

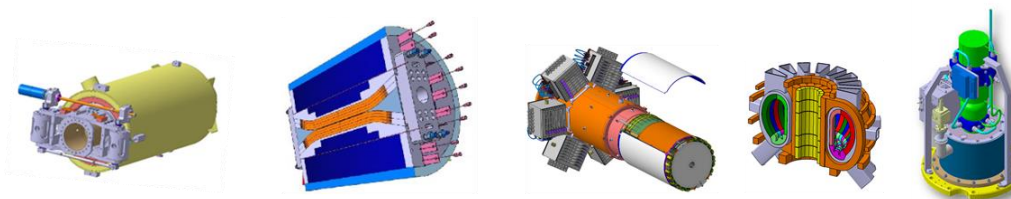
DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



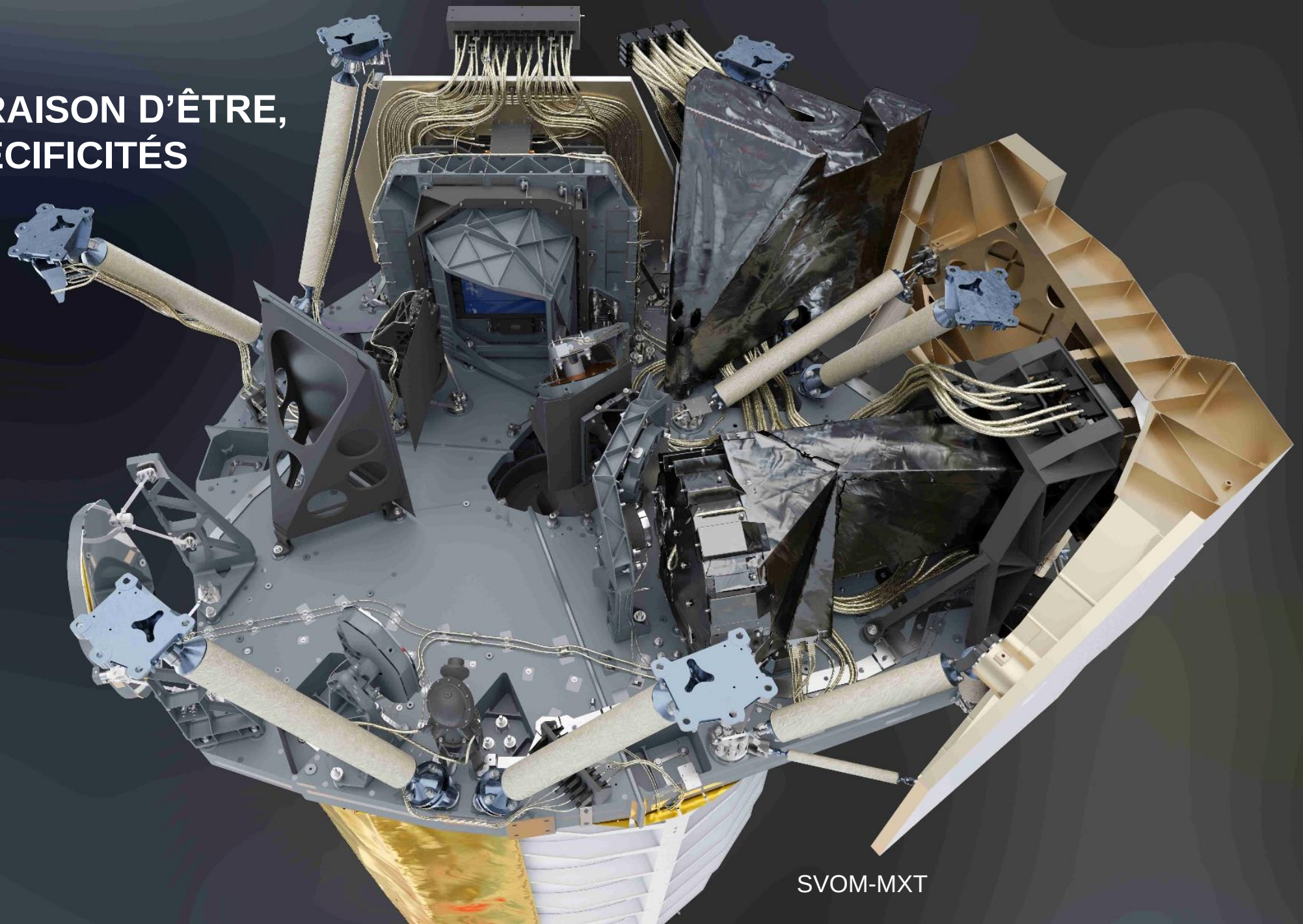
Enjeux de la conception mécanique des instruments de physique

