

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



Le programme CoSTARD au CEA/Irfu



Optimisation structurelle
et fabrication additive
pour la physique des deux infinis



Yannick Jan, François Nunio, Pierre Manil | CEA/DRF/Irfu
Fernando LOMELLO | CEA/DEN/DPC

13 décembre 2018

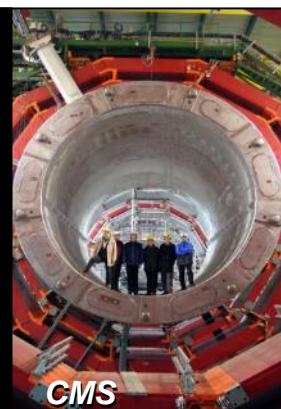
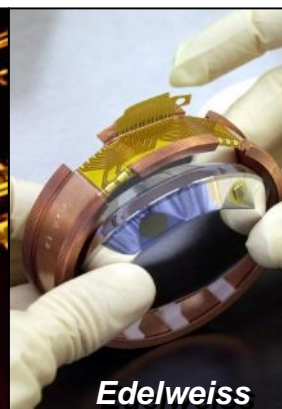
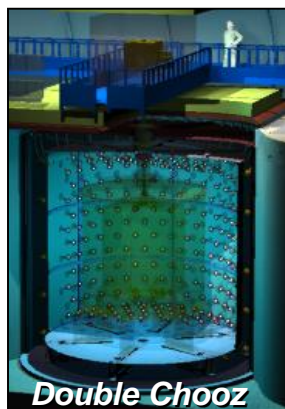
CoSTARD =

- Fabrication additive métallique
- + optimisation topologique
- pour la physique des deux infinis

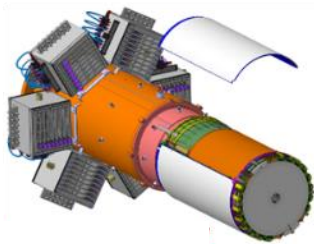
→ **Méthodologie** de conception

- Qui sont les **acteurs** du projet CoSTARD ?
- Comment intégrer la **fabrication additive** dans le cycle de conception ?
- Comment intégrer l'**optimisation topologique** dans le cycle de conception ?
- Comment exploiter ces outils pour la **physique des deux infinis** ?
- Comment faire évoluer nos méthodes de **bureau d'étude** ?

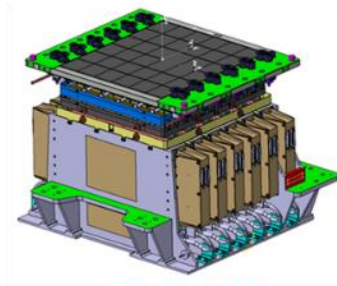
- Qui sont les **acteurs** du projet CoSTARD ?
- Comment intégrer la **fabrication additive** dans le cycle de conception ?
- Comment intégrer l'**optimisation topologique** dans le cycle de conception ?
- Comment exploiter ces outils pour la **physique des deux infinis** ?
- Comment faire évoluer nos méthodes de **bureau d'étude** ?



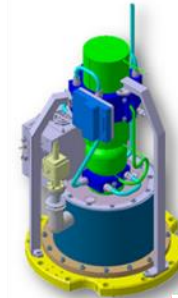
Systèmes de détection



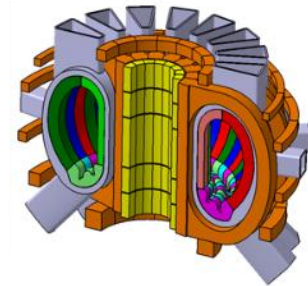
Instruments spatiaux



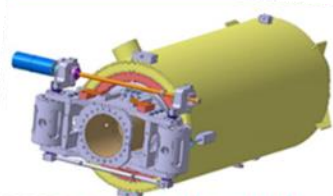
Télescopes



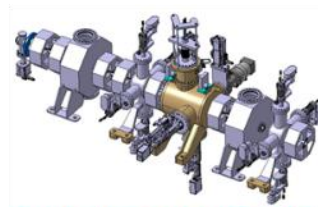
Sujets transverses



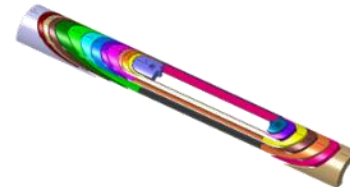
Systèmes Accélérateurs



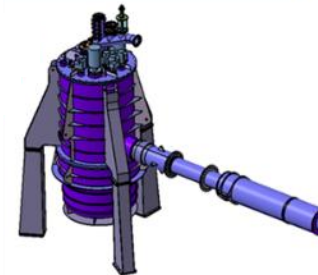
Lignes Faisceau



Aimants supraconducteurs



Stations d'essais Cryogénie



- La mission du bureau d'études mécaniques de l'Irfu (LCAP) est d'assurer la conception mécanique et thermique de ces équipements...
- ... dont les **contraintes** sont souvent **antagonistes**

Dès les années 2000, l'Irfu s'intéresse à la fabrication additive :

L'anneau-support de GOLF-NG

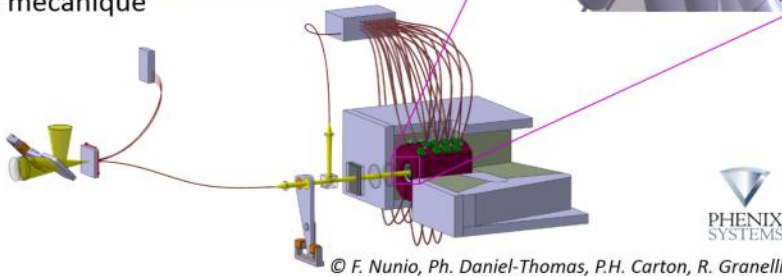
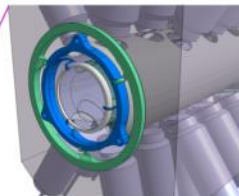
a été fabriqué chez un industriel par frittage de poudre métallique (superalliage médical à base de cobalt).

Objectif :

Limiter les échanges thermiques en garantissant la tenue mécanique



2004

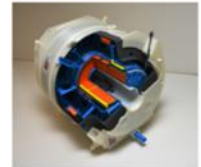


PHENIX
SYSTEMS

© F. Nunio, Ph. Daniel-Thomas, P.H. Carton, R. Granelli

L'imprimante 3D de l'Irfu

2014



© J.-M. Le Ster



8 000 h depuis 2014 !

Objectifs :

- 1) production de pièces fonctionnelles à haute performance
- 2) communication technique, prototypage
- 3) outillages à façon
- 4) acquisition de la culture « FabAdd »

Fin 2014, le potentiel de la fabrication additive s'éclaircit.
L'idée de l'exploiter dès la phase de conception fait son chemin...



