0	1	0	<b>1</b>

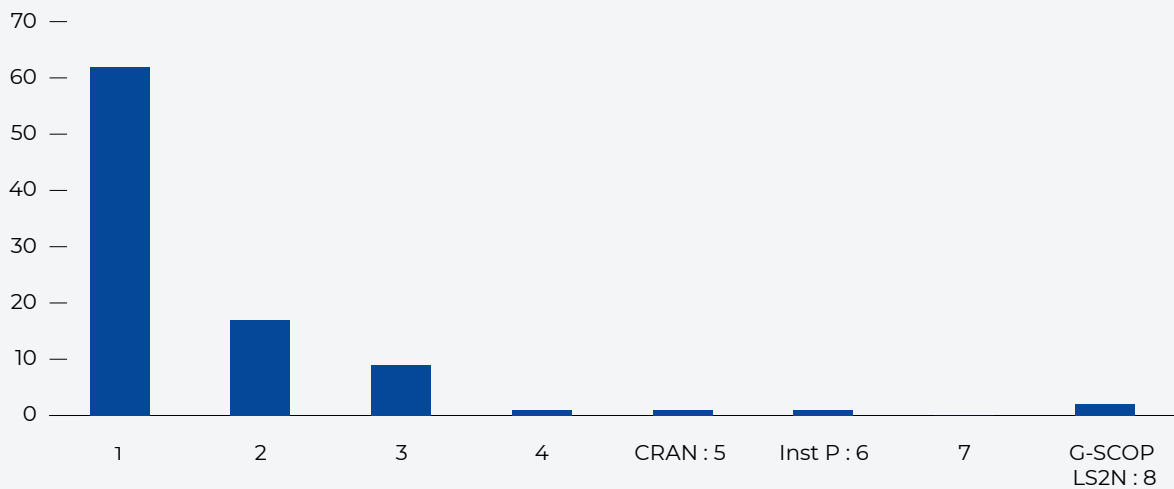
Trois quarts des partenaires sont concentrés dans les cinq régions les plus actives, à savoir : l'Île-de-France, l'Auvergne-Rhône-Alpes, les Pays de la Loire, l'Occitanie et le Grand Est. La thématique de l'Usine du futur, en France, semble peu présente en dehors de l'Hexagone (Corse et Outre-Mer). Aucune participation à un projet ANR dans cette thématique n'a été identifiée, excepté un partenaire, responsable scientifique de projet, à La Réunion.

À un niveau plus fin, on peut noter que les IRT, et en particulier l'IRT Jules Verne (JV), sont les principaux bénéficiaires des actions France 2030. La très forte concentration sur l'IRT Jules Verne (18 projets sur les 24 financés dans le cadre de France 2030) s'explique par le fait que sa feuille de route présente un programme explicite dédié à la thématique de l'Usine du futur.

L'histogramme de la coordination des projets est représenté sur la Figure 14. Les projets financés dans le cadre de France 2030, notamment les IRT, ne sont pas pris en compte pour éviter des biais. Les 154 projets hors France 2030 ont été portés par 93 laboratoires de recherche différents. Quatre d'entre eux sortent nettement du lot, pour avoir assuré la coordination de cinq projets ou plus. Il s'agit de G-SCOP et LS2N avec huit projets chacun, suivi de l'Institut Pascal avec six projets et du CRAN avec cinq projets. À l'opposé, ils sont 62, soit les deux tiers, à n'avoir coordonné qu'un seul projet de la thématique Usine du futur entre 2014 et 2023. Cette proportion passe à 85 % en comptant le nombre de laboratoires avec, au plus, deux projets coordonnés sur la période.

Le rôle de coordination est ainsi réparti dans la période 2014-2023 de façon plutôt équilibrée entre les différents laboratoires qui s'inscrivent dans la thématique de l'Usine du futur.

**Figure 14 | Histogramme de la coordination des projets, hors France 2030**  
**Nombre d'établissements en fonction de leur implication comme coordinateur de projets**



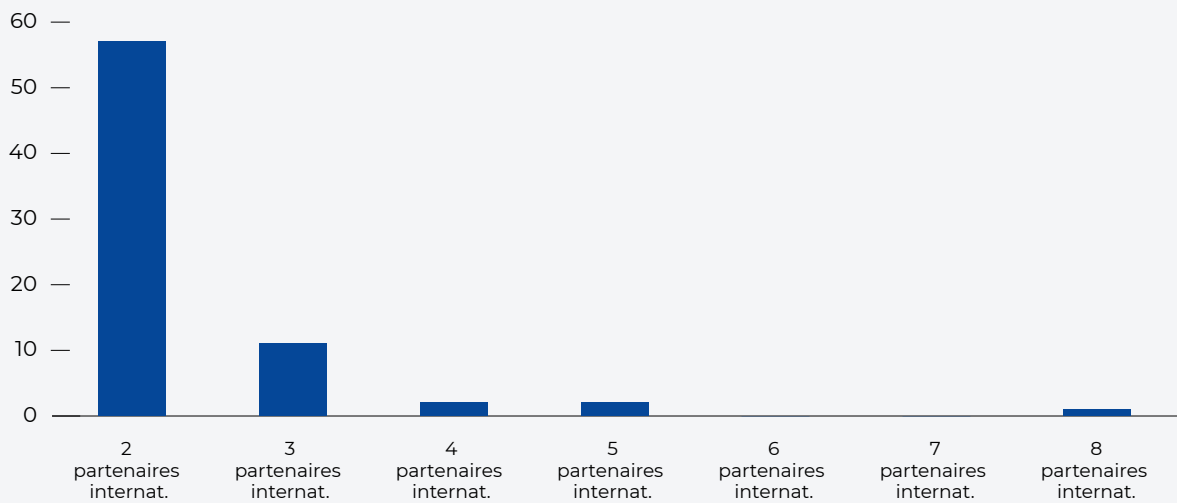
### Partenariat international : répartition par pays entre 2014 et 2023

Cette section présente une analyse du partenariat international à travers le prisme des publications associées aux projets du portefeuille. L'analyse ne concerne que les projets du portefeuille relevant de l'AAPG, pour lequel les données sont disponibles. Une publication est réputée associée à un projet du portefeuille dès lors qu'elle cite <sup>(20)</sup> ce projet dans la section remerciements. Au total, 962 publications associées à des projets de l'AAPG, entre 2014 et 2023, ont été identifiées et extraites des bases de données d'OpenAlex, HAL et Web of Science par la Direction de la Stratégie numérique et des Données (DSD) de l'ANR. Ces publications sont issues de 106 projets sur les 134 <sup>(21)</sup> de l'AAPG.