et thermique

Pierre Manil | CEA Paris-Saclay, Irfu/DIS



NOTRE RAISON D'ÊTRE,
NOS SPÉCIFICITÉS

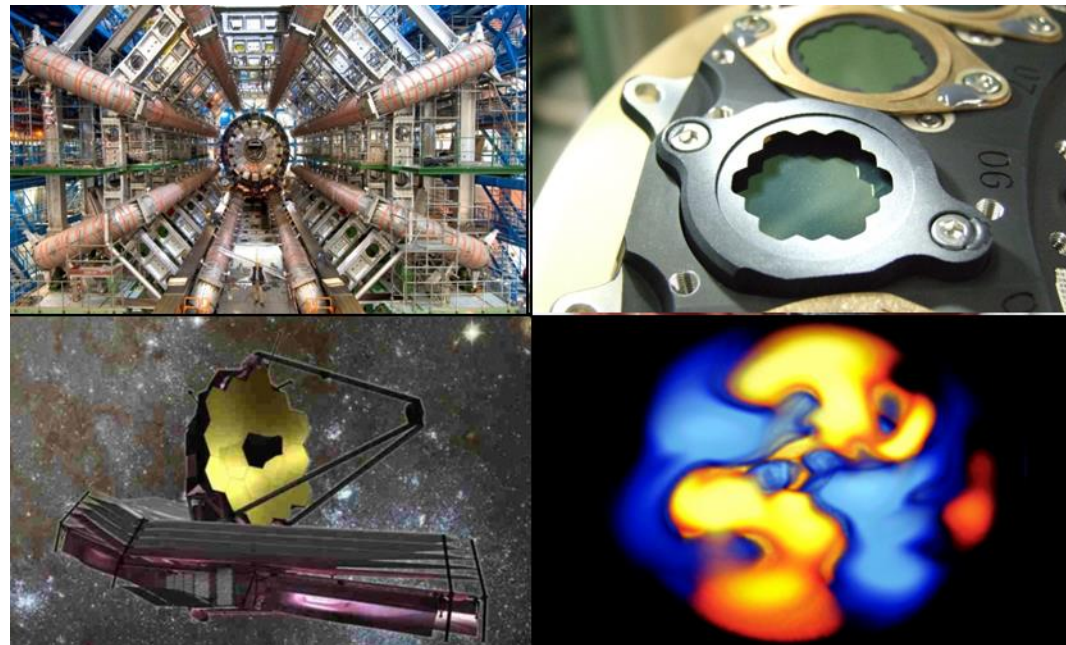


SVOM-MXT

LA RECHERCHE EN PHYSIQUE REPOSE SUR DES INSTRUMENTS TECHNOLOGIQUE DE POINTE

Manipuler

Détecter

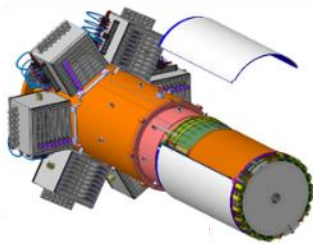


Observer

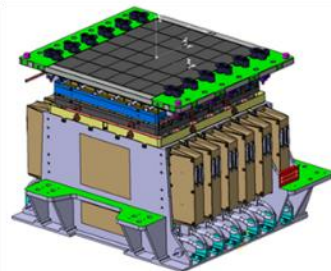
Simuler

LES SAVOIR-FAIRE TECHNOLOGIQUES DE P2I

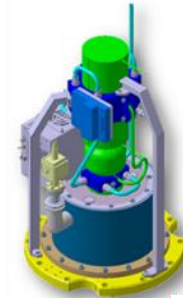
Systèmes de détection



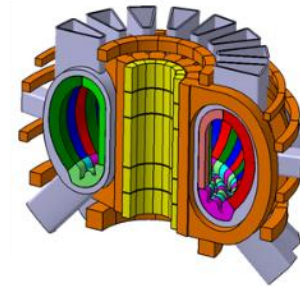
Instruments spatiaux



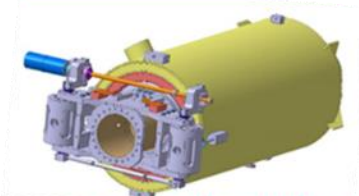
Télescopes



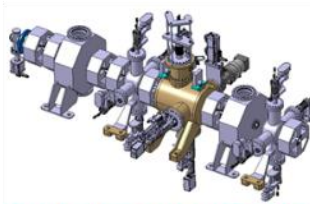
Sujets transverses



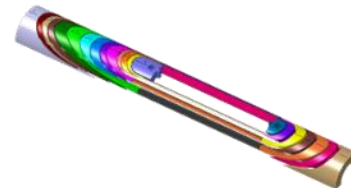
Systèmes Accélérateurs



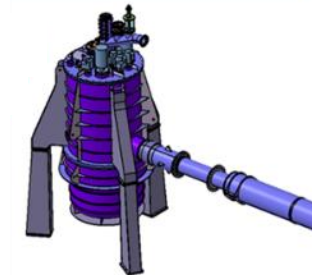
Lignes Faisceau



Aimants supraconducteurs

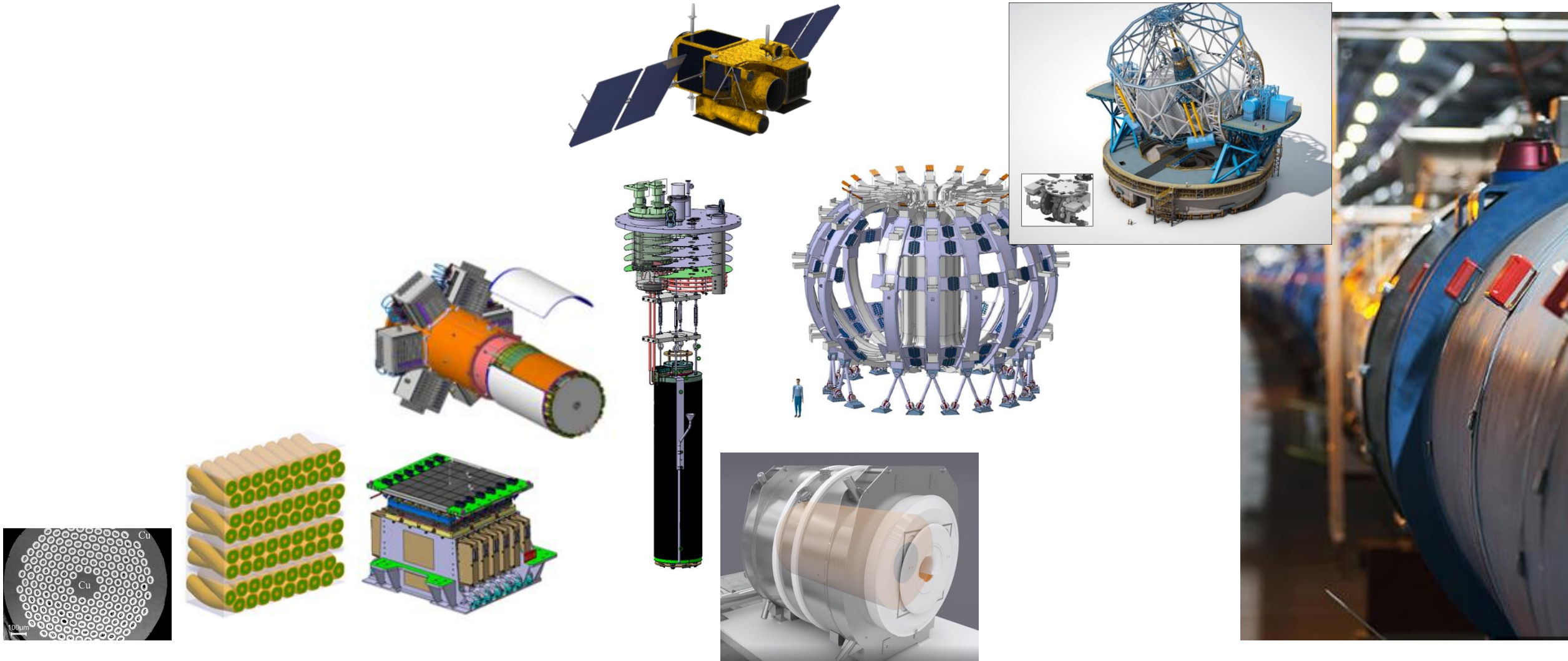


Stations d'essais Cryogénie



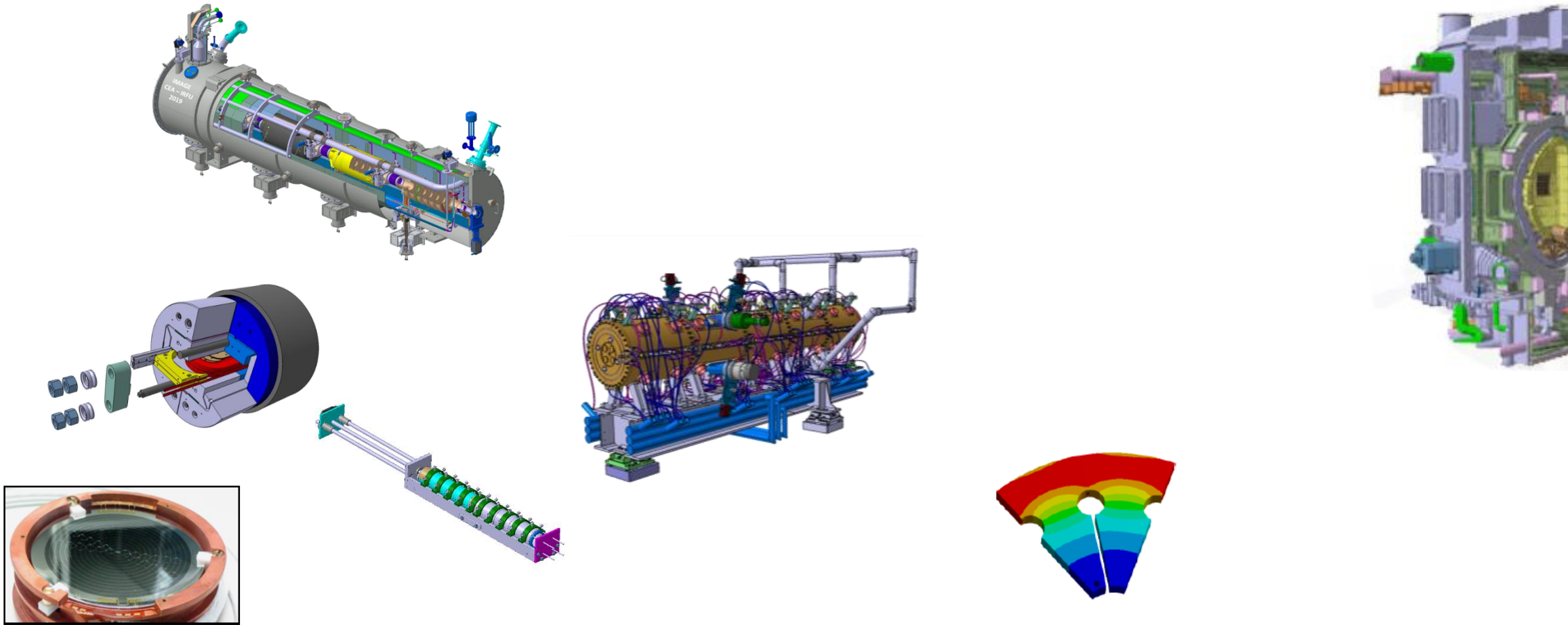
- Notre mission est d'assurer la conception mécanique et thermique de ces équipements...
- ... soumis à des **contraintes** souvent **antagonistes**

DES ÉCHELLES DE TAILLE TRÈS DIVERSES



1 micron 1 mm 1cm 1 m 10 m 100 m >1 km

DES ÉCHELLES DE TEMPÉRATURE TRÈS DIVERSES



0 absolu

1mK

4K

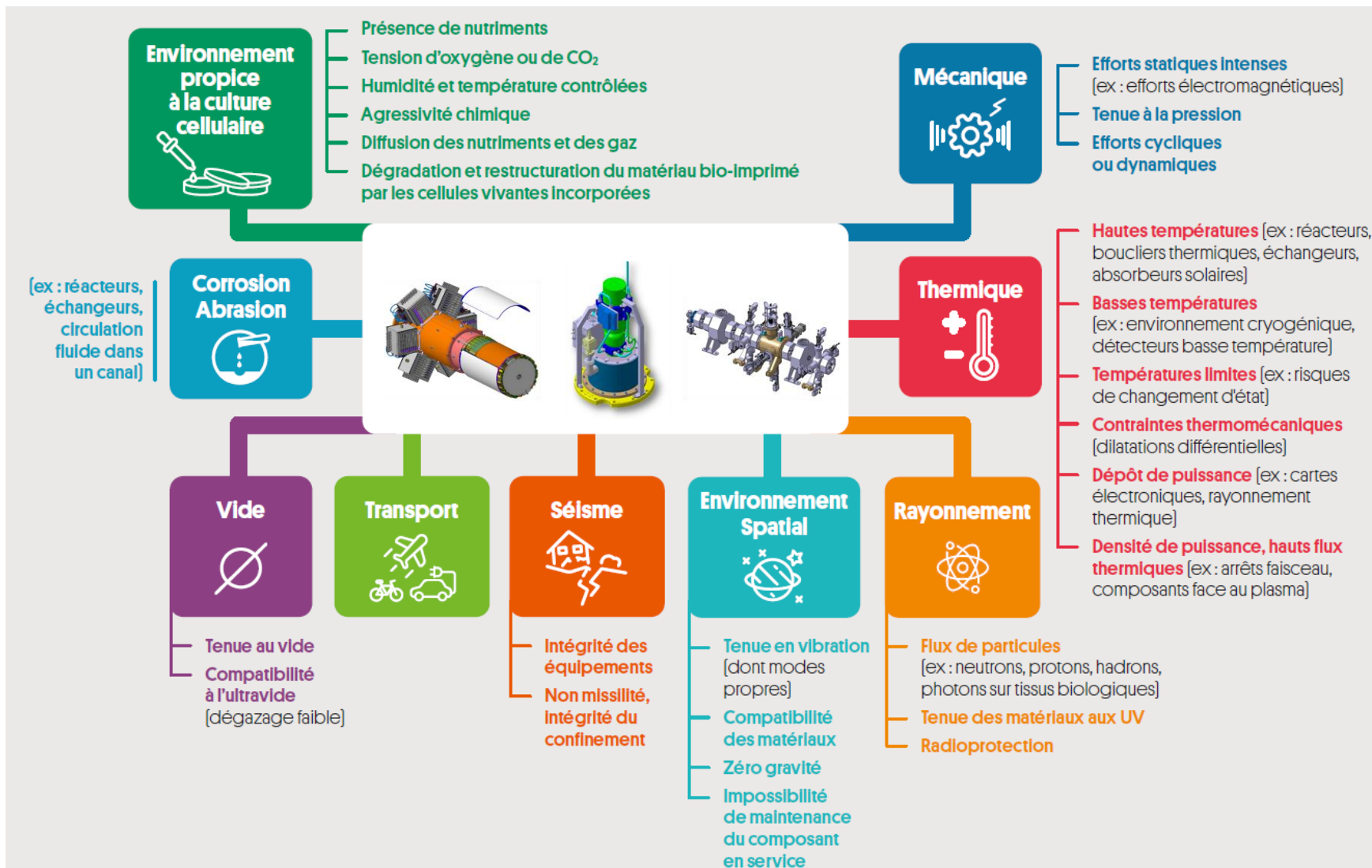
77K

20° (293 K)