Association Française de Prototypage Rapide
& Fabrication Additive



ETAT ET ENJEUX DE LA FABRICATION ADDITIVE

Alain BERNARD
Professeur des Universités à l'Ecole Centrale de Nantes
Chercheur à l'IRCCyN UMR CNRS 6597
Vice-Président, Association Française de Prototypage Rapide



Pierre MANIL
Chef du bureau d'études mécaniques de l'Irfu (SIS/LCAP)



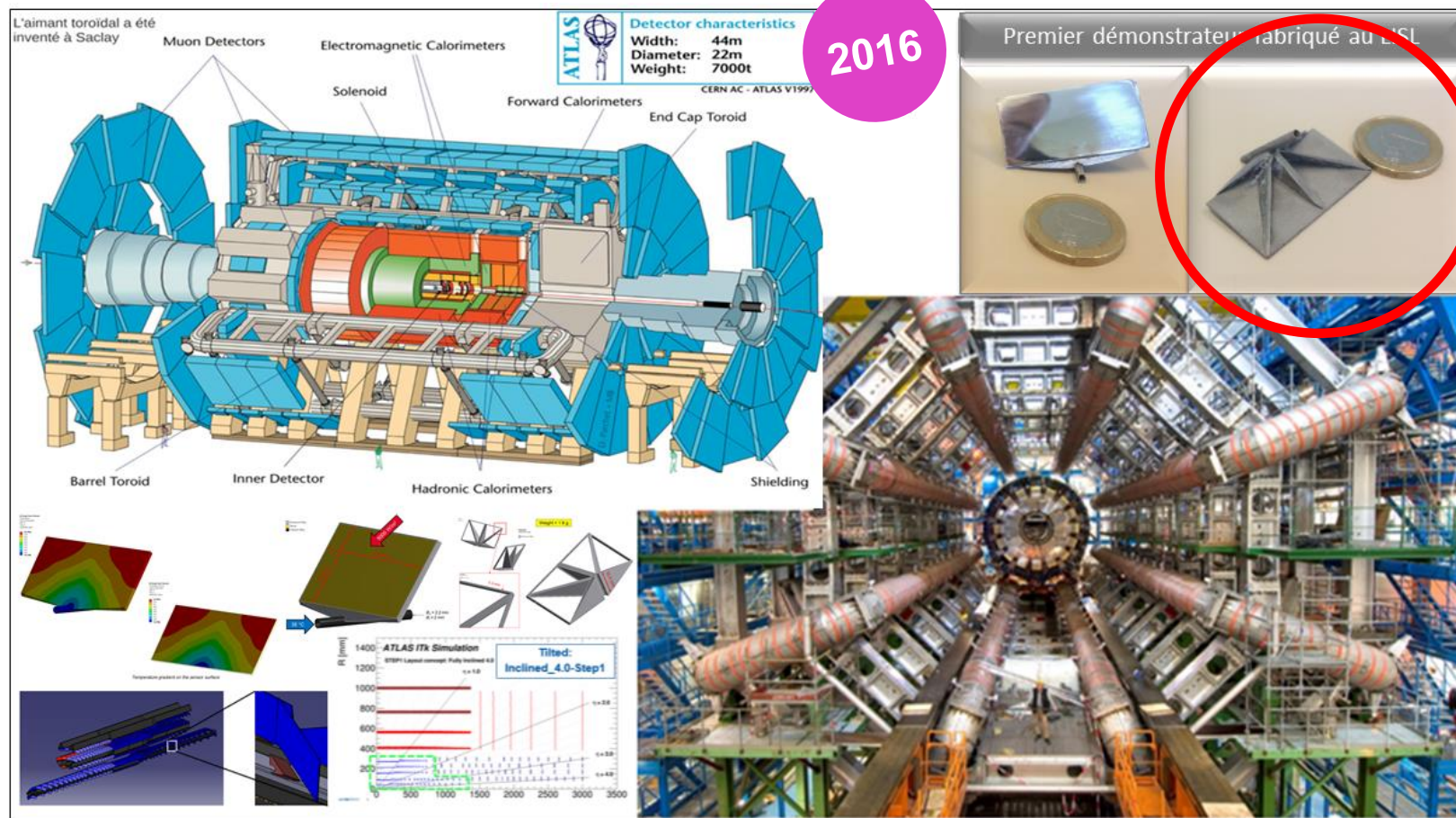
01/12/2014 Prof. Alain BERNARD – Journée IRFU-CEA – Fabrication additive 1

Adapter nos méthodes de conception

2014

- De nouveaux horizons pour la conception...
 - ▶ Nouveaux modes d'assemblage
 - ▶ La notion de « pièce » revisitée...
 - ▶ Nouveaux matériaux (ou mélanges de matériaux)
- ...et la simulation !
 - ▶ Juste matière (optimisation topologique)
 - ▶ *Material-on-demand*
- Le retour du prototype ?

2016 : Un premier démonstrateur de support de détecteur



© F. Rossi, Z. Sun, F. Lomello

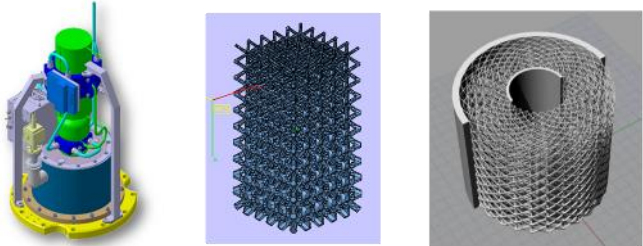
- Programme transversal « matériaux et procédés » du CEA
 - **CoSTARD** = Conception structurelle pour technologie de fabrication additive appliquée à la recherche et au développement
- **optimisation structurelle** pour la **fabrication additive métal** appliquée à la physique des **deux infinis**

Frédéric Schuster,
jeudi 10h



DRF/IRFU/DIS
LCAP

Conception sous contraintes spécifiques des programmes de physique



Le bureau d'études
mécanique et thermique de l'Irfu

DEN/DANS/DPC/SEARS
LISL

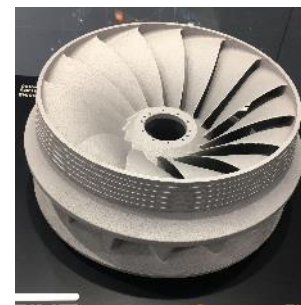
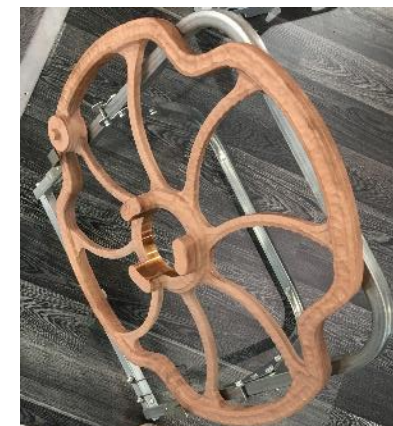
Fabrication avec expertise dans les procédés de fabrication additive



Plateforme SAMANTA

- Développer (réfléchir à...) une méthodologie d'optimisation structurelle de pièces métalliques pour les instruments de l'Irfu, **sous l'angle bureau d'études**
 - Etablir une **cartographie** des besoins de l'Irfu
 - Revoir les méthodes de conception et formaliser les contraintes liées au procédé
 - Identifier des **cas d'étude** représentatifs
 - Fabriquer ces pièces et les tester en situation réaliste
 - Diffuser la **culture fabrication additive**

- Qui sont les **acteurs** du projet CoSTARD ?
- Comment intégrer la **fabrication additive** dans le cycle de conception ?
- Comment intégrer l'**optimisation topologique** dans le cycle de conception ?
- Comment exploiter ces outils pour la **physique des deux infinis** ?
- Comment faire évoluer nos méthodes de **bureau d'étude** ?