La notion de partenariat international est étendue ici à celle de collaboration internationale, définie par l'existence de publications communes. Au-delà des neuf projets PRCI, l'histogramme de la Figure 15 montre que près de 60 projets sont impliqués dans des collaborations internationales bilatérales. Les collaborations multilatérales (au-delà de deux partenaires) sont moins nombreuses, avec seulement une quinzaine de projets impliqués.

Comme le montre la carte de la Figure 16, la collaboration internationale en termes de publications communes implique 56 pays différents, répartis sur tous les continents, alors que seuls le Luxembourg, l'Allemagne, l'agence taïwanaise, la Suisse et l'Autriche sont impliqués dans les neuf projets PRCI.

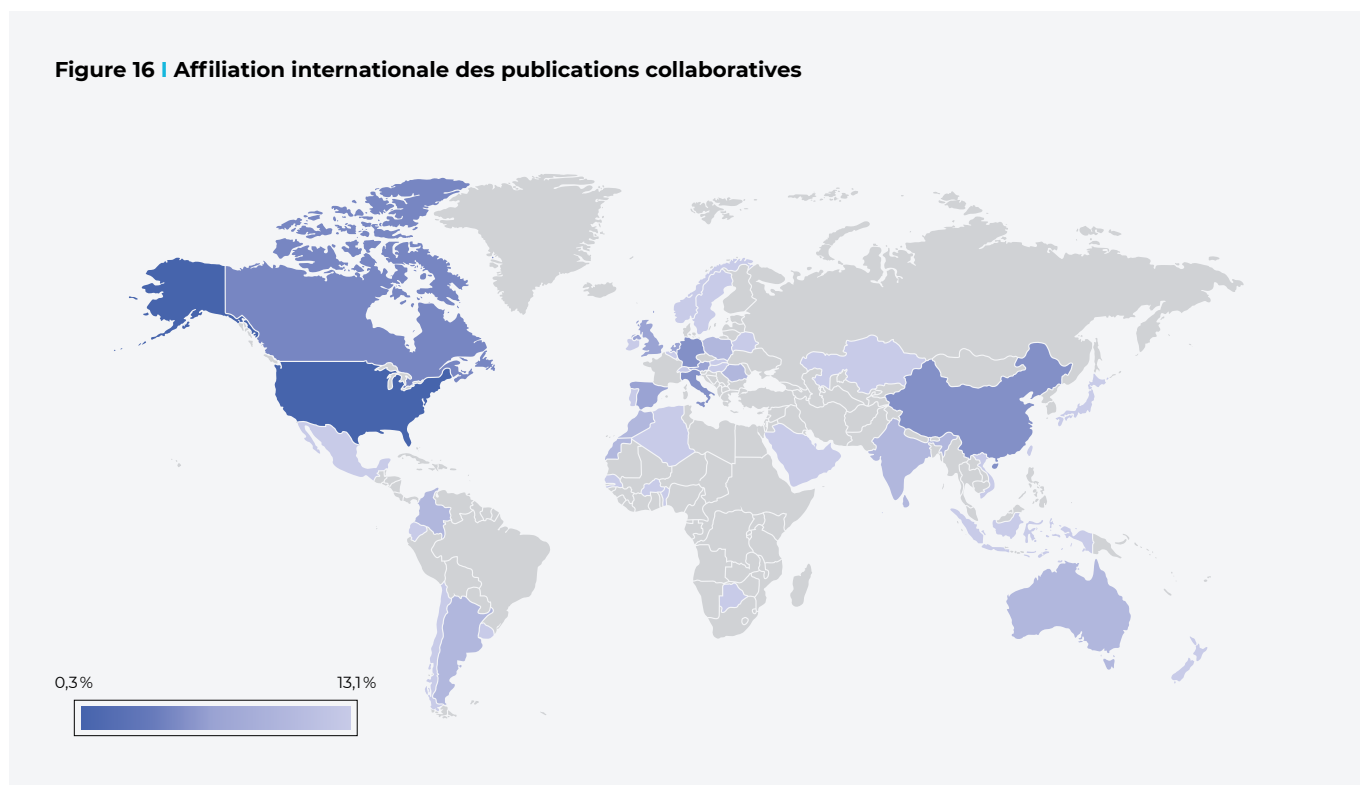
**Figure 15 | Histogramme des collaborations internationales – axe H19 : nombres de projets ayant au moins une publication cosignée par des institutions de n pays différents (n = 2, ..., 8)**



20. Rappelons que cette citation est un engagement contractuel pour les porteurs de projets ANR.

21. Voir Figure 1, p 7.

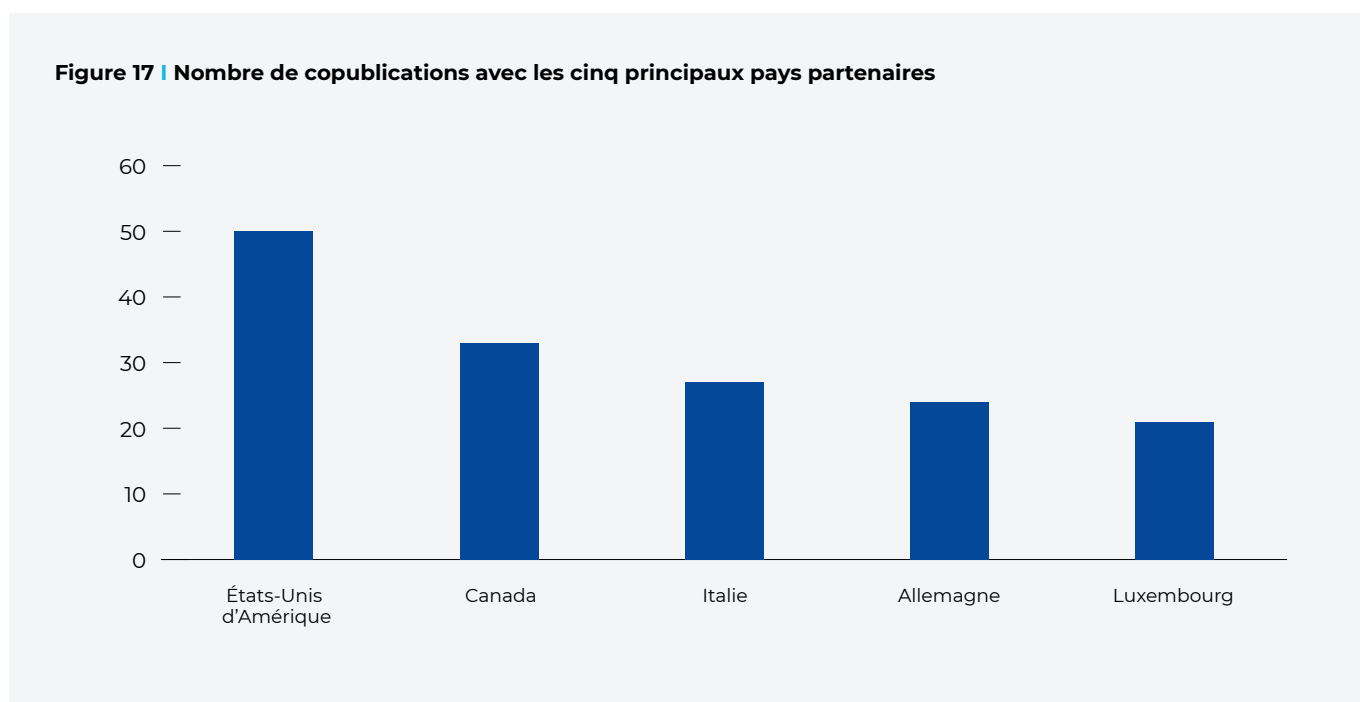
Figure 16 | Affiliation internationale des publications collaboratives