1000°C

6000°C

DES CONTRAINTES D'ENVIRONNEMENT TRÈS SPÉCIFIQUES





DES LIGNÉES TECHNOLOGIQUES SUR LE LONG TERME

Quadripôles radiofréquence

IPHI



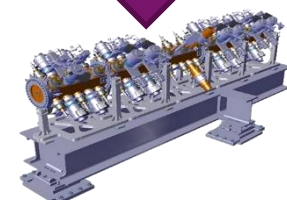
Spiral 2



ESS

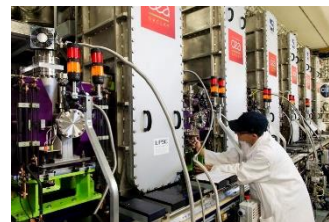


*Spiral 2
Injecteur
A/Q=7*



Cryomodules

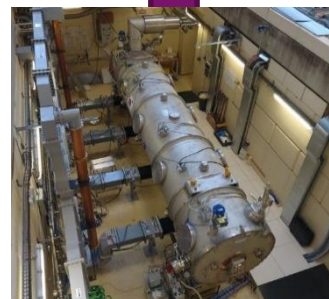
Spiral 2



IFMIF



ESS

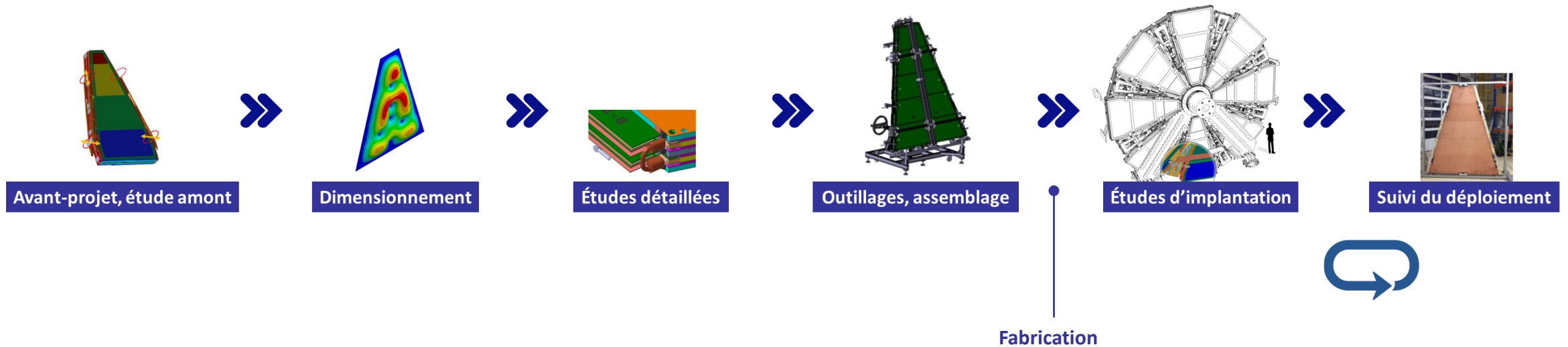


PIP II



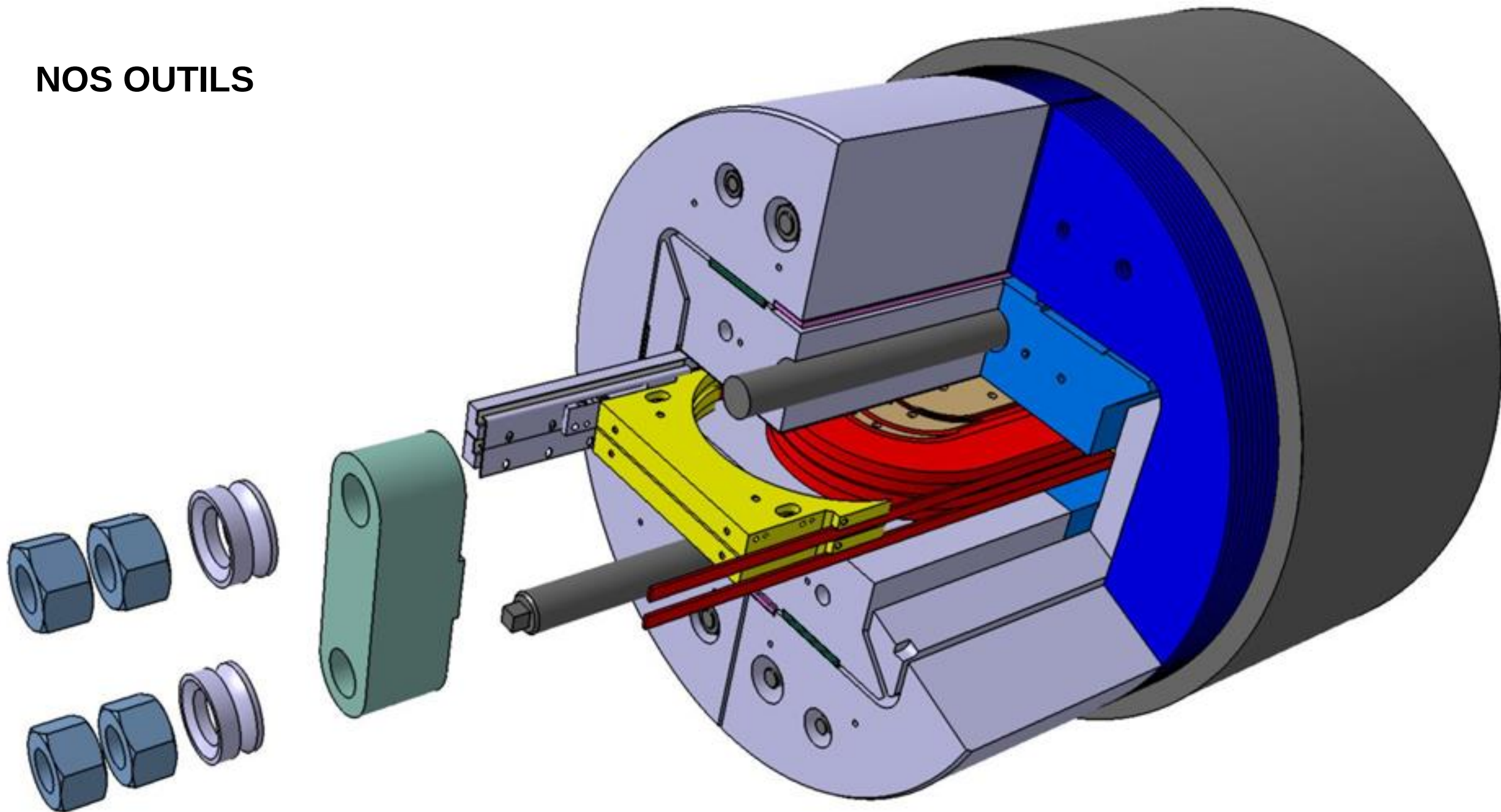
- Traçabilité
- Retour d'expérience
- Mémoire numérique

UNE IMPLICATION TOUT AU LONG DU CYCLE DE VIE DES PROJETS



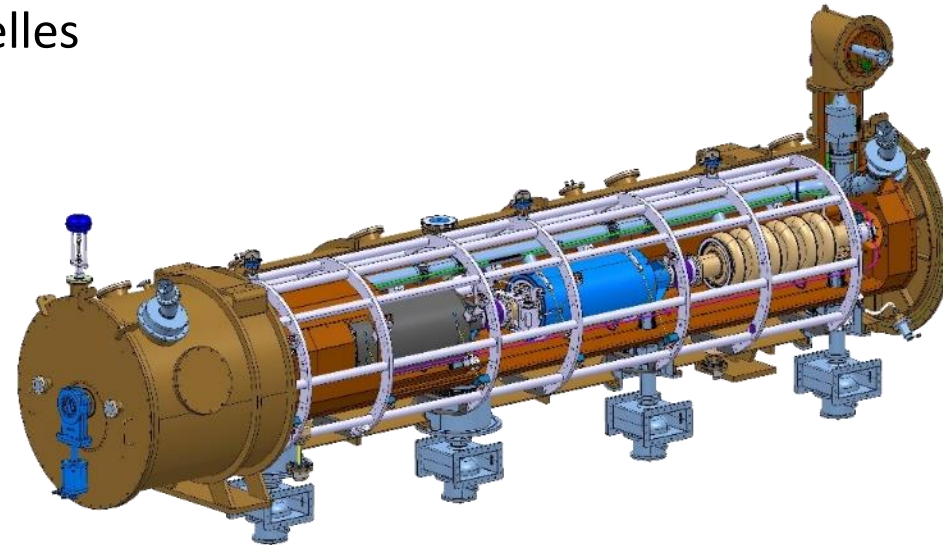
- Nos laboratoires de conception accompagnent le développement des instruments **du concept à l'exploitation**
 - Approche système, gestion des exigences
 - Lien avec les industriels, les utilisateurs, les équipes-projets
 - Positionnement comme **exploitants**

NOS OUTILS



LA BOÎTE À OUTILS DE LA CONCEPTION MÉCANIQUE

- La Conception assistée par ordinateur (CAO)
- La simulation numérique
- Les données matériaux / industrielles
- Le prototypage rapide
- La simulation avancée
- La base de données
- La réalité étendue



LA CONCEPTION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR



1985

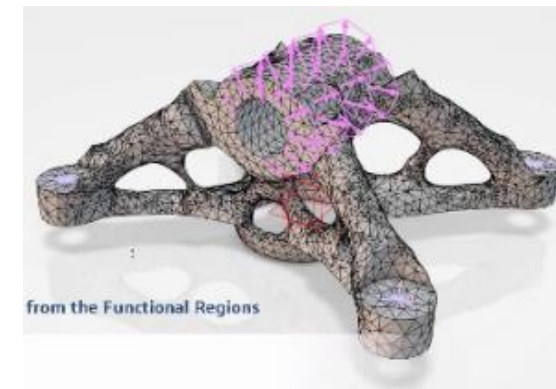
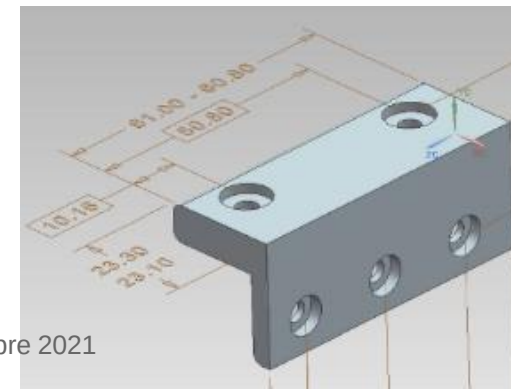


2021

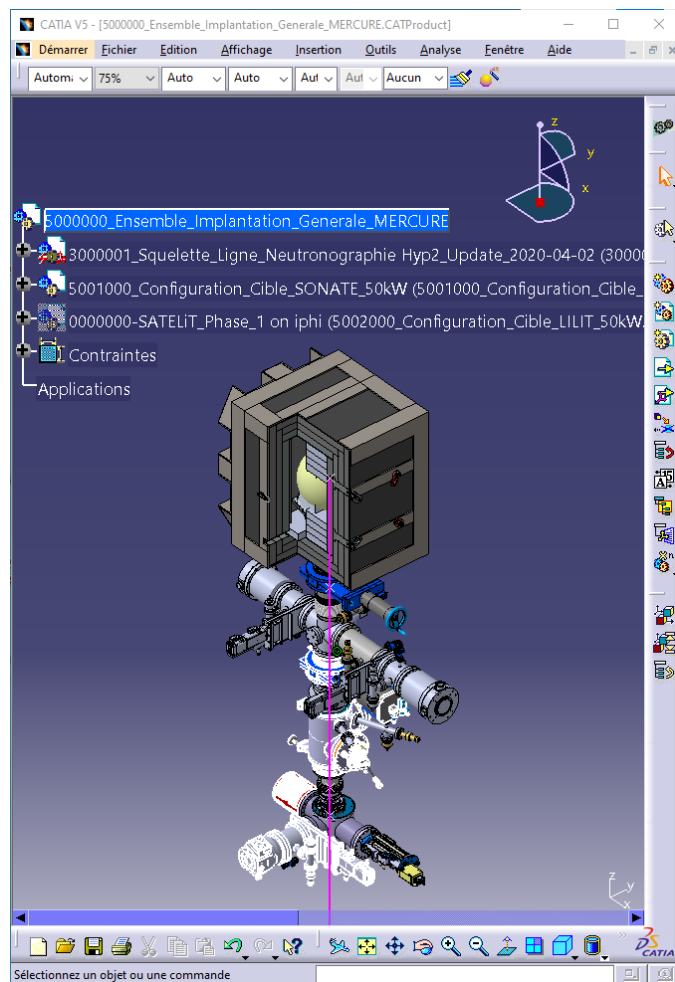


- Changement de paradigme **en cours**, équivalent au passage de la planche à dessin vers la CAO

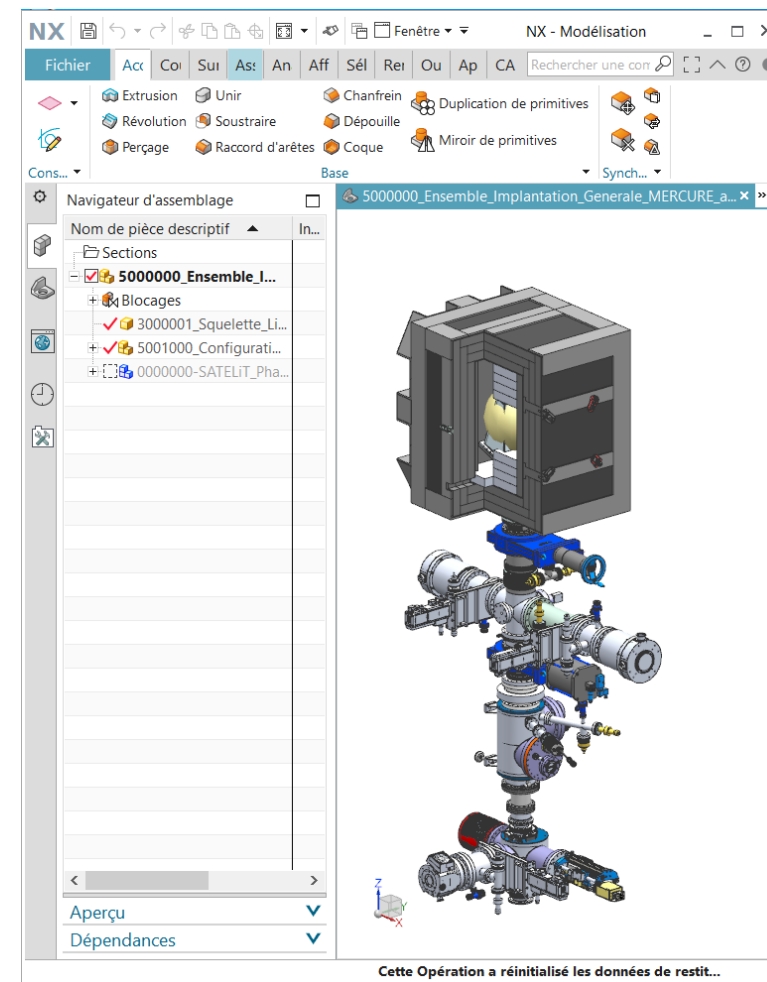
- Les nouveaux outils de CAO permettent de gagner en performance
- Géométries architecturées, organiques, treillis...
- Conception générative
- Cotation 3D
- Travail collaboratif (ne veut pas dire même outil !)