© Romain Gérard @ CERN

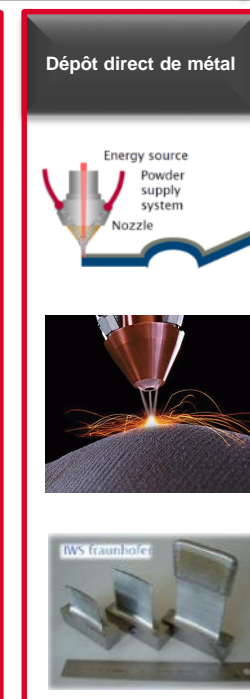
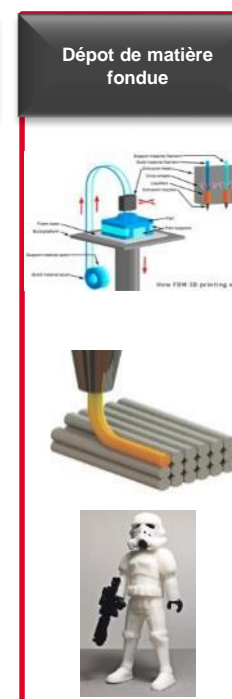
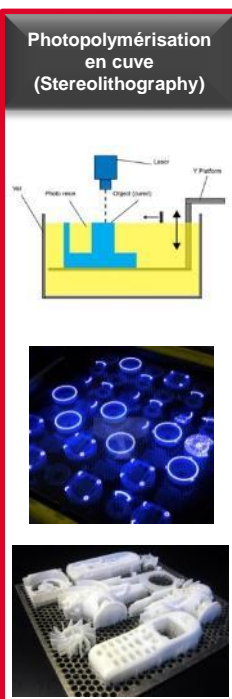


Romain Gérard,
vendredi 14h30



Basse énergie

Haute énergie



- 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

Thierry Baffie,
vendredi 11h



Romain Gérard,
vendredi 14h30



- Les performances sont très prometteuses

- Des qualifications spécifiques sont nécessaires

(environnement spatial, environnement cryogénique, susceptibilité magnétique, vide poussé, tenue au rayonnement, orthotropie, ...)