En termes de nombre de publications, les États-Unis, le Canada et l'Italie sont, dans l'ordre, les principaux partenaires (Figure 17), alors même qu'il n'existe pas de programme de type PRCI,

sur la thématique de l'Usine du futur, entre l'ANR et les agences homologues de ces pays.

Figure 17 | Nombre de copublications avec les cinq principaux pays partenaires

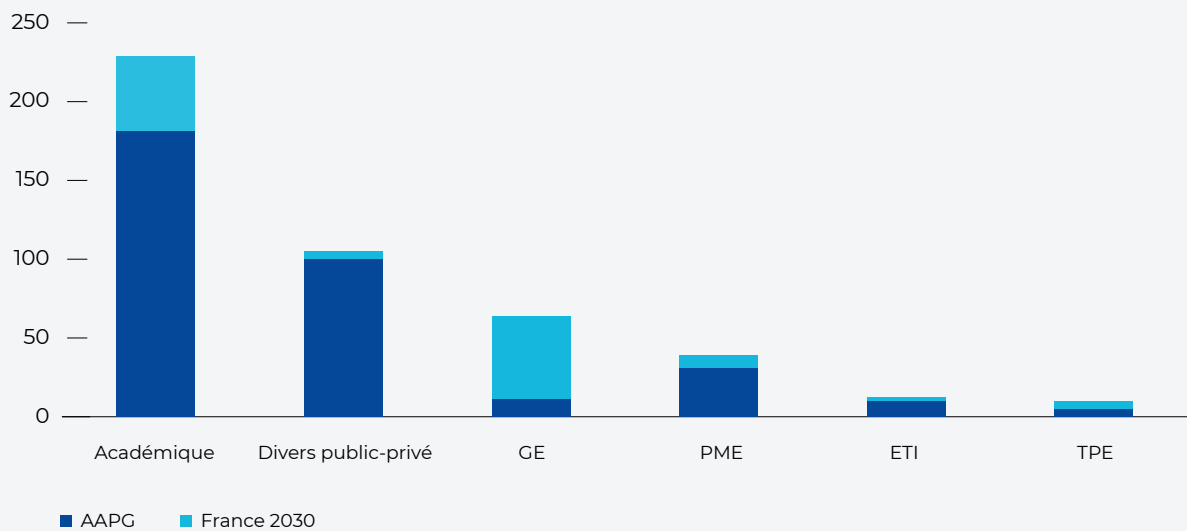


### Partenariat académique et partenariat public-privé entre 2014 et 2023

À l’instar de l’ensemble des projets financés de l’ANR, ceux de la thématique de l’Usine du futur reposent essentiellement sur des partenariats académiques. Le partenariat public-privé est surtout concentré sur l’instrument PRCE pour l’AAPG et sur des appels spécifiques comme les LabCom. La Figure 18 montre la cartographie de ces partenariats, au sein de l’AAPG et au sein de France 2030, pour les projets de la thématique Usine du futur.

Pour cette thématique, l’importance (relative à l’ensemble des thématiques présentes à l’ANR) du partenariat public-privé à travers l’instrument PRCE de l’AAPG a déjà été évoquée, plus haut, comme un des marqueurs de l’axe H.19. Du côté des entreprises, ce partenariat repose principalement sur des PME, ETI et TPE. Pour les programmes France 2030, le contexte est radicalement différent : le partenariat est très majoritairement composé de grandes entreprises (GE), dont Airbus, Chantiers de l’Atlantique et Naval Group. Les projets impliquant ces grands groupes sont presque exclusivement issus des IRT, l’IRT Jules Verne notamment, portant sur des recherches de type « Développement expérimental », allant de la conception au prototypage et parfois même jusqu’à une phase de test dans la chaîne de production.

Figure 18 | Répartition par type de partenaires



PARTIE 3

# Présentation de 15 projets



# Pilier 1

**Technologies.**  
Développer  
de nouvelles  
technologies du  
numérique, de  
la fabrication ou  
de la production



IRT Jules Verne | 2022

## FANTOM

Flexible and Automated NDT  
platform for Manufacturing

Dans l'aéronautique, la sécurité est une priorité absolue. Pour garantir l'intégrité des structures en composite, 100 % des pièces sont soumises à des contrôles non destructifs (CND). Cependant, ces opérations sont souvent longues, coûteuses et nécessitent des moyens conséquents. C'est dans ce contexte qu'a été initié le projet FANTOM, mené par l'IRT Jules Verne en collaboration avec Airbus, Daher, Axiome, CEA LIST et Testia, dont l'objectif était de développer une plateforme robotique capable de réaliser des inspections automatisées, flexibles et intégrées aux lignes de production.

Après plusieurs années de développement, le projet FANTOM a abouti à une plateforme cobotique innovante qui optimise l'inspection des pièces composites et qui intègre plusieurs innovations technologiques majeures : un positionnement optimisé des sondes grâce à une adaptation des trajectoires de contrôle à la géométrie réelle de la pièce ; un contrôle ultrasonore basé sur des effecteurs à faible consommation d'eau capables d'inspecter aussi bien les zones centrales des pièces que leurs bords ; une inspection visuelle automatisée, intégrant des algorithmes d'intelligence artificielle pour détecter et analyser les défauts de surface ; et une combinaison des données dans NDTkit, qui permet de croiser les informations issues des différentes méthodes de contrôle pour un diagnostic plus fiable.