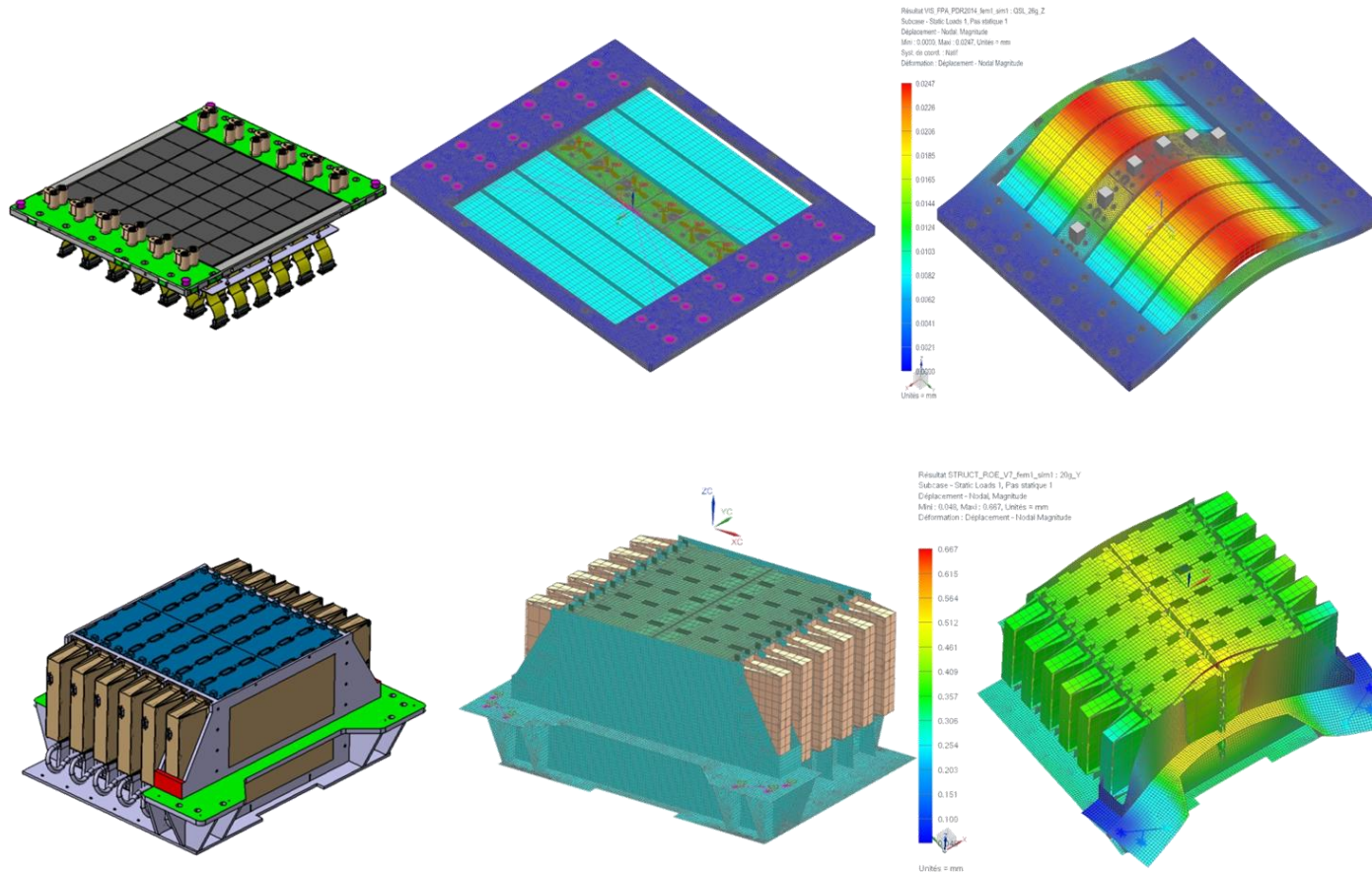
LA CONCEPTION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR À L'IRFU



SIEMENS



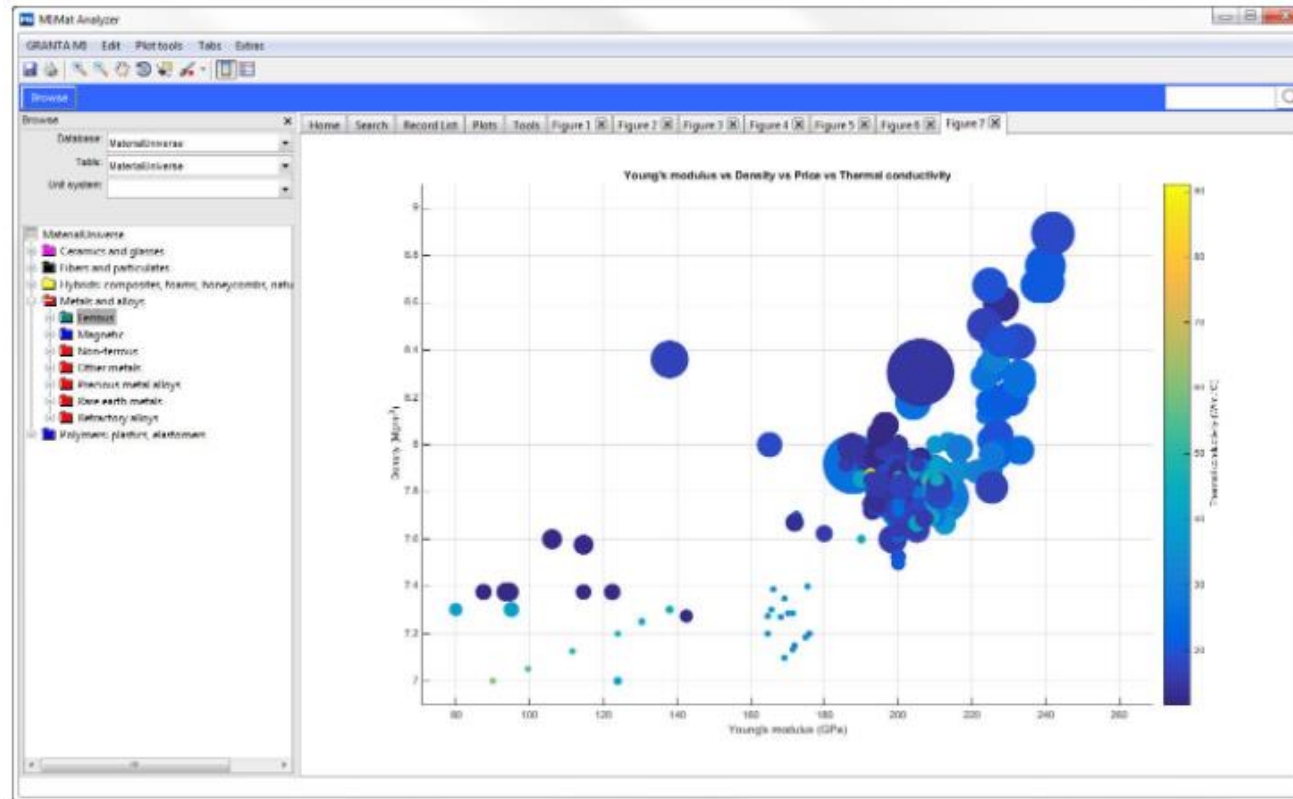
- Virtualiser les prototypes, prédire les performances



→ Nécessaire maîtrise d'outils variés

→ **Codes commerciaux** pour la productivité et **codes « maison »** pour les applications spécifiques

- La disponibilité et la qualité des **données matériaux** et une question cardinale des bureaux d'étude



- Mise en œuvre concrète des connaissances
- Lien entre les équipes de conception et celles de génie des matériaux

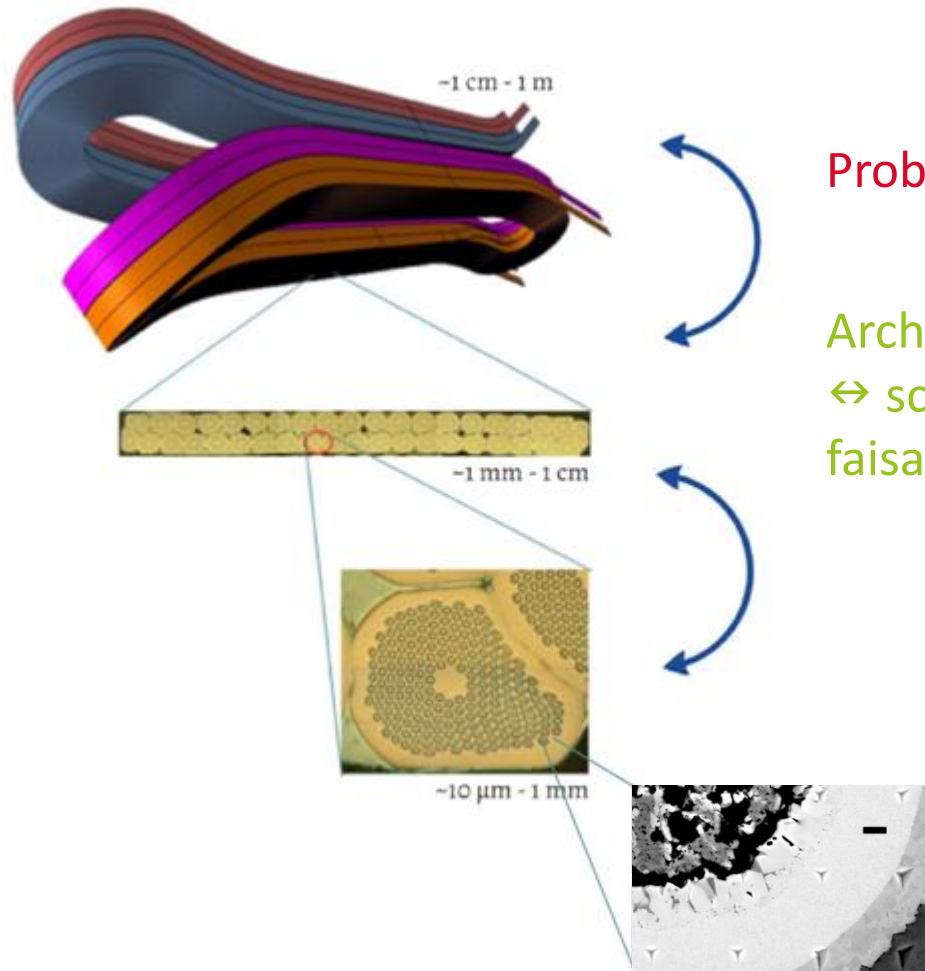
LE PROTOTYPAGE RAPIDE

- Le prototypage rapide permet de revenir à la maquette physique



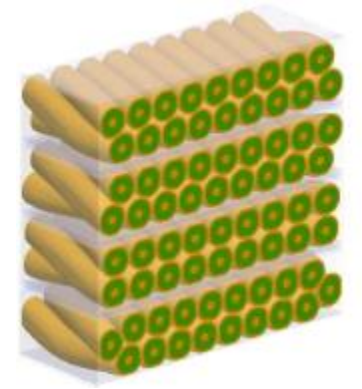
- Médiation technique
- Prototypes et démonstrateurs
- Pièces fonctionnelles à façon

