



source **INITIAL**
PROTOTYPING

Fabrication additive



Topologie

Michel Berçot 8 décembre 2015



La **fabrication additive** désigne les procédés de fabrications par ajout de matière, assistés par ordinateur.

Fabrication additive



La fabrication additive décrit les technologies qui peuvent être utilisées **n'importe où dans le cycle de vie d'un produit** depuis la pré-production (*prototypage rapide*) à la production à grande échelle (*fabrication rapide*) et même pour les applications d'outillage. (*et pour la maintenance*)

Michel Berçot 8 décembre 2015

La fabrication additive prend de plus en plus d'importance **dans la ligne de vie du produit**. Depuis son apparition dans les années 1980 son développement lent jusque dans les années 1990 s'accélère et a été dynamisé par l'apparition des machines "grand public". La réalisation des produits vit une période de rupture très forte.



**" Mettre la bonne quantité,
de la bonne matière,
au bon endroit
et pour la bonne raison "**



Peu importe la type et la qualité du matériau si la forme de la pièce n'est pas bonne

« ... la meilleure des matières ne servirait à rien ! »

Topologie

Michel Berçot 8 décembre 2015

Conjointement aux possibilités offertes par la fabrication additive, la conception des produits est en très forte évolution. Ce qui était impossible quant aux limites imposées par les procédés de réalisation devient possible. Les outils numérique d'aide à la conception et l'optimisation ouvre le champ des possibles. Les limites sont moins dans les outils que dans la créativité et la remise en cause de chacun.