Les résultats du projet FANTOM ouvrent la voie à une nouvelle génération de systèmes de CND robotisés, capables de s'intégrer efficacement dans les processus de production modernes, avec l'ambition de laisser à l'opérateur la responsabilité du contrôle tout en bénéficiant d'une assistance optimisée. L'adaptabilité de la plateforme permet son déploiement au-delà du secteur aéronautique, vers d'autres industries telles que l'énergie ou le naval.

**Début du projet : 2022**

**Durée : 39 mois**

**Financement France 2030 : 2 489 964 €**

[anr.fr/ProjetIA-10-AIRT-0002](https://anr.fr/ProjetIA-10-AIRT-0002)

**Coordination : Aurélien Lunion |**

IRT Jules Verne



## HAPPY

### HAndling & Positioning of heavy Parts for assembly

L'évolution rapide du marché et la demande croissante de produits personnalisés exigent une flexibilité accrue des moyens de production. Pour rester compétitive, l'industrie aéronautique doit disposer de lignes d'assemblage capables : de s'adapter aux cadences et aux variantes de produits ; de réduire l'usage intensif des ponts roulants, souvent goulots d'étranglement ; et de supprimer les outillages ancrés au sol.

Lancé en juin 2018 par l'IRT Jules Verne avec Airbus, ACsystème, le CNRS (LS2N), l'IMT Atlantique et l'INRIA, le projet HAPPY visait à développer des procédés d'assemblage automatisé de grandes structures. Il repose sur des positionneurs légers, montés sur des bases mobiles, pilotés par un système d'asservissement continu.

Le résultat clé : une loi de commande permettant de compenser la flexibilité des pièces et des outillages *via* des mesures locales : par caméras pour le cas tenon/chape et par profilomètres laser pour la jonction orbitale.

Le démonstrateur du projet HAPPY a été transféré sur le site Airbus Atlantic de Montoir-de-Bretagne (44), où il est en phase de pré-industrialisation avec évaluation des performances.

Un second projet, HAPPY2, a été lancé en août 2022 pour faire mûrir la technologie avec des applications plus complexes en aéronautique et un cas d'usage naval : accostage de viroles avant soudage pour des chaufferies nucléaires ; jonction voilure/fuselage ; et assemblage de la poutre ventrale sur le caisson central.

Ces cas, au plus près de la production, marquent une nouvelle étape vers l'industrialisation de la technologie d'asservissement initiée par le projet HAPPY.

**Début du projet : 2018**

**Durée : 53 mois**

**Financement France 2030 : 1 166 550 €**

[anr.fr/ProjetIA-10-AIRT-0002](http://anr.fr/ProjetIA-10-AIRT-0002)

**Coordination :** Typhaine Le Sergent | IRT Jules Verne

## AI4C2PS

### IA pour l'interopérabilité des systèmes cyber-physiques cognitifs

Le projet AI4C2PS s'inscrit dans la transformation de l'entreprise cyber-physique (CPE) en intégrant une interopérabilité cognitive entre humains et systèmes cyber-physiques (CPS).

Dans un contexte où les entreprises recherchent flexibilité et efficacité, il devient essentiel de permettre aux équipes Homme-CPS d'accomplir des tâches complexes (reconfigurations *ad hoc*, résolution de problèmes imprévus), tout en améliorant la qualité des processus de production et l'expérience utilisateur. L'objectif d'AI4C2PS est d'introduire des jumeaux numériques cognitifs (DT), intégrant de l'IA neuro-symbolique, pour renforcer cette collaboration et garantir une interopérabilité optimale entre humains et CPS. Le projet vise à modéliser les humains et les CPS *via* des DT autonomes, capables d'intégrer des facteurs humains pour ajuster dynamiquement le comportement des systèmes.

Il s'appuie sur des techniques avancées, telles que le raisonnement sémantique, l'apprentissage par renforcement profond (DRL) et des mécanismes d'explicabilité pour permettre aux DT d'apprendre en continu *via* des interactions en temps réel et des simulations. Les couples <CPS, DT> deviendront des entités cognitives capables d'interagir avec d'autres et de s'adapter en autonomie. Les perspectives ouvriront la voie à une nouvelle génération de CPS cognitifs, augmentant leur capacité à collaborer clairement avec les humains.

En termes de retombées, le projet permettra de mieux prendre en compte les facteurs humains dans les environnements industriels, offrant une approche personnalisée et adaptable à la gestion des systèmes. AI4C2PS apportera des contributions majeures au domaine des systèmes cyber-physiques collaboratifs, avec des applications potentielles dans l'industrie, la logistique et au-delà, et favorisera de nouvelles collaborations entre disciplines (IA, robotique, psychologie cognitive etc.), ouvrant des questionnements sur l'intégration harmonieuse des technologies dans les environnements humains.

**Début du projet : 2023**

**Durée : 42 mois**

**Instrument : PRCI**

**Financement ANR : 480 000 €**

[anr.fr/projet-ANR-22-CE10-0016](http://anr.fr/projet-ANR-22-CE10-0016)

**Coordination :** Hervé Panetto | Centre de recherche en automatique de Nancy (CRAN), Université de Lorraine

## AutoMeCal

Automatisation de la caractérisation mécanique et de la calibration des modèles

Le projet AutoMeCal répond aux enjeux de l'Industrie 4.0 en automatisant la conception mécanique virtuelle des matériaux pour améliorer la sobriété d'utilisation, réduire la masse des produits et limiter les rebuts de production. Cette démarche repose sur des modèles mécaniques précis, calibrés grâce à des données issues d'essais mécaniques, afin d'anticiper les variations des propriétés des matériaux entre différents lots. L'objectif est de développer un outil automatisé et intelligent capable de générer un modèle élasto-plastique anisotrope calibré jusqu'à rupture, représentatif du comportement mécanique d'un matériau donné.

Cet outil intégrera une cellule robotisée pour les essais mécaniques automatisés, associée à un logiciel d'optimisation basé sur l'identification inverse des paramètres matériaux. L'innovation majeure d'AutoMeCal réside dans l'intégration complète de tâches traditionnellement indépendantes, comme la préparation des éprouvettes, le dépôt de motifs pour la corrélation d'images numériques, la réalisation et validation des essais mécaniques, ainsi que la calibration des modèles par des méthodes avancées telles que le Finite Element Model Updating ou la Virtual Fields Method.