- Notre R&D interne doit nous permettre de développer nos outils de demain



Problème **multi-échelles** et **multi-physiques**

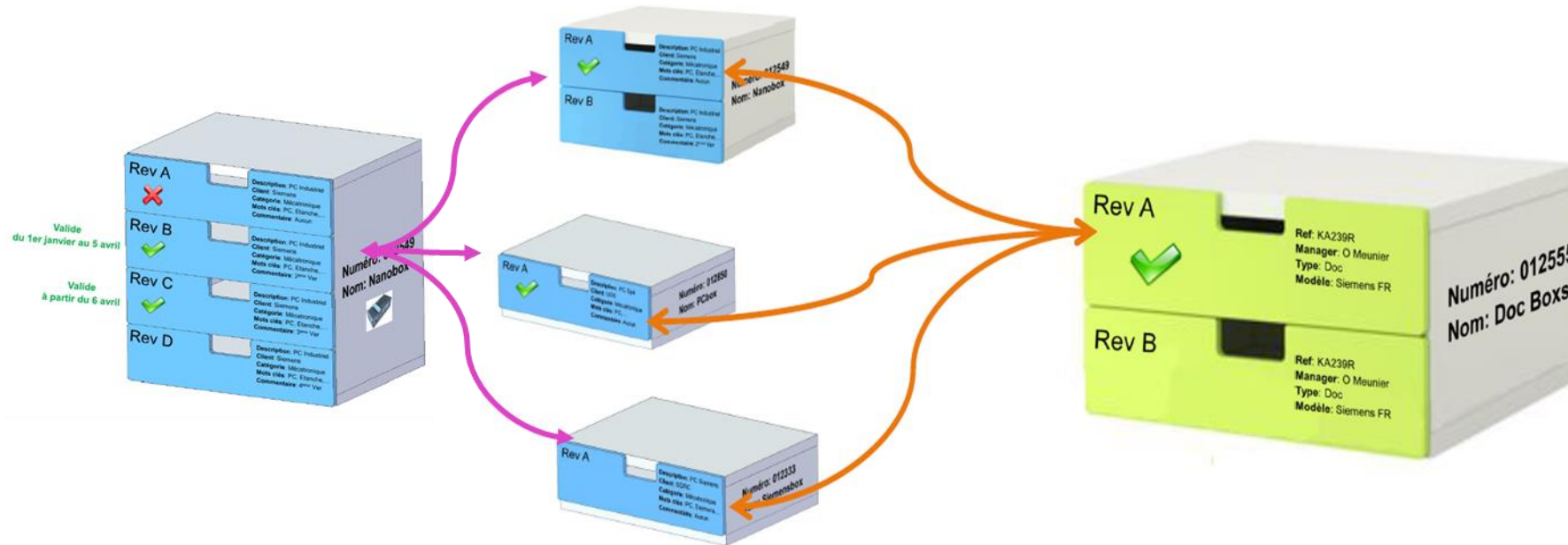
Architecture mécanique ↔ conception détaillée
↔ science des matériaux ↔ théorie physique ↔
faisabilité industrielle



- Ressources dédiés à la R&D interne
- Feuille de route de **long terme**

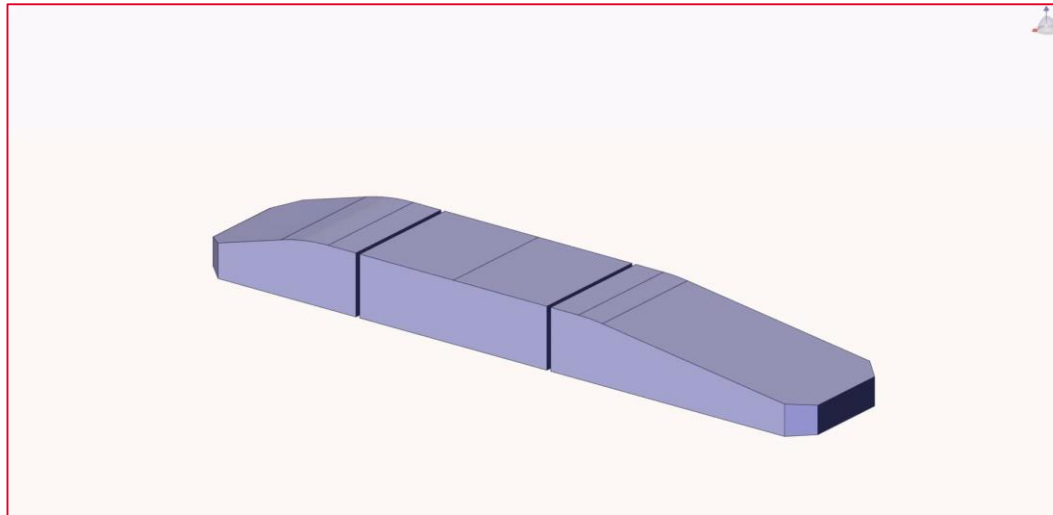
LA BASE DE DONNÉES (BD) TECHNIQUES

- La BD permet d'assurer la cohérence, la disponibilité, la pérennité des données de conception mécanique

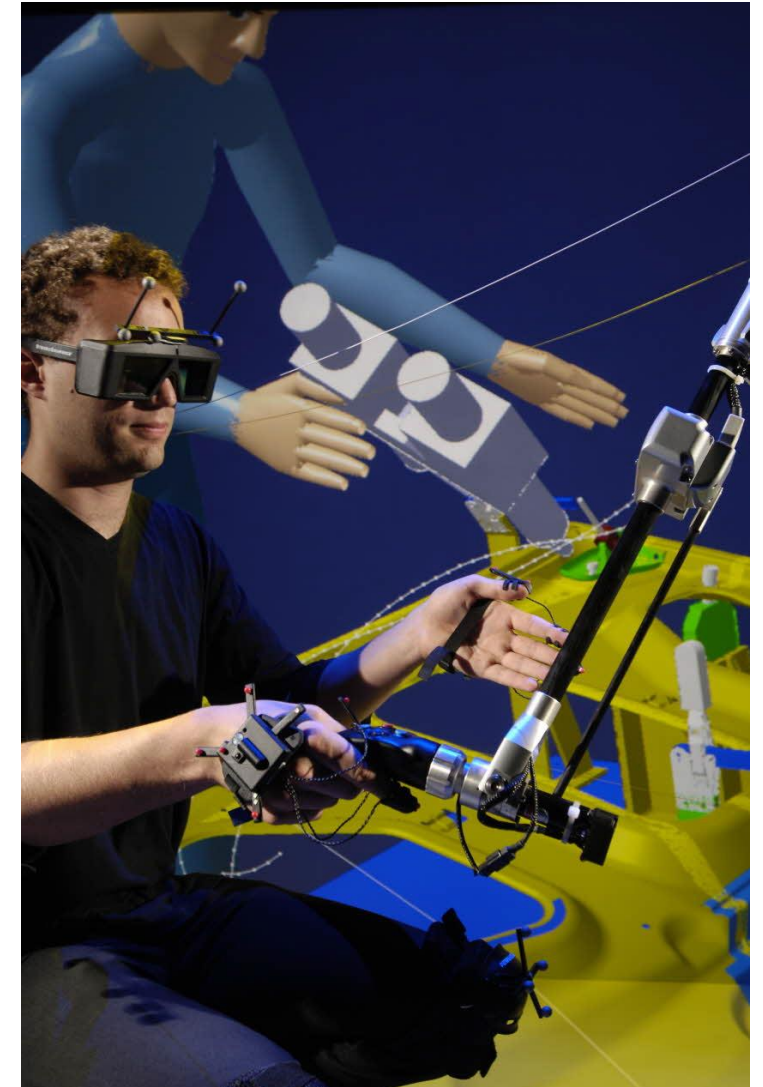


- Un stockage sécurisé et organisé
- Un accès aux données maîtrisé
- Une gestion des versions / configurations
- Un PLM* des plans et 3D (*gestion du cycle de vie)

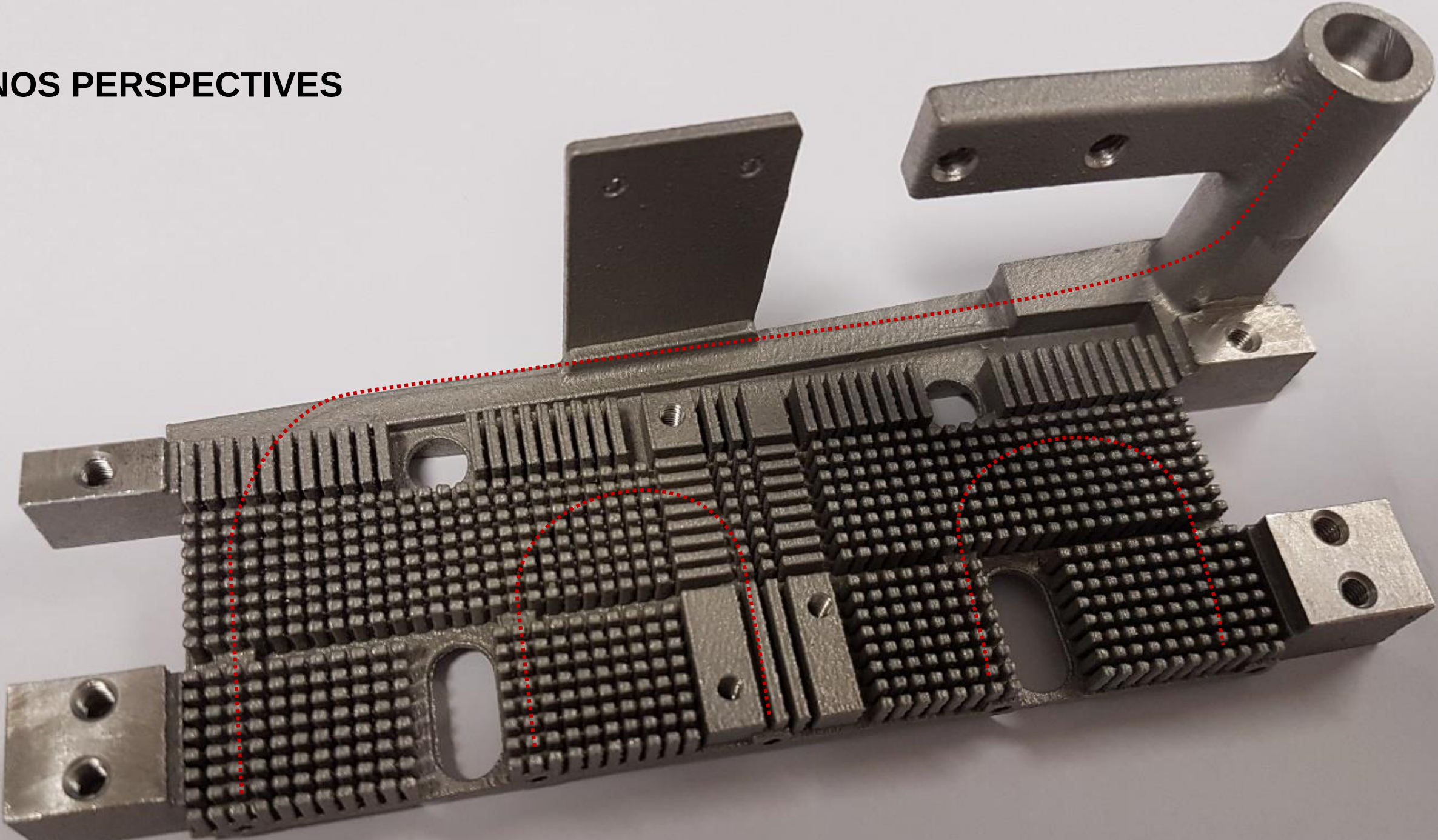
- Permet de réduire la distance entre équipes de conception, chefs de projets, physiciens