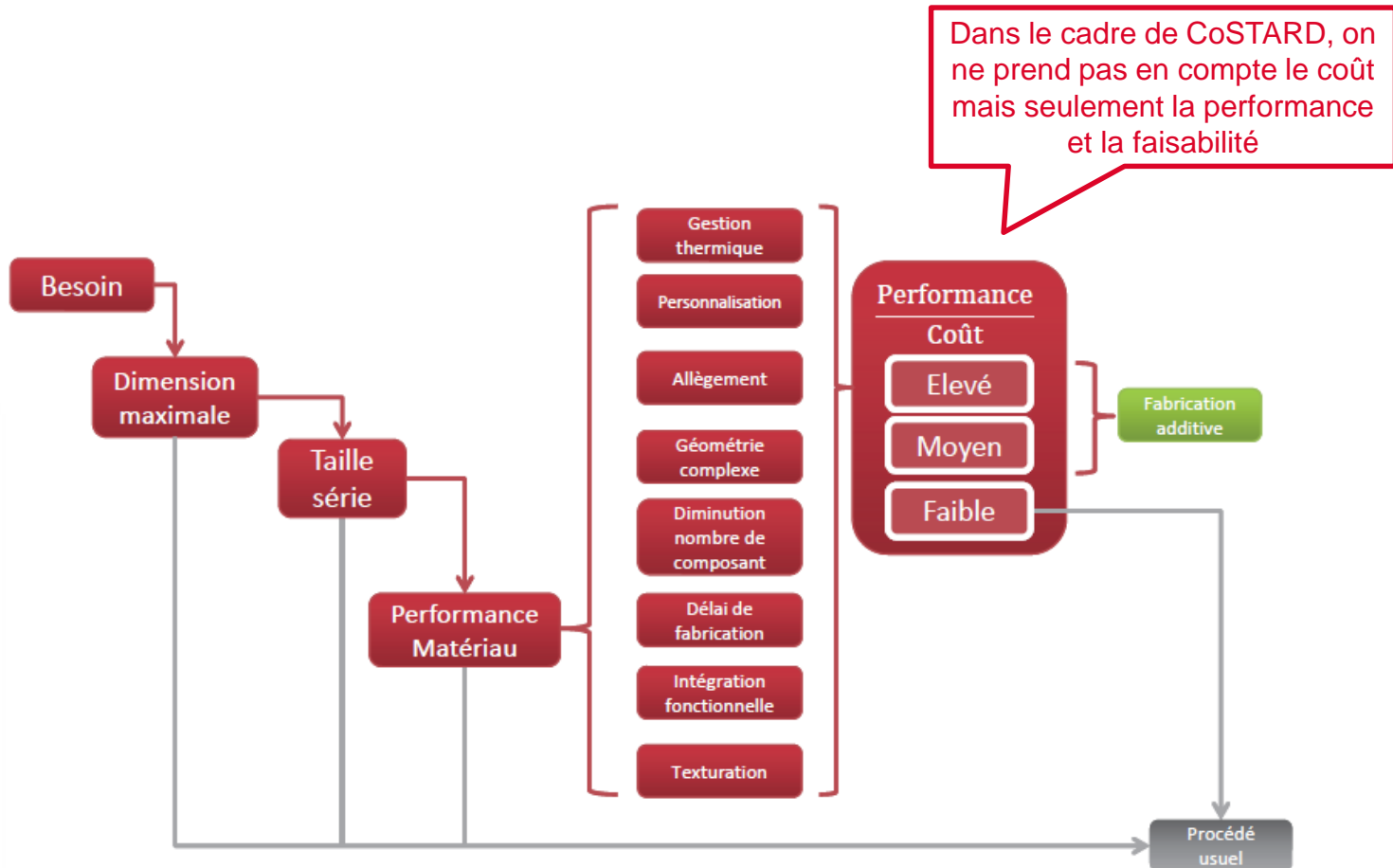
Eric Mistretta,
jeudi 16h

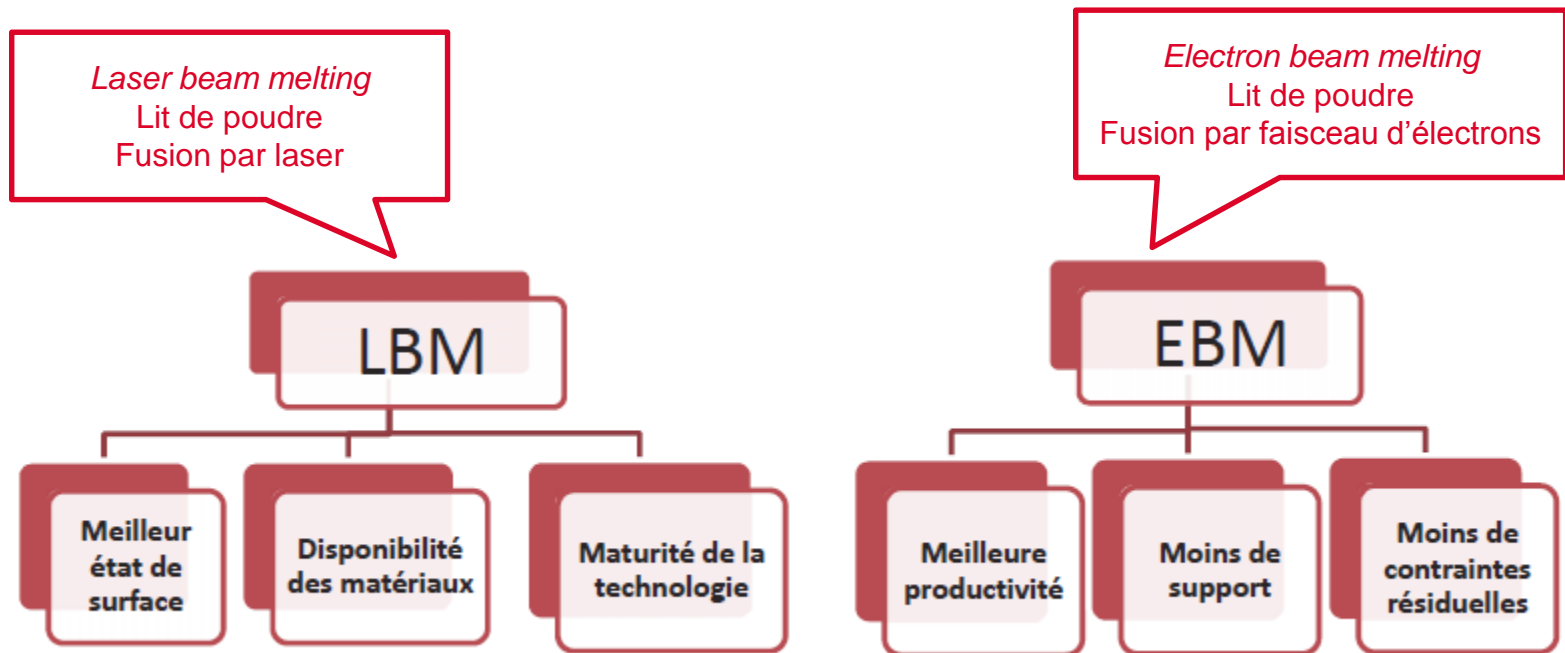


Fernando Lomello,
jeudi 15h10

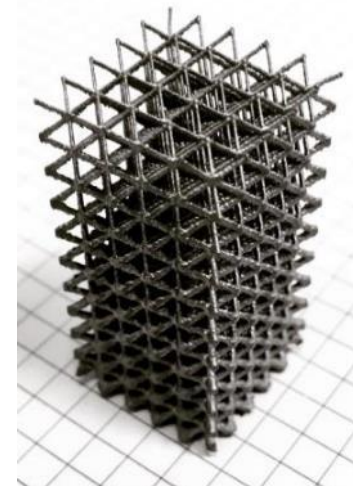
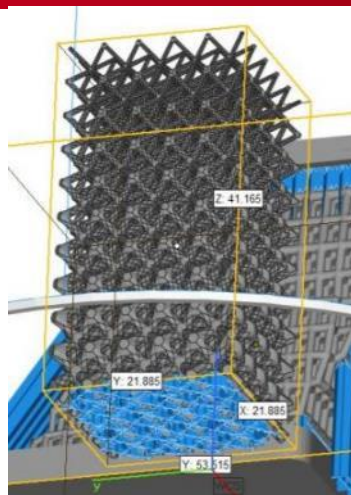
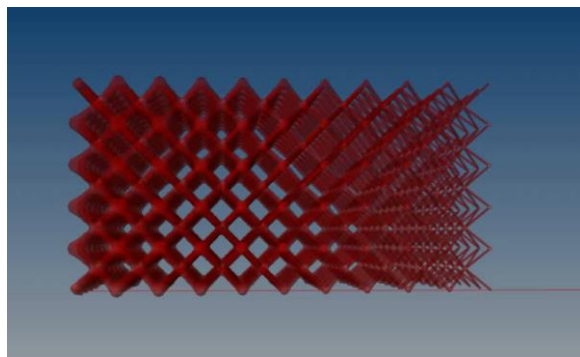


Procédé	Dimension de fab	Taille de série	Etat de surface	Matériau	Géométrie complexe	Avantages	Inconvénients
Usinage	Très Petit --> Très grand	Unitaire --> Très grande	+++	+++	+	Précision, répétabilité, état de surface, délais courts	Difficile de fabriquer des pièces complexes Coût des équipements élevé 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





- Interdépendance matériau / procédé / post-traitement