Ce niveau d'automatisation garantit une qualité accrue des données d'entrée pour la simulation numérique, essentielle pour des prédictions robustes et précises. Les retombées, au niveau scientifique, apportent des avancées dans l'automatisation des essais mécaniques et la calibration des modèles, comblant un manque reconnu de bases de données fiables sur les matériaux. Ces contributions bénéficient aux secteurs du transport automobile et aérospatial, où les tôles métalliques minces sont couramment utilisées.

En outre, AutoMeCal permet d'accélérer l'étude des variations des propriétés mécaniques des matériaux, ouvrant des perspectives pour la personnalisation rapide de modèles adaptés à des besoins spécifiques.

**Début du projet : 2024**

**Durée : 48 mois**

**Instrument : PRME**

**Financement ANR : 292 177 €**

[anr.fr/projet-ANR-23-CE10-0007](https://anr.fr/projet-ANR-23-CE10-0007)

**Coordination : Sandrine Thuillier | UMR CNRS 6027, IRDL, Université Bretagne Sud**

## greenDFAM

Écoconception pour la fabrication additive

Le projet greenDFAM s'inscrit dans un contexte de crise environnementale, climatique et énergétique croissante, en particulier face aux défis liés à la fabrication industrielle. Son objectif principal est de spécifier les domaines d'application pertinents de la Fabrication additive (FA) métallique, en visant une réduction des impacts environnementaux de 2 à 4 fois par rapport aux méthodes de fabrication traditionnelles.

Ce projet se distingue par une approche globale, dépassant les seuls impacts énergétiques ou de CO<sub>2</sub>, et cherche à intégrer la notion d'écoconception dans les processus industriels. L'enjeu est de fournir aux concepteurs et responsables de projets un Outil d'aide à la décision. Cet outil combine une base de règles environnementales (GreenDFAM), une base de données ACV (Analyse du cycle de vie) spécifique à la FA, et des modèles de cycle de vie couvrant cinq usages de la fabrication additive (optimisation de masse, intégration, personnalisation, maintenabilité et production), avec des applications dans des secteurs clés tels que l'aéronautique, l'automobile et l'outillage. Les méthodologies développées s'appuient sur trois axes principaux : la collecte et le croisement d'informations issues de la littérature scientifique, des comparaisons FA/FT basées sur des cas industriels réels, et des expérimentations de fabrication en laboratoire.

Ces expérimentations, réalisées sur les plateformes des laboratoires G-SCOP, GEM et Cosmer, permettent de tester des pièces optimisées pour réduire leur impact environnemental. Le projet greenDFAM est également un levier de nouvelles collaborations interdisciplinaires, combinant les expertises en FA métallique, écoconception et analyse de cycle de vie.

Parmi les avancées majeures, la formalisation d'une méthodologie d'analyse et la mise à disposition d'outils pratiques pour le secteur industriel sont des résultats significatifs, ouvrant des perspectives pour des pratiques de fabrication plus durables et écologiques.

**Début du projet : 2023**

**Durée : 42 mois**

**Instrument : PRC**

**Financement ANR : 427 555 €**

[anr.fr/projet-ANR-23-CE10-0011](https://anr.fr/projet-ANR-23-CE10-0011)

**Coordination : Dominique Millet | Laboratoire COSMER, Université de Toulon**

## ORACLE

### Optimisation de l'interpolation de trajectoires en fabrication additive par fusion laser sur lit de poudre

En Fabrication additive par fusion laser sur lit de poudre (PBF-LB), les caractéristiques mécaniques et géométriques des pièces sont déterminées lors de la fabrication, et influencées par les trajectoires du spot laser et la maîtrise locale de l'énergie apportée. La commande numérique (CN), qui génère les consignes pour les actionneurs, joue un rôle crucial dans la qualité des pièces produites. Une analyse de plusieurs CN industrielles a révélé que des traitements internes peuvent causer des surfusions locales, dégradant ainsi la qualité des pièces.

Le projet ORACLE vise à développer une CN spécifique pour la fabrication additive PBF-LB, en modélisant et intégrant les contraintes liées à la machine, au procédé et à la production. L'objectif est de maîtriser localement l'énergie apportée à la matière lors de la fusion. Pour cela, le projet cherche à surmonter plusieurs défis scientifiques et technologiques : développer une solution de contrôle-commande pour piloter les actionneurs et optimiser les trajectoires et la puissance du laser en tenant compte des contraintes.

Les résultats attendus incluent le développement d'une CN intégrée dans une machine industrielle et des stratégies d'interpolation pour améliorer la maîtrise de l'énergie. Cette CN ouverte, à l'intersection de l'informatique industrielle et de la mécanique, permettra de valider expérimentalement des approches théoriques et d'initier des travaux sur le contrôle en temps réel des actionneurs basé sur des mesures *in situ*. À long terme, cela permettra de créer des boucles de rétroaction à 100 kHz et d'améliorer la portabilité des recettes de fabrication entre machines.

**Début du projet : 2023**

**Durée : 48 mois**

**Instrument : JCJC**

**Financement ANR : 247 628 €**

[anr.fr/Projet-ANR-22-CE10-0003](https://anr.fr/Projet-ANR-22-CE10-0003)

**Coordination :** Kevin Godineau | LURPA,  
École normale supérieure Paris-Saclay



## Pilier 2

### Organisation. Vision et organisation systémiques du système industriel



IRT SystemX | 2022

### JNI01

Construction assistée et outillée des jumeaux numériques des systèmes industriels, incluant les aspects Cybersecurity by Design

Le jumeau numérique (JN) est un système complexe qui s'impose comme un levier stratégique majeur de la transformation digitale de l'industrie. JNI1, projet central du programme (JNI - JN de systèmes Industriels complexes), cible la création d'un cadre méthodologique outillé facilitant l'introduction des JN dans les pratiques de l'Industrie 4.0. L'ingénierie des JN est un processus multidisciplinaire qui nécessite la collaboration d'experts de différentes disciplines et domaines d'application avec, en coordination, les ingénieurs systèmes et logiciels au cœur du processus d'ingénierie pour concevoir, développer, déployer, tester, faire évoluer et valider le jumeau numérique.