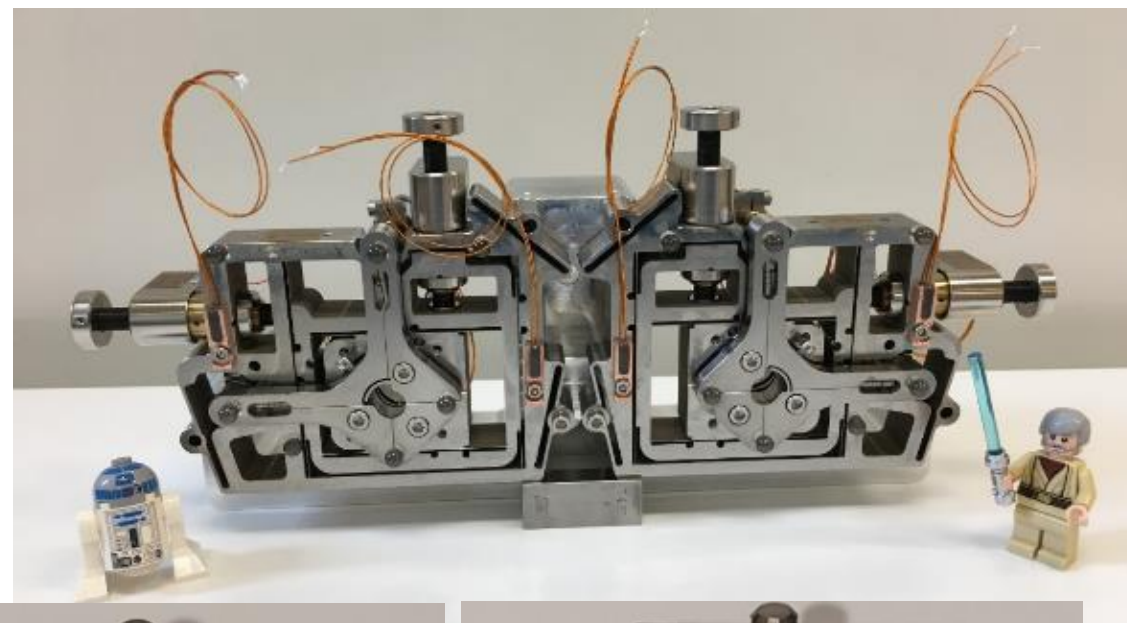
- Permettra de se préparer au rôle d'exploitant, au maintien en condition opérationnelle



NOS PERSPECTIVES



FABRICATION ADDITIVE : DES TECHNOLOGIES EN PLEINE EFFERVESCENCE



FABRICATION ADDITIVE : DE NOMBREUX MATÉRIAUX ENVISAGEABLES

- De nombreuses poudres spécifiques sont déjà disponibles



- ✓ Aciers maraging
- ✓ Aciers inoxydables : 316L, 15-5PH, 17-4PH
- ✓ Superalloys Nickel : Inconel 718, Hastelloy X
- ✓ Alliage de Titane Ti6Al4V
- ✓ Alliage en Cobalt-Chrome
- ✓ Aluminium AlSi10Mg
- ✓ Bronze, alliage de Cuivre : CuCrZr...
- ✓ Or
- ✓ Niobium

→ Performances prometteuses

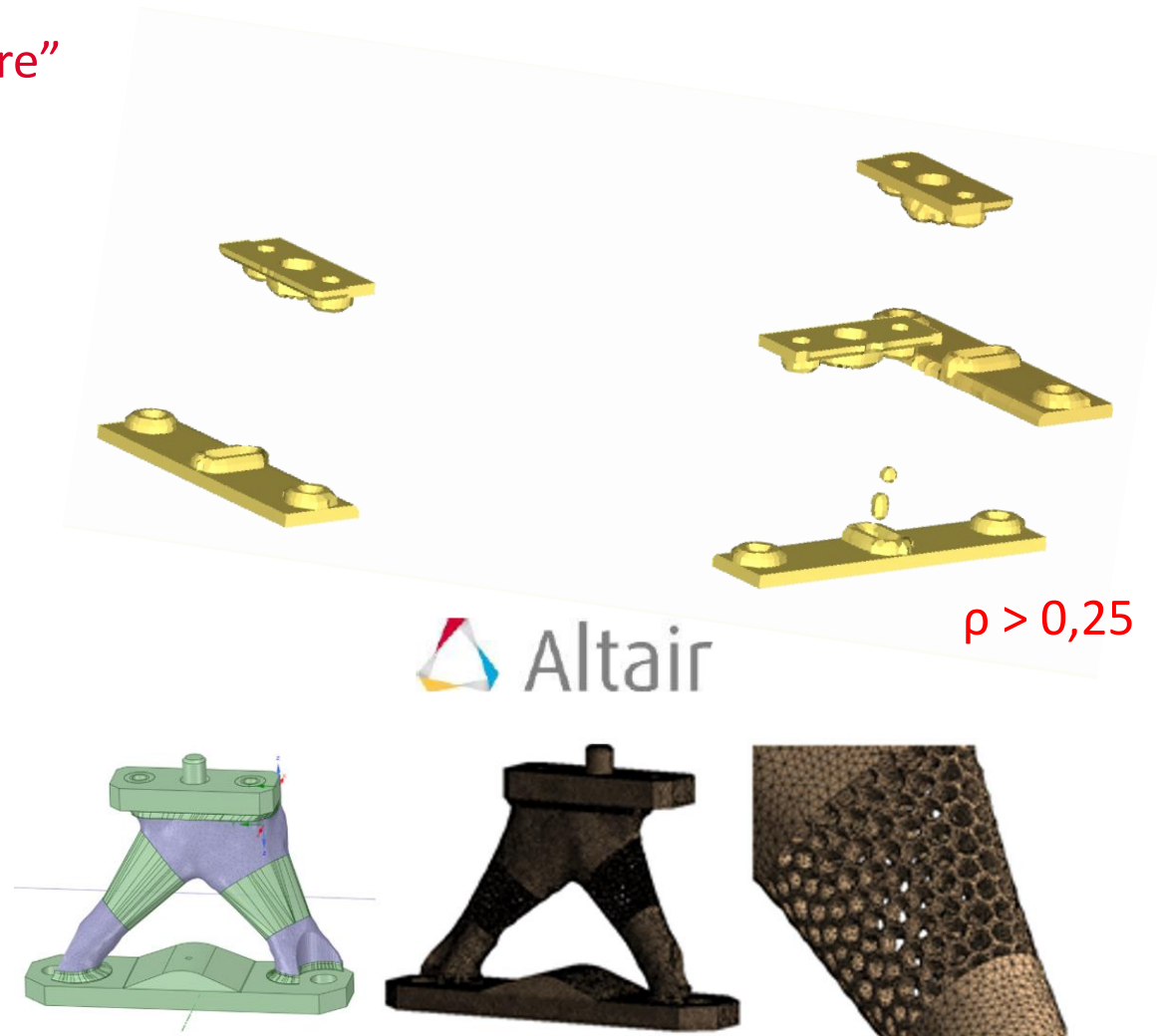
→ Qualifications spécifiques nécessaires

FABRICATION ADDITIVE OU CONVENTIONNELLE ?

Procédé	Dimension de fab	Taille de série	Etat de surface	Matériau	Géométrie complexe	Avantages	Inconvénients
Usinage	Très Petit --> Très grand	Unitaire --> Très grande	+++	+++	+	Précision, répétabilité, état de surface, délais courts	Difficile de fabriquer des pièces complexes Coût des équipements élevé Perte matière importante
Forge	Petit --> Grand	Moyenne --> Très grande	++	+++	-	Très bonne caractéristiques mécaniques	Géométries limitées, outillage spécifique et très onéreux
Fonderie	Petit --> Très grand	Unitaire --> Très grande	+	+	++	Grande quantité Forme extérieure complexe	outillage spécifique et onéreux
FA	Très petit --> Moyenne	Unitaire --> Petite	-	-	+++	Forme très complexe Personnalisation Délai de prototypage	Coût élevé Productivité faible

→ Technologies complémentaires et non concurrentes

- Viser la “juste matière”