- Les concepteurs doivent être sensibilisés aux techniques de fabrication additive



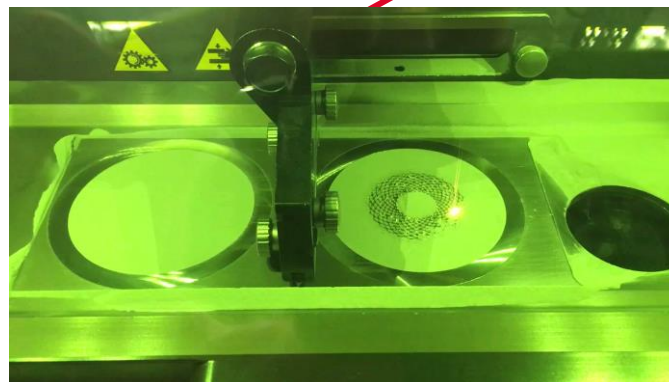
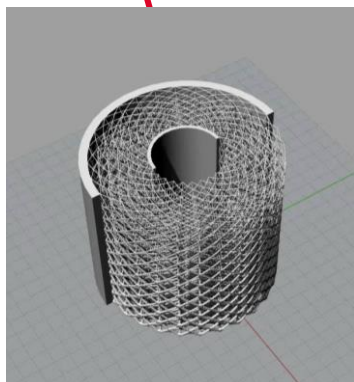
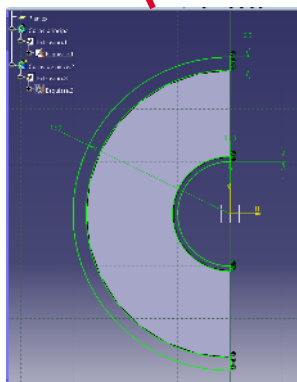
Avant-projet CAO

Géométrie complexe

Pré-traitement machine

Technologie de fabrication

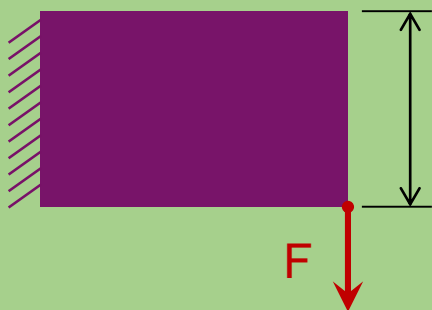
Post-traitement « avec un 's' »



- Qui sont les **acteurs** du projet CoSTARD ?
- Comment intégrer la **fabrication additive** dans le cycle de conception ?
- Comment intégrer l'**optimisation topologique** dans le cycle de conception ?
- Comment exploiter ces outils pour la **physique des deux infinis** ?
- Comment faire évoluer nos méthodes de **bureau d'étude** ?