Les enjeux scientifiques sont, pour l'ingénierie, la conception générique et systématique de JN, incluant la définition de concepts, d'architecture de référence, de langages de modélisation standards (dans le cadre I4.0 – Asset Administration Shell), de méthodes et d'outils de développement de JN cyber-by-design ; et la gestion, l'harmonisation, l'intégration et l'interopérabilité des données hétérogènes, et la prise en compte des risques cyber par construction. Ceci sécurise les JN et améliore la résilience concernant la disponibilité de ses actifs, pour implémenter des architectures zéro-trust.

JNI1 cible les phases amonts de conceptualisation, conception et développement, qui devront considérer, au-delà du projet, les problématiques de composition, système de systèmes de JN, d'évolution continue en opération, etc. Ce cadre est instancié dans le projet sur deux cas d'usages applicatifs industriels portés par Naval Group pour l'usine de Lorient et par RTE pour les transformateurs électriques. Les JN amenant des nouvelles interactions et usages, une collaboration avec le laboratoire IBISC a vu le jour sur le sujet de la réalité étendue.

**Début du projet : 2022**

**Durée : 36 mois**

**Financement France 2030 : 875 571 €**

[anr.fr/ProjetIA-11-LABX-0045](https://anr.fr/ProjetIA-11-LABX-0045)

**Coordination :** Amira Ben Hamida |  
IRT SystemX

## CORENSTOCK

Conception orientée cycle de vie et approche systémique pour l'efficacité énergétique du stockage de systèmes de chauffage

Dans le contexte des grandes transitions numériques et environnementales du XXI<sup>e</sup> siècle, les modes de production industrielle évoluent, poussant les entreprises à adopter une démarche responsable. L'innovation doit désormais viser à consommer moins de ressources tout en améliorant la performance, la recyclabilité et la durabilité des produits. Ce contexte transforme l'industrie du chauffage, énergivore par nature, en incitant à développer des systèmes communicants et adaptables aux besoins individuels pour optimiser l'efficacité énergétique.

Le programme de recherche partenarial entre l'IMT et elm.leblanc vise deux avancées majeures : concevoir une nouvelle génération de systèmes de production thermique efficaces et durables, et développer des méthodes de conception systémiques pour transformer les pratiques industrielles. Ce partenariat soutient la transformation énergétique et numérique d'elm.leblanc par la recherche, l'innovation et la formation, incluant un programme dédié pour accompagner le personnel.

Le projet cible le stockage d'eau chaude sanitaire, clé de l'activité d'elm.leblanc, en visant un produit performant, économe en matières premières, recyclable, auto-adaptatif et durable. Une approche holistique est nécessaire, intégrant dès la conception l'utilisation et la fin de vie du produit. Les défis incluent l'efficacité énergétique, le pilotage intelligent de la production thermique, la maintenance préventive, et les stratégies d'économie circulaire, pour définir les fonctionnalités et processus tout au long du cycle de vie des ballons d'eau chaude.

**Début du projet : 2021**

**Durée : 48 mois**

**Financement ANR : 604 024 €**

[anr.fr/Projet-ANR-20-CHIN-0004](https://anr.fr/Projet-ANR-20-CHIN-0004)

**Coordination : Mylène Lagardère |**

IMT, École nationale supérieure Mines-Télécom  
Lille-Douai

## ETHICS40

Management des risques éthiques dans l'Industrie du futur

Le projet ETHICS40 s'inscrit dans le contexte des systèmes industriels du futur, caractérisés par une forte autonomie, une flexibilité accrue et une profusion de données. Ces caractéristiques introduisent des risques éthiques liés à une utilisation inappropriée des données ou à des décisions automatisées potentiellement biaisées ou imprévues. Ces enjeux concernent à la fois individus, entreprises, société et environnement. Face à ces défis, le projet vise à développer un outil opérationnel, ETHICS4IF (*Ethical Risk Assessment and Management for Industry of the Future*), destiné à identifier, évaluer et intégrer les risques éthiques dans le pilotage et l'amélioration continue des performances des systèmes industriels.

L'objectif est de proposer une méthodologie pluridisciplinaire, associant ingénierie et éthique appliquée, pour outiller les industriels dans la prise en compte proactive de ces enjeux. En collaboration avec l'équipementier NTN Europe, le projet aboutira à plusieurs livrables majeurs : un prototype logiciel ETHICS4IF, un ensemble de règles et pratiques issues de l'application concrète de cet outil, ainsi qu'un retour d'expérience validant son efficacité et ses hypothèses initiales. Ces contributions s'accompagnent d'une réflexion approfondie sur l'éthique appliquée dans les phases d'industrialisation et d'exploitation, avec des outils de valorisation tels qu'un guide de bonnes pratiques, un site web et des podcasts.

Sur le plan scientifique, ETHICS40 établit un cadre novateur pour intégrer l'éthique dans le management industriel, comblant un vide entre philosophie morale et ingénierie. En pratique, le projet ouvre la voie à une exploitation responsable des systèmes du futur, alliant performance et durabilité. Les suites prévues incluent des travaux académiques sur les verrous identifiés et le transfert technologique via une SATT pour développer une version professionnelle du logiciel ETHICS4IF, favorisant ainsi une adoption élargie de ces outils.

**Début du projet : 2024**

**Durée : 42 mois**

**Instrument : PRCE**

**Financement ANR : 631 106 €**

[anr.fr/projet-ANR-23-CE10-0014](https://anr.fr/projet-ANR-23-CE10-0014)

**Coordination : Damien Trentesaux |**

UMR 8201, Laboratoire LAMIH, Université  
Polytechnique Hauts-de-France

## RECONFIDURABLE

Conception et pilotage de systèmes de production reconfigurables et durables

Le projet RECONFIDURABLE vise à démontrer que les systèmes de production reconfigurables (RMS) peuvent constituer une base pour des systèmes de production durables, grâce à leur flexibilité et leurs propriétés intrinsèques. La méthodologie repose sur la modularité des RMS, permettant de sélectionner des modules d'équipement et d'affecter les opérations de production en fonction des scénarios d'évolution de la demande et des incertitudes sur les volumes.

L'objectif est de prolonger la durée de vie du système tout en réduisant les émissions, la consommation d'énergie et les coûts, en intégrant la durabilité à chaque étape de conception, reconfiguration et pilotage en temps réel. Les techniques utilisées incluent la modélisation multi-échelle, l'optimisation combinatoire sous incertitudes et l'analyse de robustesse. Les outils développés permettent de mesurer et d'intégrer les coûts et impacts environnementaux, de choisir des modules optimaux pour assurer l'évolutivité et la robustesse du système, et de reconfigurer le RMS en réponse aux modifications environnementales et énergétiques. Un pilotage réactif est mis en place pour gérer les aléas internes et externes, favorisant ainsi de nouvelles collaborations interdisciplinaires et ouvrant des perspectives scientifiques sur l'optimisation durable des systèmes de production.