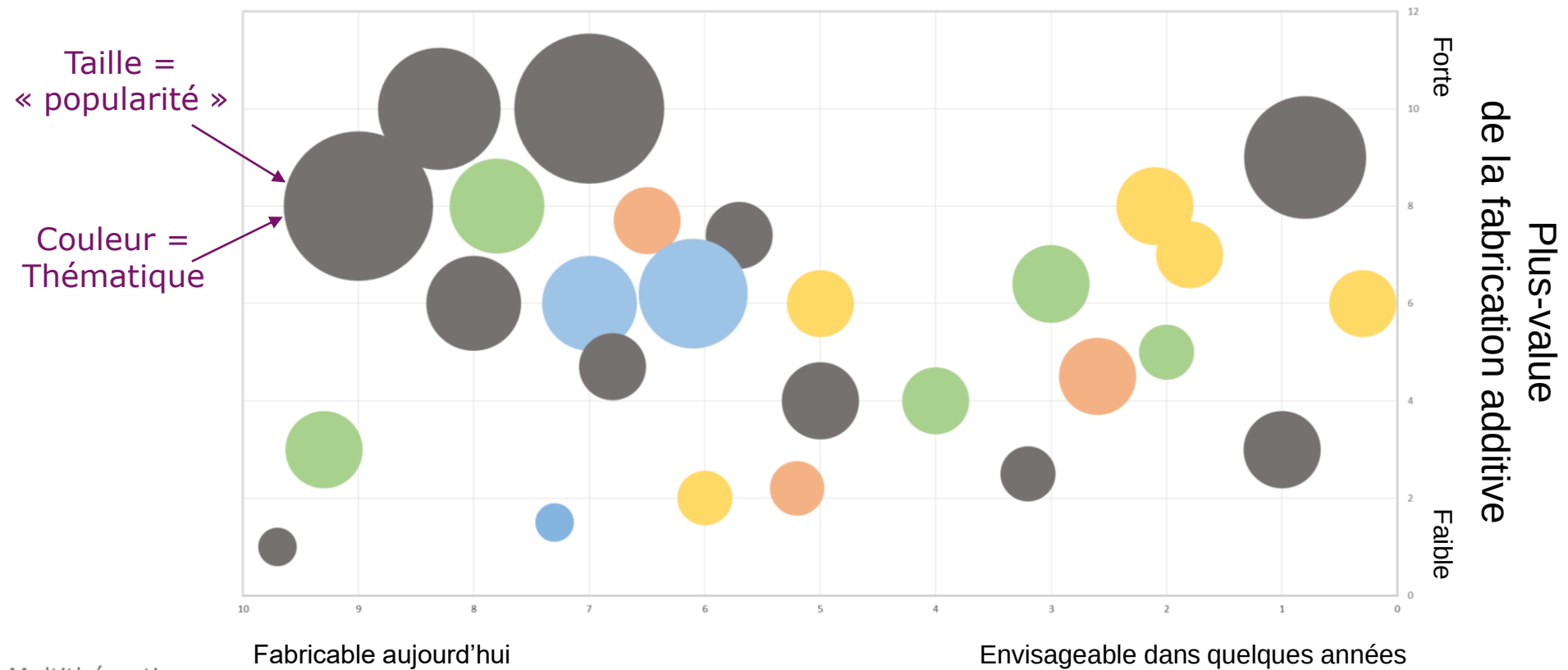


→ Symbiose naturelle avec la fabrication additive



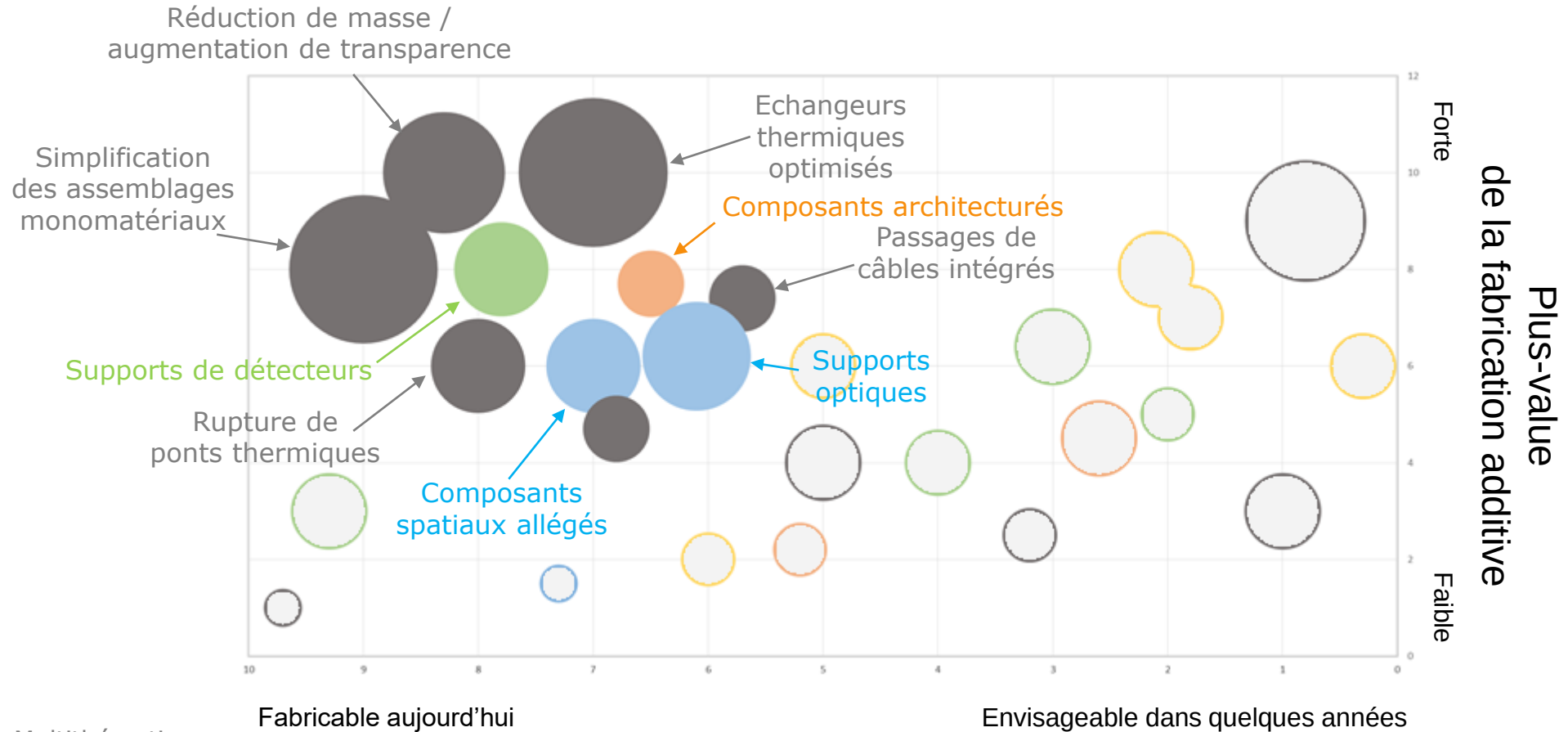
FABRICATION ADDITIVE : CARTOGRAPHIE DES BESOINS POUR LA PHYSIQUE

1 bulle = 1 groupe d'idées similaires



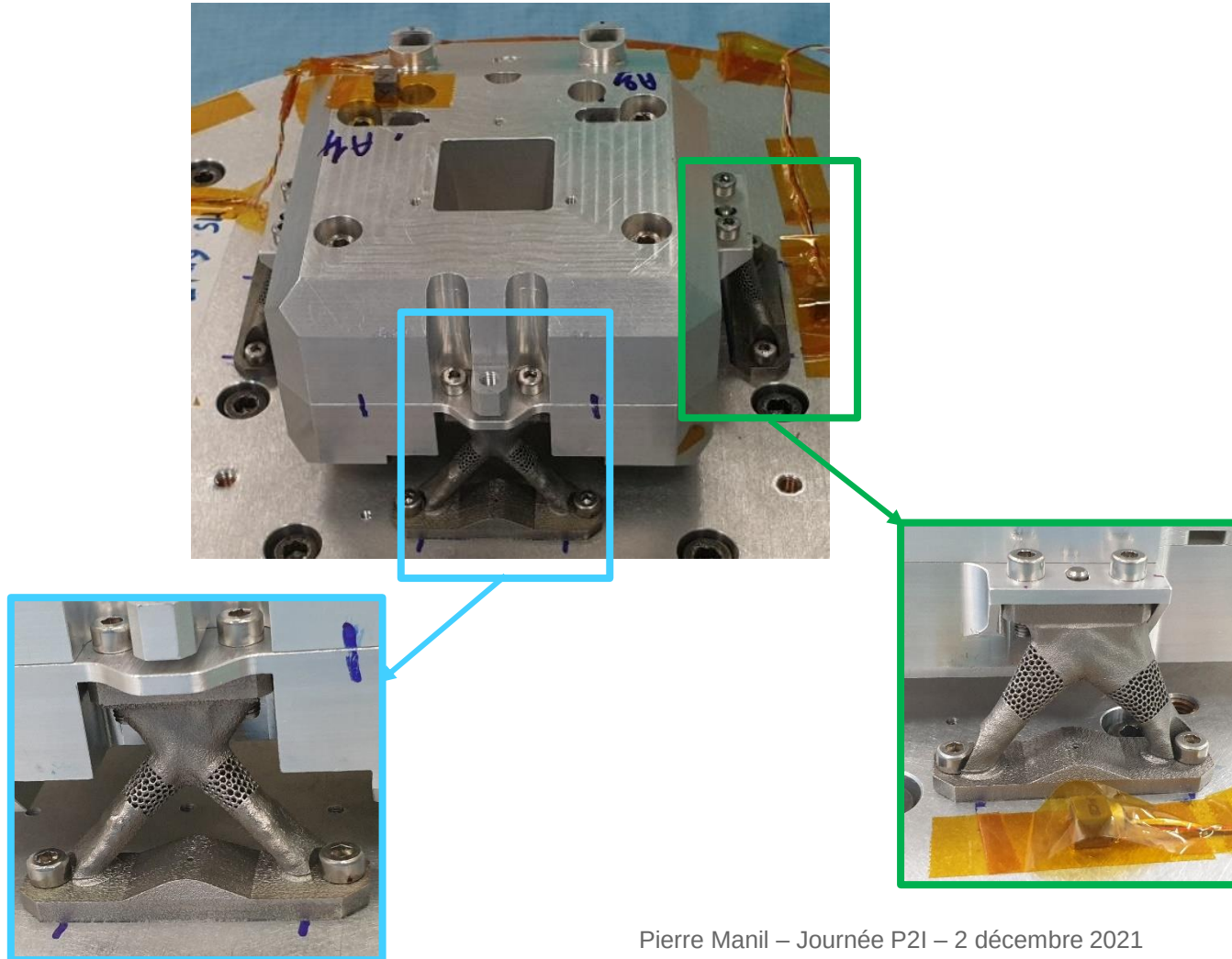
Multithématique
Astrophysique
Cryomagnétisme
Physique subatomique
Accélérateurs

Idées fabricables à court terme



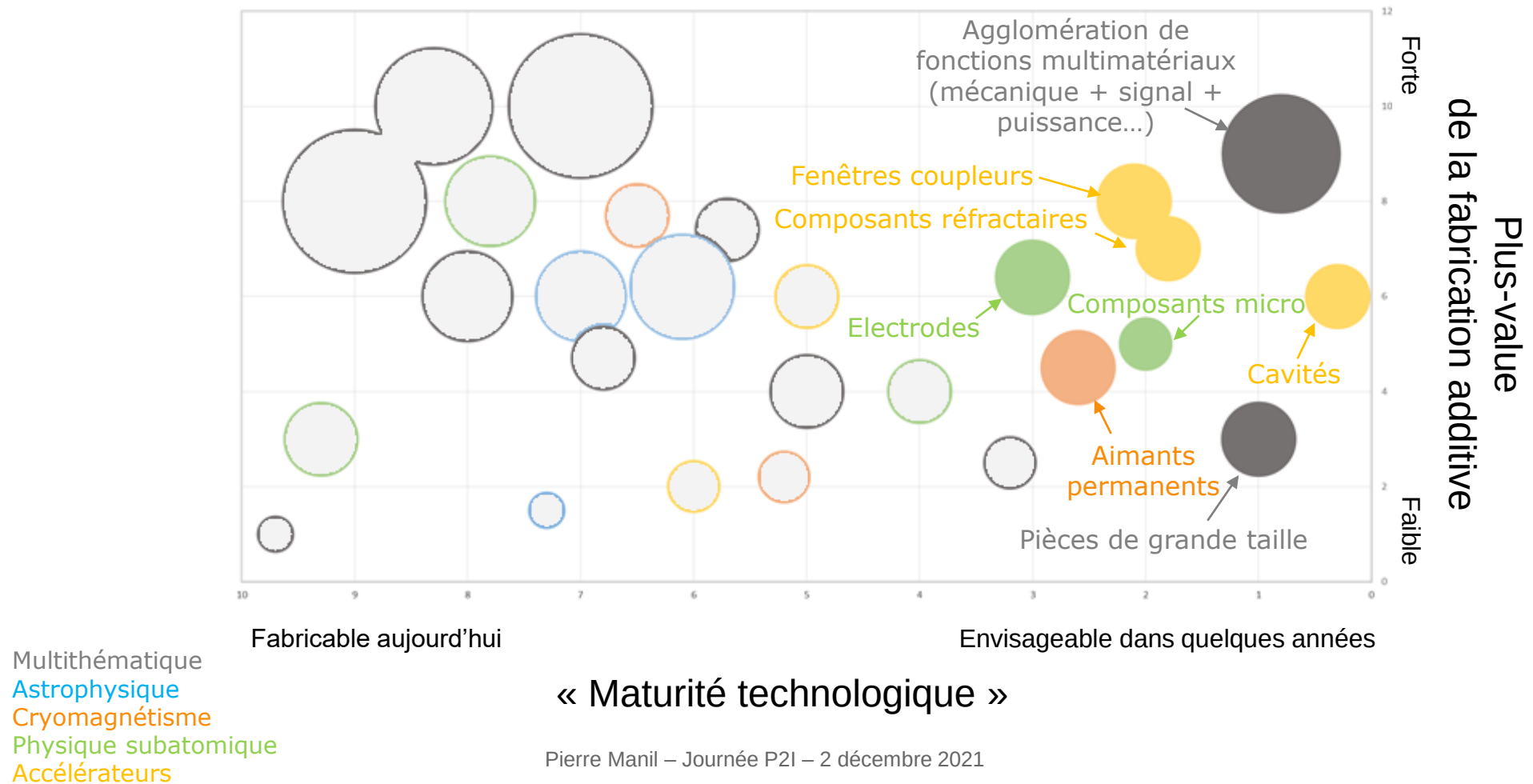
FABRICATION ADDITIVE : UN EXEMPLE DE RUPTURE DE PONT THERMIQUE

- Démonstrateur de support de détecteur spatial optimisé imprimé au CEA, qualifié à l'IAS