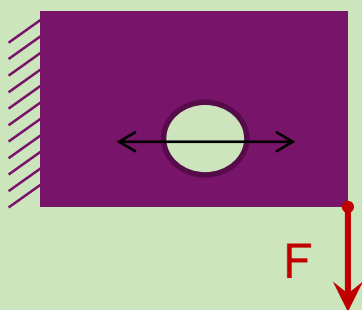
...ou comment « mettre de la matière uniquement là où il y en a besoin »

optimisation
dimensionnelle



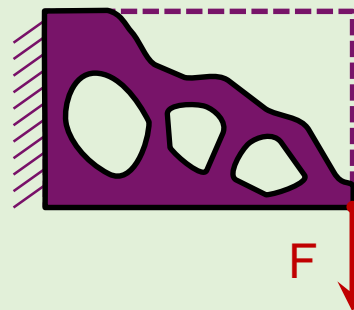
ex :
épaisseur poutre
ou de section

optimisation
de forme

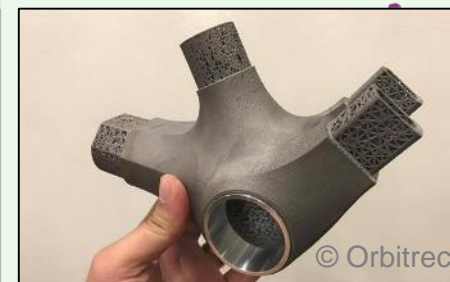
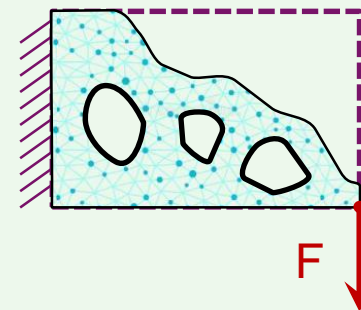


ex :
position d'un trou

optimisation
topologique



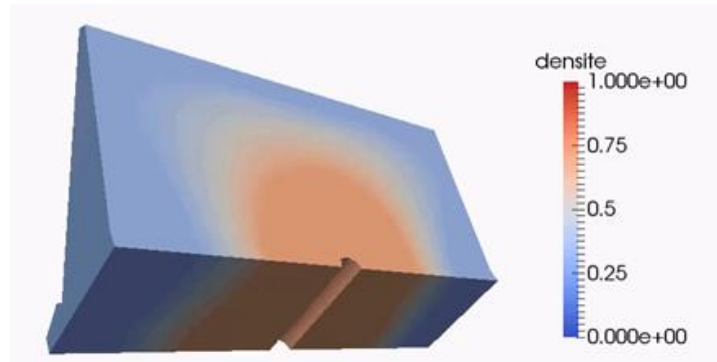
optimisation
"lattice"



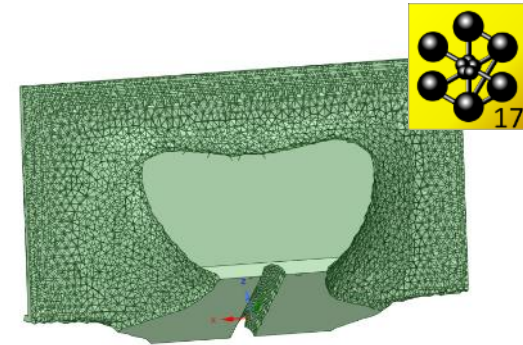
- La fabrication additive augmente les possibilités d'optimisation
- Elle permet de réduire les marges et/ou d'améliorer les performances



Optimisation intuitive



Optimisation topologique Optistruct



Optimisation topologique Cast3m

- L'optimisation topologique a des limites
- Attention aux marges implicites !

Yannick Jan,
vendredi 14h



- Qui sont les **acteurs** du projet CoSTARD ?
- Comment intégrer la **fabrication additive** dans le cycle de conception ?
- Comment intégrer l'**optimisation topologique** dans le cycle de conception ?
- Comment exploiter ces outils pour la **physique des deux infinis** ?
- Comment faire évoluer nos méthodes de **bureau d'étude** ?

Département d'Ingénierie des Systèmes de l'Irfu

Pourquoi et comment utiliser la
Fabrication Additive Métallique
pour nos projets au DIS ?

Par François Nunio, Yannick Jan, Pierre Manil

Séminaire • Appel à idées
Venez avec vos questions et vos propositions !

Mardi 6 février 2018
Bât. 472 • p.115
14h • 1h + discussion libre
Café offert par la maison

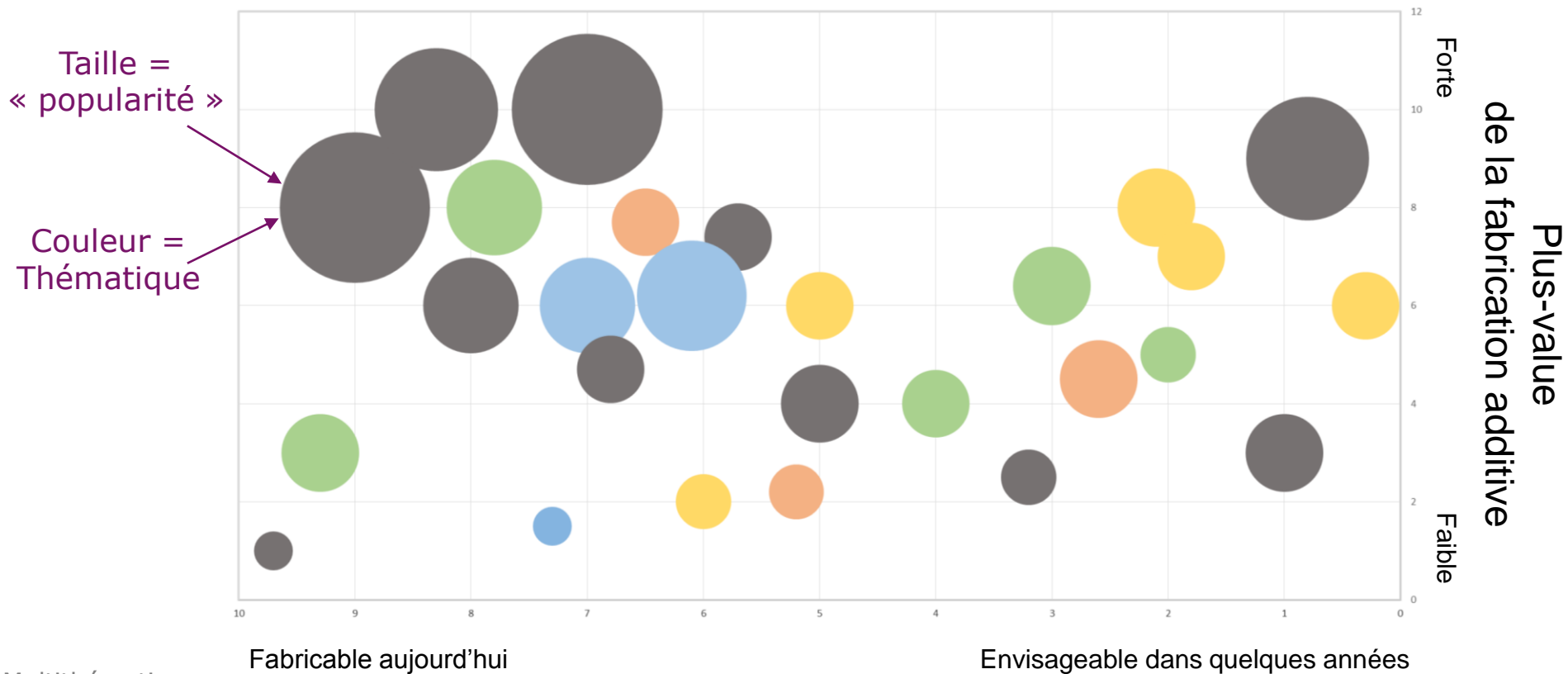
En partenariat avec la DEN,
qui dispose de machines d'« **impression 3D métallique** »,
le LCAP s'approprie les méthodologies d'**optimisation structurelle**,
permettant de concevoir différemment les composants mécaniques.
C'est le projet **CoSTARD**, dont nous allons vous présenter le contexte
et les motivations. **Mais surtout, nous sommes à l'écoute de vos
idées et vos besoins** pour identifier les futurs cas d'étude du projet ou
proposer une alternative à une pièce existante.