**Début du projet : 2022**

**Durée : 54 mois**

**Instrument : PRC**

**Financement ANR : 580 209 €**

[anr.fr/Projet-ANR-21-CE10-0019](https://anr.fr/Projet-ANR-21-CE10-0019)

**Coordination :** Alexandre Dolgui | Laboratoire LS2N, DAPI, IMT Atlantique



## Pilier 3

### Humain. Centrer l'usine sur l'humain

#### Programme Astrid | 2023

### MPH

Modélisation de la Performance Humaine : applications aux tâches complexes et opérationnelle

Dans un monde de plus en plus complexe grâce aux avancées scientifiques et technologiques, les opérateurs doivent gérer des tâches sophistiquées, malgré l'automatisation et l'intelligence artificielle. L'humain reste crucial dans la supervision de ces systèmes, mais est sujet aux erreurs, comme le montrent les statistiques en aéronautique. Pour comprendre et prévenir ces erreurs, le projet MPH vise à développer un modèle psychophysique complet de la performance humaine lors de tâches complexes, applicable aux civils et militaires en situation d'apprentissage ou de gestion de systèmes complexes.

Le projet se structure autour de trois objectifs : prédire la performance humaine à partir de mesures psychophysiques intrinsèques, construire un outil d'estimation des états mentaux basé sur des algorithmes d'apprentissage, et valider cet outil en situation opérationnelle. La recherche en neuro-ergonomie a identifié des marqueurs de fatigue, charge mentale et efficacité cognitive, mais manque d'une approche holistique. MPH comblera cette lacune en intégrant divers paramètres physiologiques et cognitifs.

Les retombées attendues incluent une base de données qualitative et quantitative pour la recherche académique, et une modélisation utilisable en situation écologique pour améliorer la sécurité dans les systèmes à risques, notamment en aéronautique. Le projet vise un niveau de maturité technologique (TRL) de 4 à 5, avec des expérimentations écologiques sur des simulateurs de drones et d'avions.

**Début du projet : 2023**

**Durée : 36 mois**

**Financement ANR : 371 709 €**

[anr.fr/Projet-ANR-23-ASTR-0018](https://anr.fr/Projet-ANR-23-ASTR-0018)

**Coordination :** Sébastien Scannella |  
Département Conception et conduite  
des véhicules aérospatiaux (DCAS),  
ISAE-SUPAERO

## N-HUM-INNO

Laboratoire commun l'Homme au cœur des enjeux des mondes numérique

Le LabCom N-Hum-Inno vise à étudier les interactions Homme-Homme et Homme-Machine dans des environnements numériques complexes, en se concentrant sur la prise de décision humaine face à une abondance de données. Le projet cherche à développer des outils pour observer et analyser le comportement humain, générer des indicateurs d'évaluation de l'expérience utilisateur, et créer des démonstrateurs pour des applications variées comme l'Industrie 4.0, le Neuro-Marketing et les Smart-Cities.

Le projet se structure autour de trois axes principaux. L'axe 1 se concentre sur l'évaluation et l'analyse de l'activité dans des environnements immersifs, en développant une méthodologie et des protocoles expérimentaux pour analyser les comportements humains en réalité virtuelle. L'axe 2 vise à mesurer en temps réel l'activité humaine dans une usine 4.0, en intégrant des indicateurs de performance et des mesures psychophysiologiques pour optimiser les lignes de production. L'axe 3 évalue les interfaces Homme-Machine, en intégrant de nouveaux indicateurs pour améliorer l'expérience utilisateur dans des applications éducatives.

Un premier démonstrateur de mesure de l'activité humaine en réalité virtuelle a été développé, utilisant des capteurs physiologiques pour évaluer des tâches de navigation spatiale. Ce travail inclut un protocole expérimental et un plugin pour communiquer avec les capteurs et logiciels de la société TEA. Cette solution pourrait être utile pour la conception d'espaces nécessitant une attention particulière à l'expérience utilisateur, comme les gares, aéroports et hôpitaux.

Les expérimentations se poursuivront, adaptées aux contraintes sanitaires, pour explorer d'autres applications et répondre aux besoins des clients industriels. Les avancées du projet incluent la mise en place de nouvelles collaborations et l'exploration de nouveaux questionnements scientifiques, avec des perspectives prometteuses pour des applications industrielles et des retombées scientifiques significatives.

**Début du projet : 2019**

**Durée : 36 mois**

**Financement ANR : 300 000 €**

[anr.fr/Projet-ANR-18-LCV3-0007](http://anr.fr/Projet-ANR-18-LCV3-0007)

**Coordination :** Mauricio Camargo | Équipe de recherche sur les processus innovatifs (ERPI), Université de Lorraine

## AdAP2E

Plate-forme de production environnementale adaptable et autonome

Le projet AdAP2E répond aux défis des interventions en milieux naturels, notamment dans l'agriculture, où la transition écologique exige des actions précises, fréquentes et adaptées aux contraintes environnementales. Face aux dangers, à la pénibilité et à la tension sur la main-d'œuvre, l'objectif est de concevoir une plateforme robotique capable d'adapter son comportement et sa configuration aux différentes tâches et contextes. L'enjeu est double : une adaptation algorithmique pour ajuster le comportement sensori-moteur selon les conditions d'interaction (éclairage, obstacles, adhérence) et une adaptation physique pour modifier les paramètres dynamiques du robot afin d'assurer précision et intégrité.

Les problématiques traitées incluent la variabilité des environnements et la capacité des robots à répondre en temps réel à des scénarios complexes, comme le suivi de trajectoires ou le tracking de cibles. Les approches développées en commande adaptative et prédictive à haute vitesse ont été validées en conditions réelles, apportant des contributions majeures à la perception, au contrôle et à la reconfiguration robotique.

Ces travaux ont généré des concepts novateurs de châssis reconfigurables, bien que limités par des contraintes financières, ainsi que des solutions multi-robots modulaires, offrant des synergies nouvelles en agroécologie.

Les résultats du projet incluent des outils logiciels ouverts, utilisés par des constructeurs pour développer des robots agricoles avancés, et des bases pour de nouvelles recherches en perception environnementale et paramétrisation comportementale. AdAP2E pose les fondations d'une robotique agricole plus adaptable, durable et collaborative, tout en ouvrant la voie à des collaborations interdisciplinaires et des questionnements innovants sur l'autonomie robotique en milieux naturels.