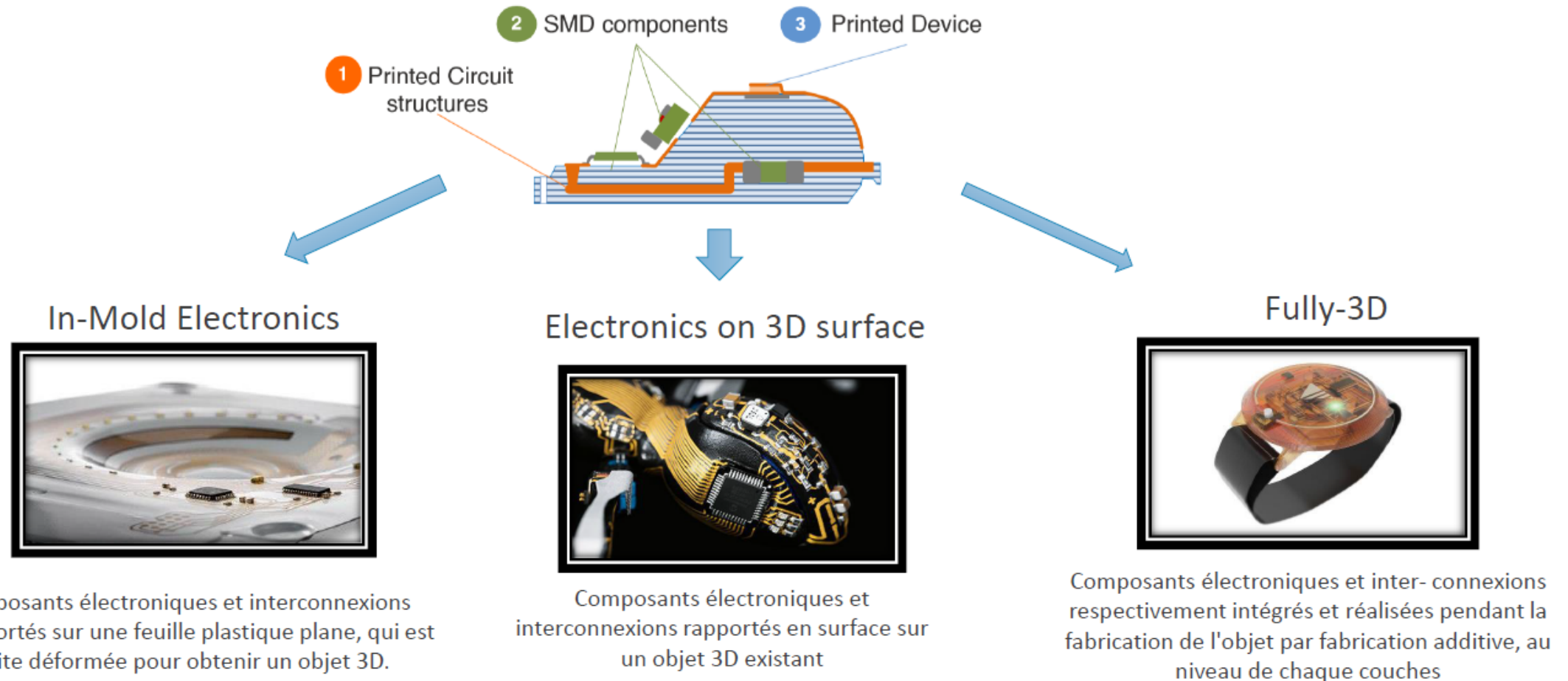
- La FA ouvre de très nombreuses perspectives pour nos instruments, au-delà de la réduction de masse
- L'optimisation topologique est un outil très utile quand l'intuition ne suffit pas
- **Les concepteurs doivent acquérir une "culture FA"**

Idées envisageables sur le long terme



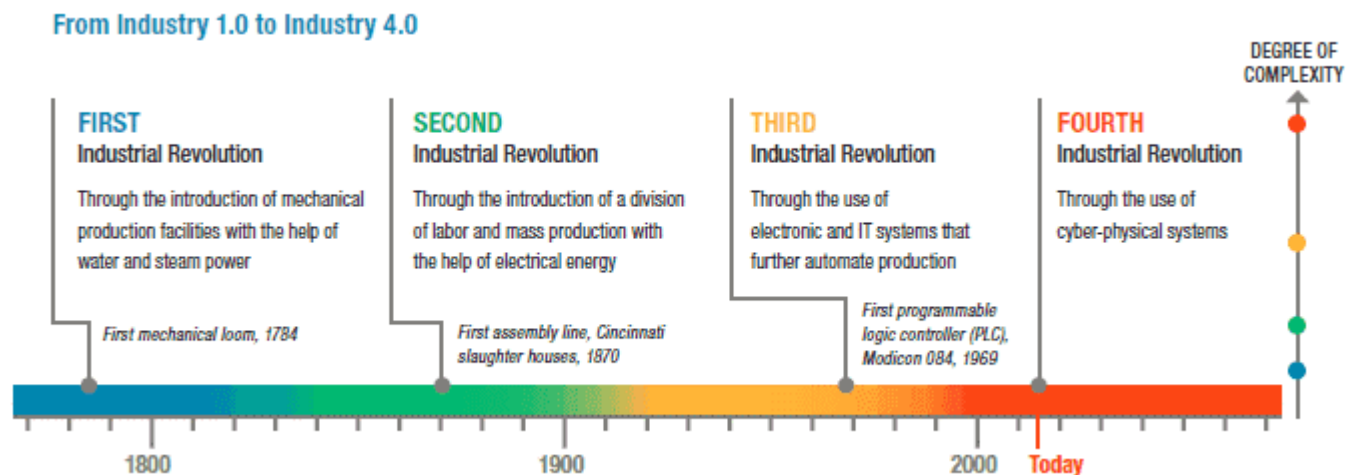
VERS LA MÉCATRONIQUE INTÉGRÉE EN 3D

- Intégrer structure, transport de signal, transport de puissance, capteurs et actuateurs





- L'« industrie 4.0 » consiste à organiser les processus de conception (mécanique) autour des nouvelles technologies du numérique telles que la **simulation avancée**, la **réalité augmentée**, la **fabrication additive**, l'**intelligence artificielle**, afin d'exploiter la maquette numérique et les données acquises au long du cycle de vie de l'équipement, en s'appuyant sur une « **chaîne numérique** » cohérente

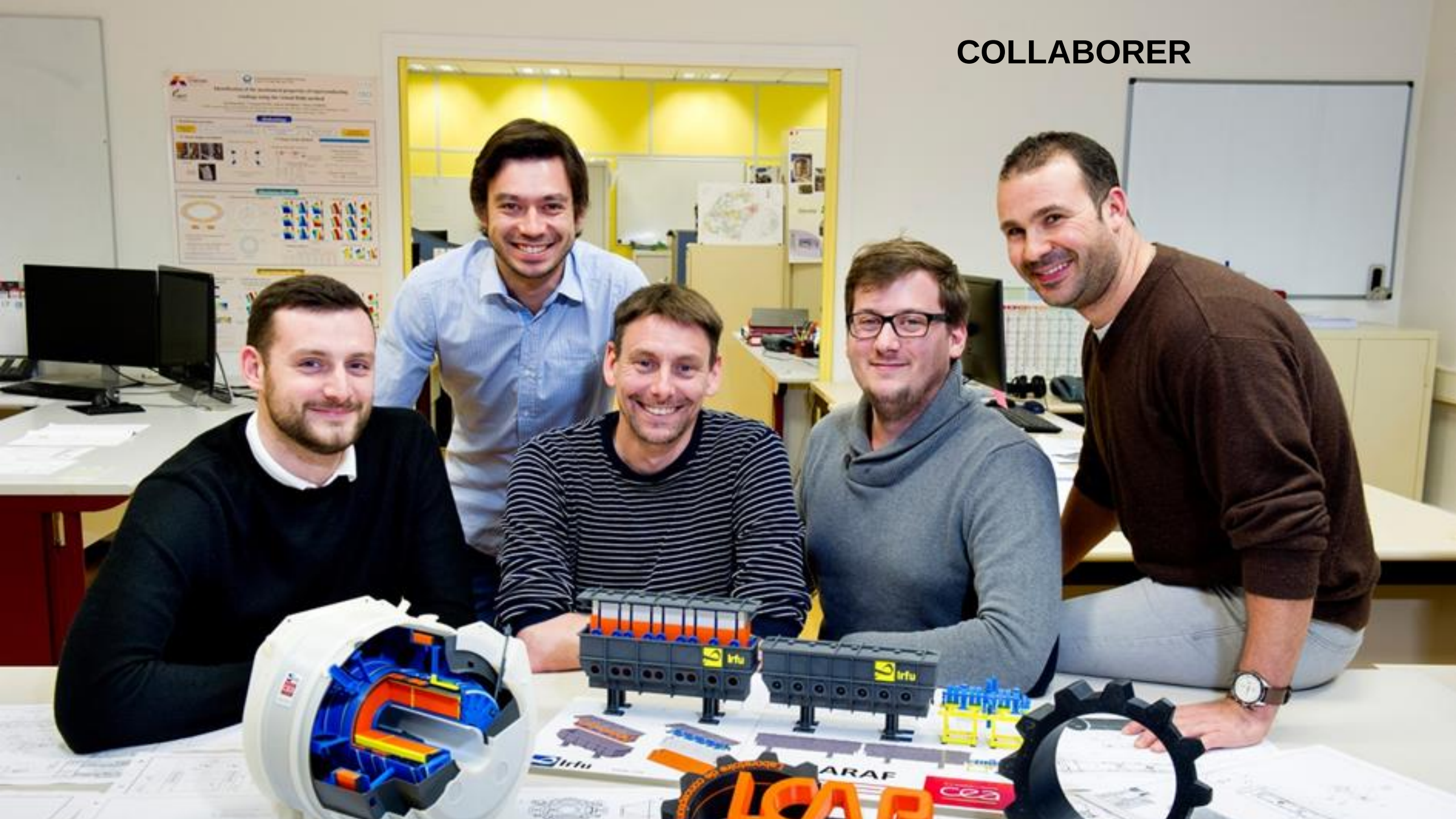


CONCLUSIONS : NOTRE RAISON D'ÊTRE, NOS SPÉCIFICITÉS



- Un spectre thématique large mais cohérent
- Des contraintes d'environnement très spécifiques
- Des « moutons à cinq pattes » dont les spécifications évoluent
- La nécessité d'accompagner la totalité du cycle des projets de physique

COLLABORER



- Notre communauté repose sur des **collaborations multi-acteurs** (y compris pour les équipes de conception mécanique)
- Cette culture de collaboration est bien ancrée à Saclay et dans P2I mais peu structurée
- Nous avons un **déficit de visibilité/attractivité** auprès des étudiants (ingénieurs et techniciens supérieurs) et un manque de liens avec les écoles et centres de formation associés

CONCLUSIONS : ENJEUX POUR LA CONCEPTION MÉCANIQUE À P2I

- Mettre les outils de la chaîne numérique au service de la communauté de physique, du concept à l'objet intégré
- Capitaliser nos compétences métier (base de données intégrée)
- Rendre agiles nos processus de conception et d'exploitation
- Favoriser les transversalités, les échanges techniques et le travail collaboratif
- Exploiter le potentiel de la fabrication additive pour gagner en performance
- Attirer et accueillir des étudiants et des collaborateurs qui constitueront notre vivier pour demain

CONCLUSIONS : LA PLATEFORME 4.Φ



À l'Irfu

- Un **système de CAO mécanique** possédant les outils intégrés pour la conception générative, l'optimisation topologique, la cotation 3D, le rendu réaliste
- Une **base de données intégrée** unique pour les équipes-projets, les concepteurs, les équipes de suivi industriel

Ouvert aux partenaires

- Une **plateforme digitale** : des accès ouverts aux collaborateurs, aux industriels impliqués dans la réalisation...
- Une **plateforme physique** : un espace d'accueil intégré au bureau d'études de l'Irfu associé à des **contrats de partenariat**

Soumis à l'AO P2IO

- Une **salle de réalité virtuelle** permettant un partage collaboratif multi-acteurs
- Un accès privilégié au **fablab Paris-Saclay**

MERCI !

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Centre de Saclay | 91191 Gif-sur-Yvette Cedex

Etablissement public à caractère industriel et commercial | R.C.S Paris B 775 685 019



Direction de la Recherche Fondamentale
Institut de recherche
sur les lois fondamentales de l'Univers
Département d'ingénierie des systèmes