contact : yannick.jan@cea.fr

- 9 séminaires d'une demi-journée
 - Appel à idées « sans filtre »
- **75 idées** recensées à l'Irfu
- **Cartographie** des besoins

Cartographie des besoins de l'Irfu en fabrication additive

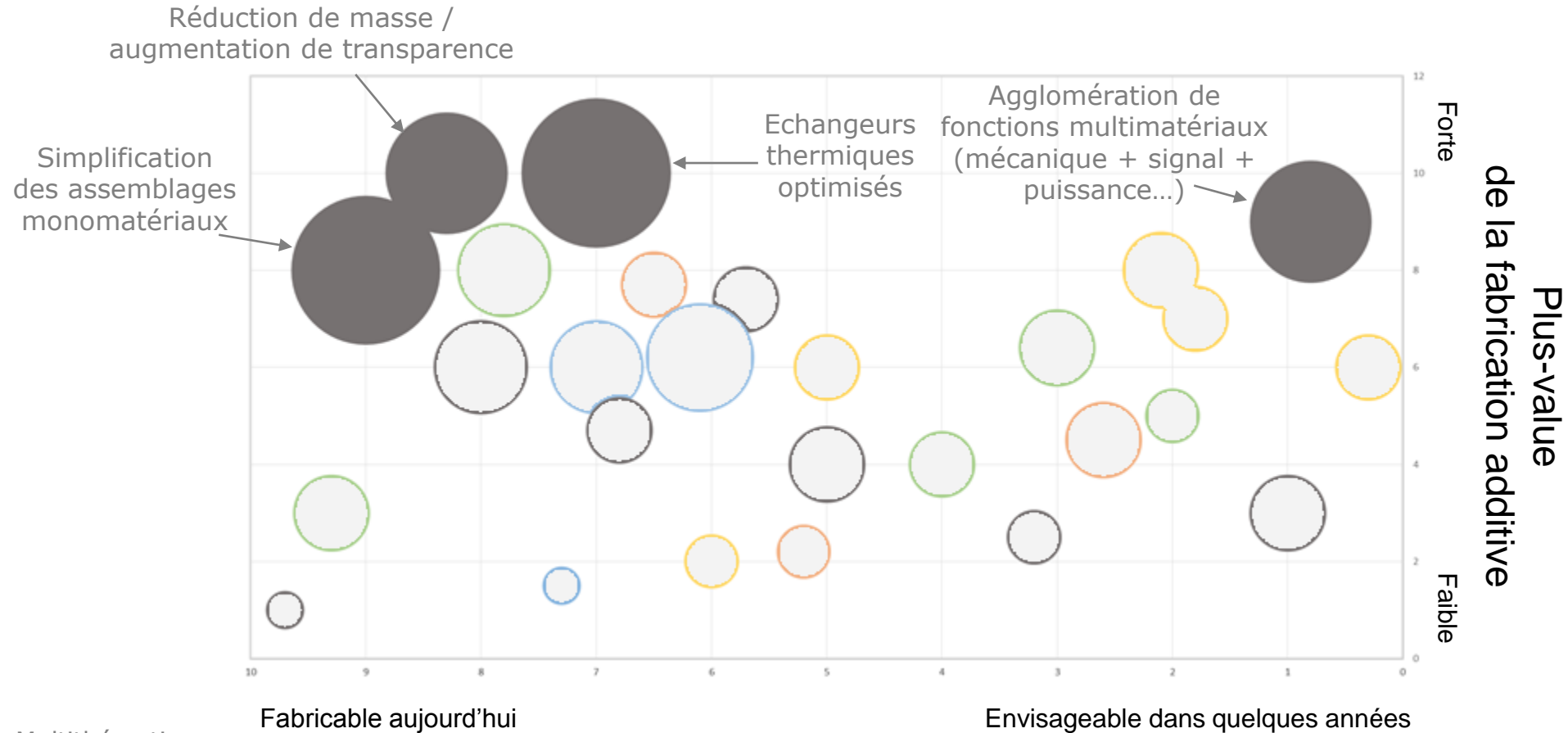
1 bulle = 1 groupe d'idées similaires



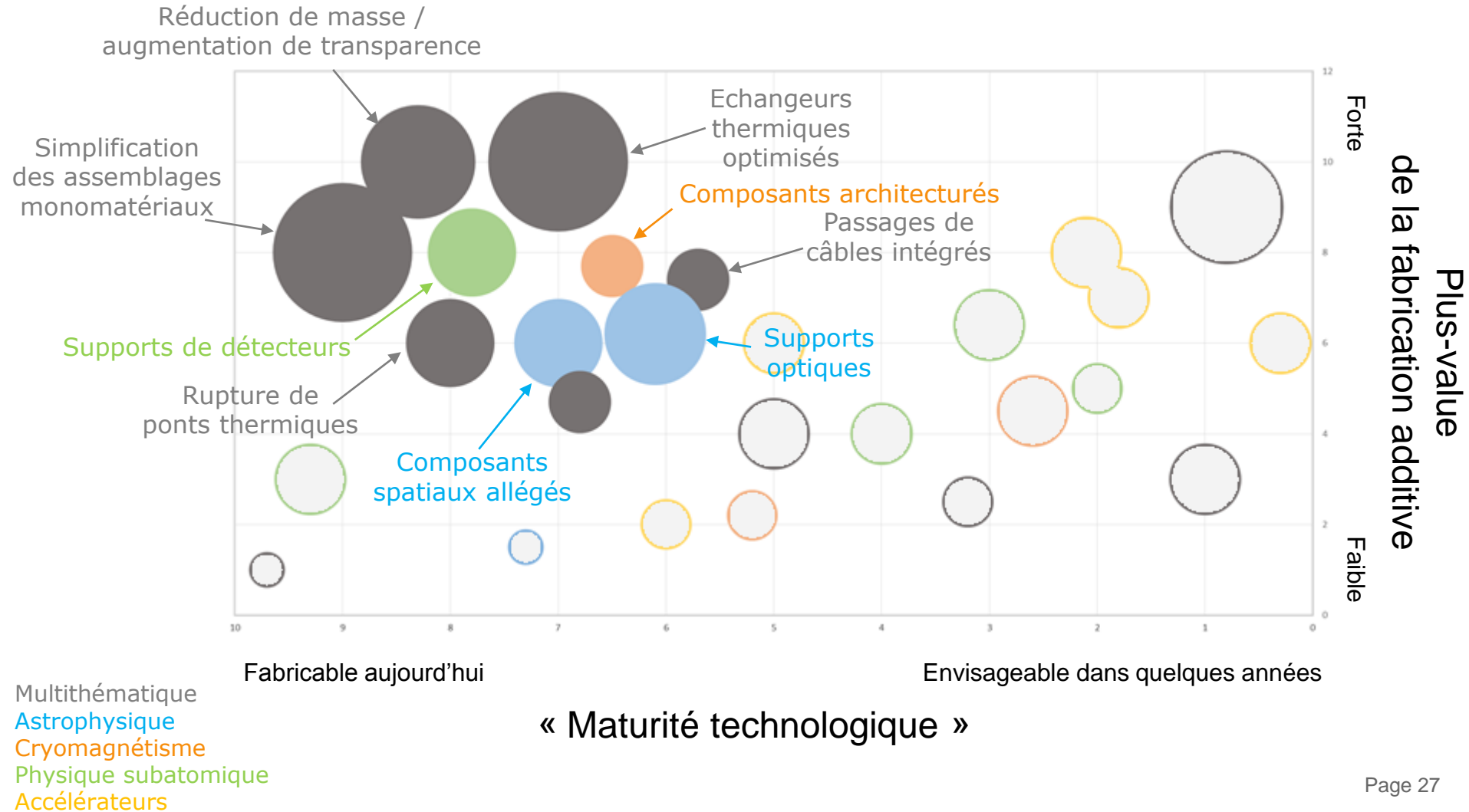
Plus-value de la fabrication additive

Faible

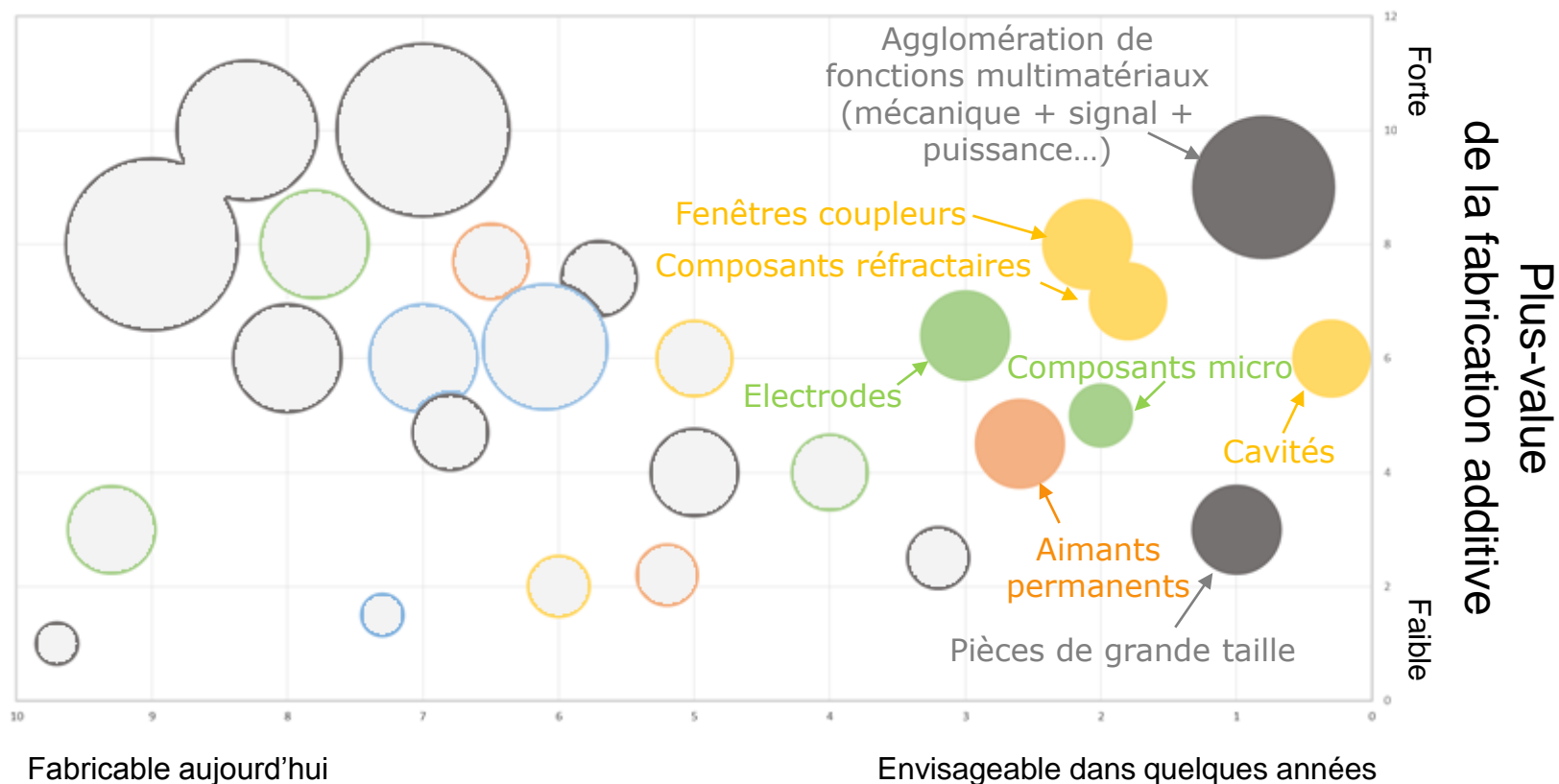
Idées les plus populaires



Idées fabricables à court terme



Idées envisageables sur le long terme



« Maturité technologique »

- Problématiques récurrentes :
Optimisation pour améliorer les performances,
multimatériaux, canaux de refroidissement, transport
de signal...
- Mise en place d'un *newsletter*
- Choix de **cas d'étude** représentatifs des besoins