**Début du projet : 2014**

**Durée : 54 mois**

**Instrument : JCJC**

**Financement ANR : 355 680 €**

[anr.fr/projet-ANR-14-CE27-0004](http://anr.fr/projet-ANR-14-CE27-0004)

**Coordination :** Roland Lenain | Centre de Clermont-Ferrand, INRAE

## MINIMEAU

Minimisation des consommations d'eau dans les agro-industries par le développement d'une approche intégrée associant Empreinte Eau et Pinch massique

Le projet MINIMEAU s'inscrit dans un contexte de pression croissante sur les ressources en eau, notamment en France, où l'accès durable à de l'eau de qualité est devenu un enjeu crucial pour les industries agroalimentaires (IAA). Ces industries qui consomment de l'eau pour des usages variés (ingrédients, nettoyage, transferts thermiques), sont de plus en plus engagées dans des démarches d'économie d'eau.

Cependant, pour aller au-delà des réductions de 15 à 20 %, une reconception des réseaux d'eau au sein des usines est nécessaire, incluant la réutilisation des effluents peu chargés ou leur recyclage après purification. L'objectif était de fournir des outils d'aide à la décision pour accompagner les IAA dans cette démarche, notamment par l'analyse pincement eau (« Pinch Eau »), une méthodologie visant à optimiser la gestion de l'eau et les systèmes de purification membranaire. Les travaux ont permis de développer une démarche méthodologique détaillée, accompagnée d'une boîte à outils accessible sur le site du projet, incluant des guides pratiques, des outils d'analyse, ainsi que des logiciels de simulation pour évaluer l'empreinte eau des scénarios envisagés.

Plusieurs cas d'études ont été réalisés sur différentes filières des IAA (légumes transformés, produits laitiers, etc.), permettant de tester l'efficacité de la méthodologie dans des contextes industriels variés. Le dimensionnement d'une unité membranaire pour traiter les effluents d'une usine de légumes surgelés a révélé sa viabilité, notamment en termes d'empreinte eau.

L'une des avancées majeures a été l'élargissement des connaissances sur l'optimisation de la gestion de l'eau dans les IAA et le développement d'outils pratiques accessibles à un large public. Ce projet a également donné lieu à des collaborations entre agroalimentaire, ingénierie de l'eau et technologies de purification, enrichissant la question autour de l'empreinte eau et des procédés de recyclage.

**Début du projet : 2018**

**Durée : 54 mois**

**Instrument : PRCE**

**Financement ANR : 884 269 €**

[anr.fr/projet-ANR-17-CE10-0015](http://anr.fr/projet-ANR-17-CE10-0015)

**Coordination :** Claire Fargues | UMR 0782, SayFood, AgroParisTech | INRAE | Université Paris-Saclay

## SEAHAND

Main marinisée mobile pour la saisie robuste en environnement sous-marin

Le projet SEAHAND s'inscrit dans le domaine de l'archéologie sous-marine et la préservation des épaves profondes, où les limites de l'intervention humaine exigent des solutions technologiques avancées.

L'objectif principal était de développer un préhenseur robotique marinisé monté sur un mini-véhicule sous-marin, capable de remplacer les archéologues plongeurs à des profondeurs inaccessibles. Ce dispositif permet une téléopération précise depuis la surface, avec un retour d'efforts sur tous les degrés de liberté, y compris la pression exercée par chaque doigt, pour manipuler en toute sécurité des objets fragiles.

Les défis scientifiques traités incluaient la conception d'un système de saisie adaptative et la robustesse des transmissions par câbles sous haute pression. Le projet a mobilisé des compétences pluridisciplinaires, associant spécialistes en robotique, télémanipulation, archéologie sous-marine et mécanique des fluides, regroupés autour des partenaires PPRIME, LIRMM, DRASSM et BECOM-D. En s'appuyant sur les améliorations de la main robotique terrestre RoBioSS, notamment dans la mesure des efforts et la transmission, le préhenseur SEAHAND a été conçu avec 4 doigts et 6 actionneurs, capable de répondre aux exigences des environnements sous-marins extrêmes.

Le prototype final, valorisé par deux brevets, a été expérimenté en 2023 sur une nacelle de robot parallèle à câbles terrestres, testant des scénarios complexes de saisie. Ces essais réussis ouvrent la voie à son intégration sur des mini-véhicules sous-marins pour des missions de prélèvement d'objets fragiles. Les avancées scientifiques incluent une meilleure compréhension de la préhension adaptative en environnement marin, tandis que les retombées incluent des collaborations renforcées entre partenaires et de nouvelles perspectives pour la robotique sous-marine. Le projet établit ainsi une base solide pour des développements futurs dans l'exploration océanique et la protection du patrimoine subaquatique.

**Début du projet : 2015**

**Durée : 67 mois**

**Instrument : PRC**

**Financement ANR : 471 418 €**

[anr.fr/Projet-ANR-15-CE10-0004](http://anr.fr/Projet-ANR-15-CE10-0004)

**Coordination :** Jean-Pierre Gazeau | UPR 3346, Institut PPRIME | Département GMSC | Axe RoBIOSS, CNRS | Centre Limousin Poitou-Charentes

# Consulter la liste des 178 projets financés sur [anr.fr](https://anr.fr)



SCANNER LE QR CODE  
POUR EN SAVOIR PLUS

**Direction de la publication** : Claire Giry, Présidente-directrice générale

**Direction de la rédaction** : Fabrice Impériali

**Conception et coordination scientifique** : Mamadou Mboup

**Rédaction** : Mamadou Mboup, Damien Chablat, Daniela Floriani,  
Gabrielle Lacombe, Pierre Moller, Grégoire Vautrin

**Analyse des données** : Mamadou Mboup, Grégoire Vautrin

**Coordination éditoriale** : Nathalie Mamosa

**Préparation de copie et correction** : Sandra Lumbroso

**Conception graphique** : Nadège Theil

**Impression** : Reprotechnique

Photo de couverture : © NurNazira / AdobeStock

ISSN 2258-9309

**anr**®

Agence nationale de la recherche  
86 rue Regnault – 75013 Paris

[www.anr.fr](http://www.anr.fr)

[www.appelsprojetsrecherche.fr](http://www.appelsprojetsrecherche.fr)

Suivre notre actualité sur :  @ANR\_agencerecherche  @agencerecherche  ANR  ANR

S'inscrire à la newsletter : [anr.fr/fr/newsletter](http://anr.fr/fr/newsletter)