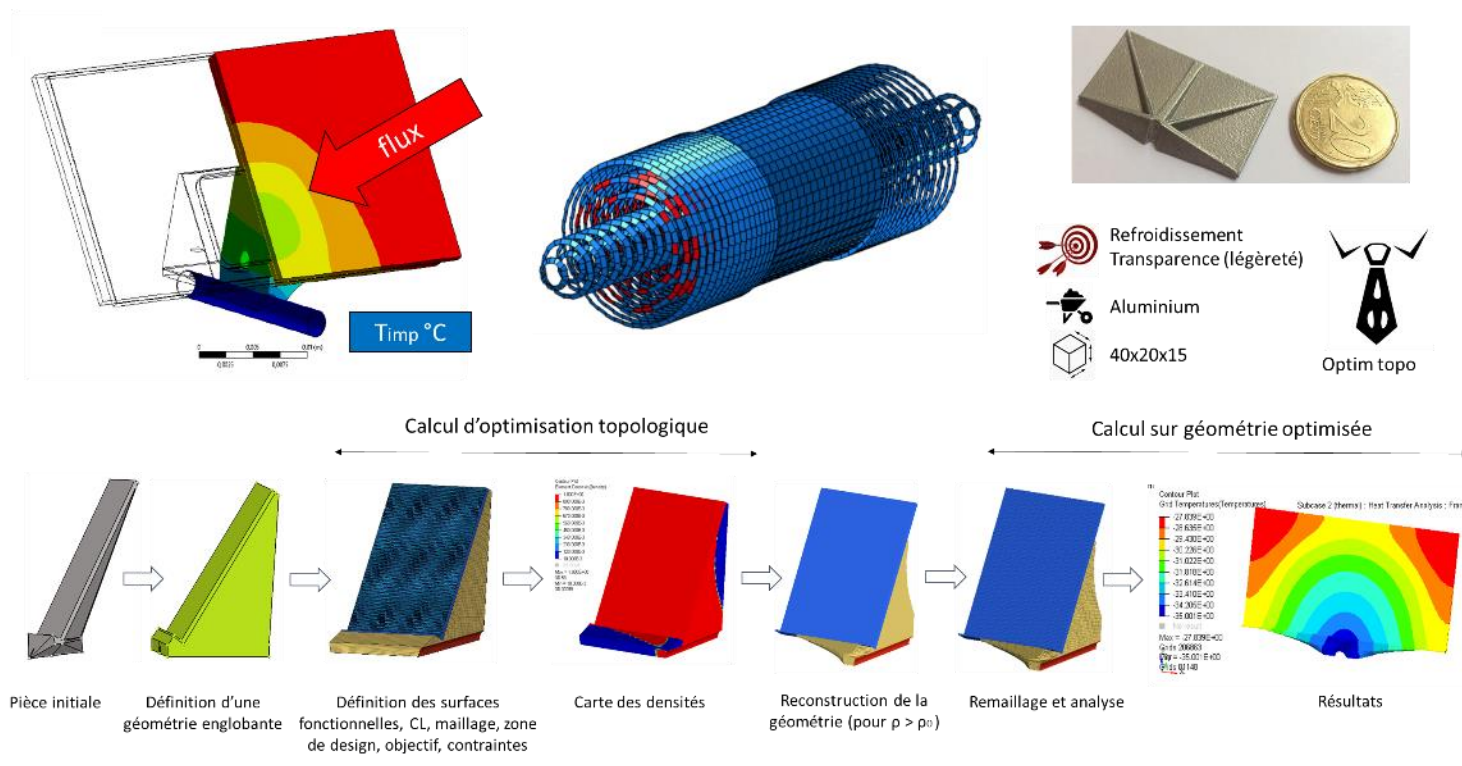
Yannick Jan,
vendredi 14h



- Qui sont les **acteurs** du projet CoSTARD ?
- Comment intégrer la **fabrication additive** dans le cycle de conception ?
- Comment intégrer l'**optimisation topologique** dans le cycle de conception ?
- Comment exploiter ces outils pour la **physique des deux infinis** ?
- Comment faire évoluer nos méthodes de **bureau d'étude** ?

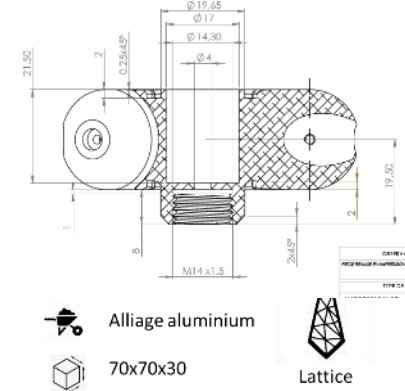
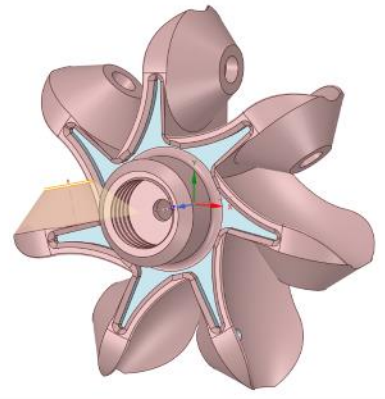
ATLAS – Inner Tracker

Refroidissement du support de détecteur PIXEL



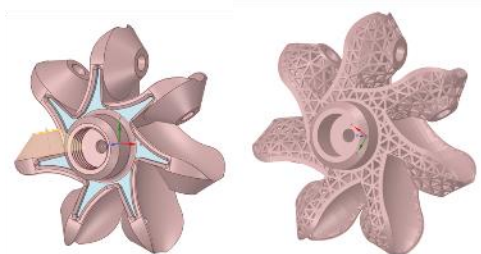
Roue de robot IRFM

Roue omnidirectionnelle d'un robot de maintenance dans un tokamak

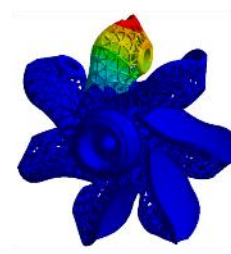
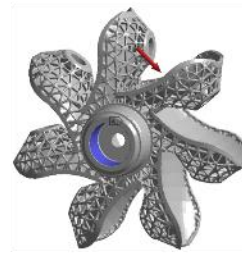


Création lattice

Calcul sur géométrie lattice

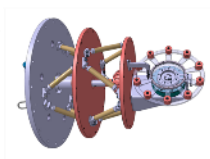
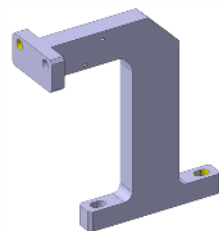


-50% de masse



ELT-METIS

Support de résolveur
avec rupture de pont thermique



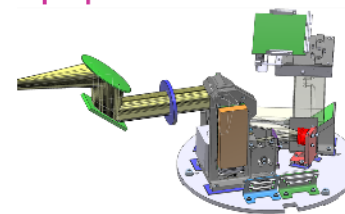
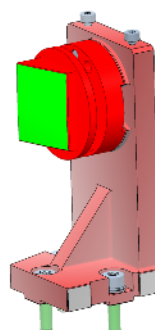
Rupture de pont thermique
Agglomération de fonctions
Titane / Aluminium / Inox
120x120x40



Lattice

QUANTIX

Support optique avec miroir



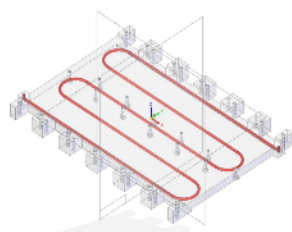
Rupture de pont thermique
Agglomération de fonction
Alliage aluminium
120x120x40



Pas d'optim

ILC - TPC

Refroidissement d'un support de détecteur avec
circulation de CO₂ intégrée



Faisabilité (extraction poudre)
Tenue en pression (50-100 bar)
Aluminium
Environ 150x100x15



Pas d'optim

- La fabrication additive offre des possibilités nouvelles aux concepteurs
- L'optimisation topologique est un outil intéressant en particulier dans les cas de chargement multiples ou non-intuitifs
- L'optimisation par treillis (*lattice*) est une voie suffisante dans certains cas
- La lourdeur des fichiers CAO demande à revoir les procédures de bureau d'étude
- La nécessité d'intégrer les contraintes de fabrication demande de revoir le positionnement du bureau d'étude par rapport aux méthodes

- CoSTARD nous permet de diffuser la culture fabrication additive auprès des concepteurs et des projets
- Nécessaire évolution de nos méthodologies de conception
- Autres matériaux très attendus :
cuivre et alliages, niobium, tungstène...
- À plus long terme : multi-matériaux, *material-by-design*...

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