Principe



La fabrication rapide

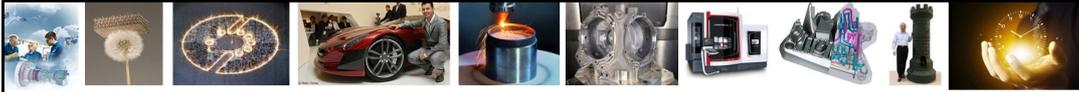


L'outillage rapide



Les évolutions

Michel Berçot 8 décembre 2015



Principe



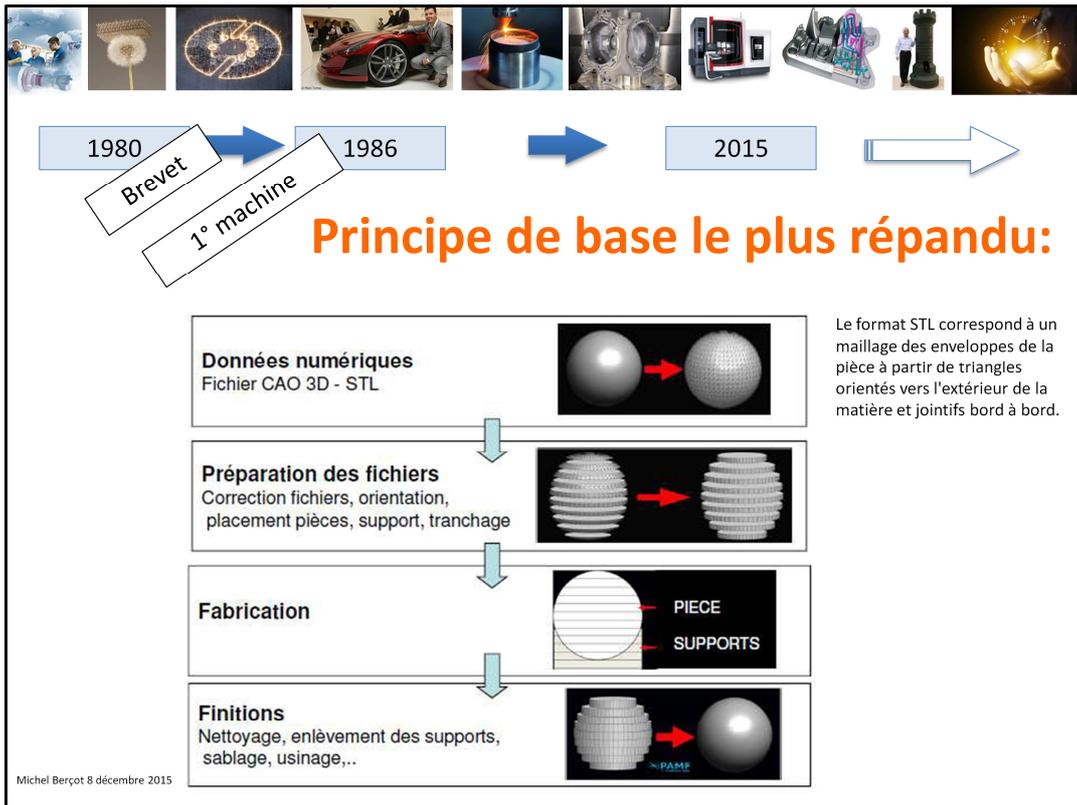
La fabrication rapide



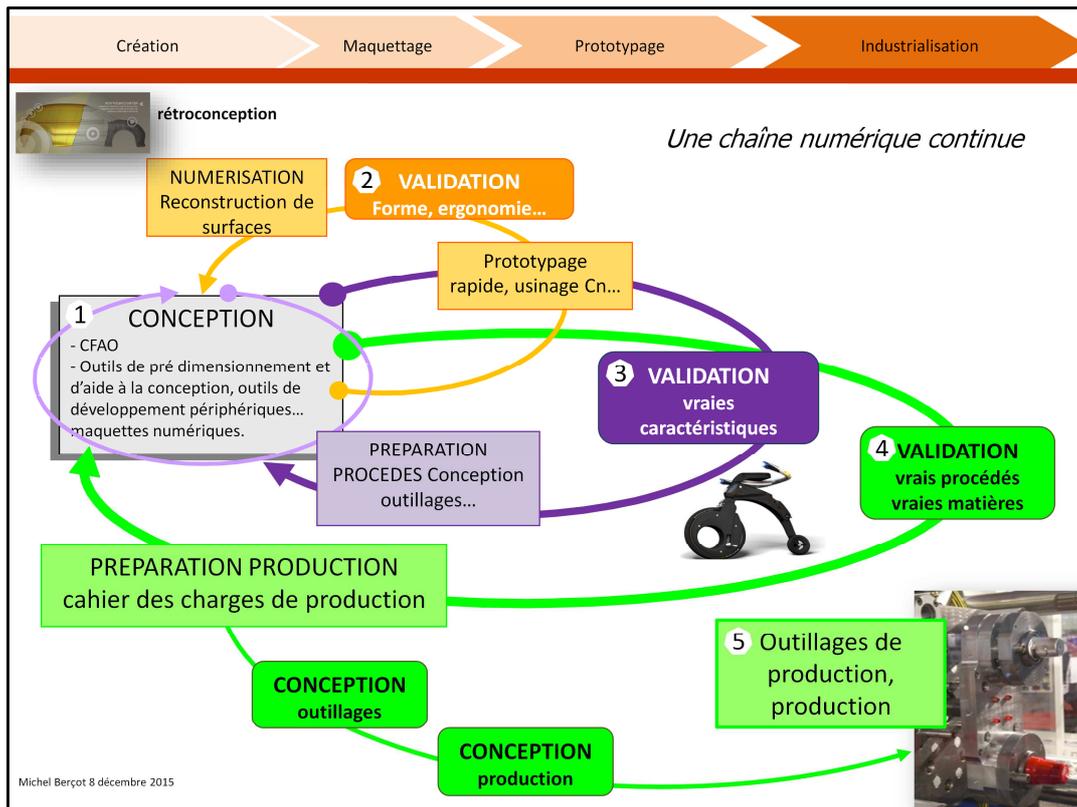
L'outillage rapide



Les évolutions



Ici, rappel sur les dates clés de la fabrication additive et sur les principes de base de l'addition de matière couche par couche. Dans ce principe de fabrication, ce n'est que de l'addition de couches 2D. De nouvelles approches naissent pour des générations de volumes dans l'espace. Une première approche est présentée dans la suite du diaporama.



Sont présentées ici les 4 principales boucles d'itération qui permettent par un travail en ingénierie simultanée et concourante de trouver le meilleur compromis pour passer d'une idée de produit à sa mise à disposition pour un marché défini (*sur un plan technico économique*).

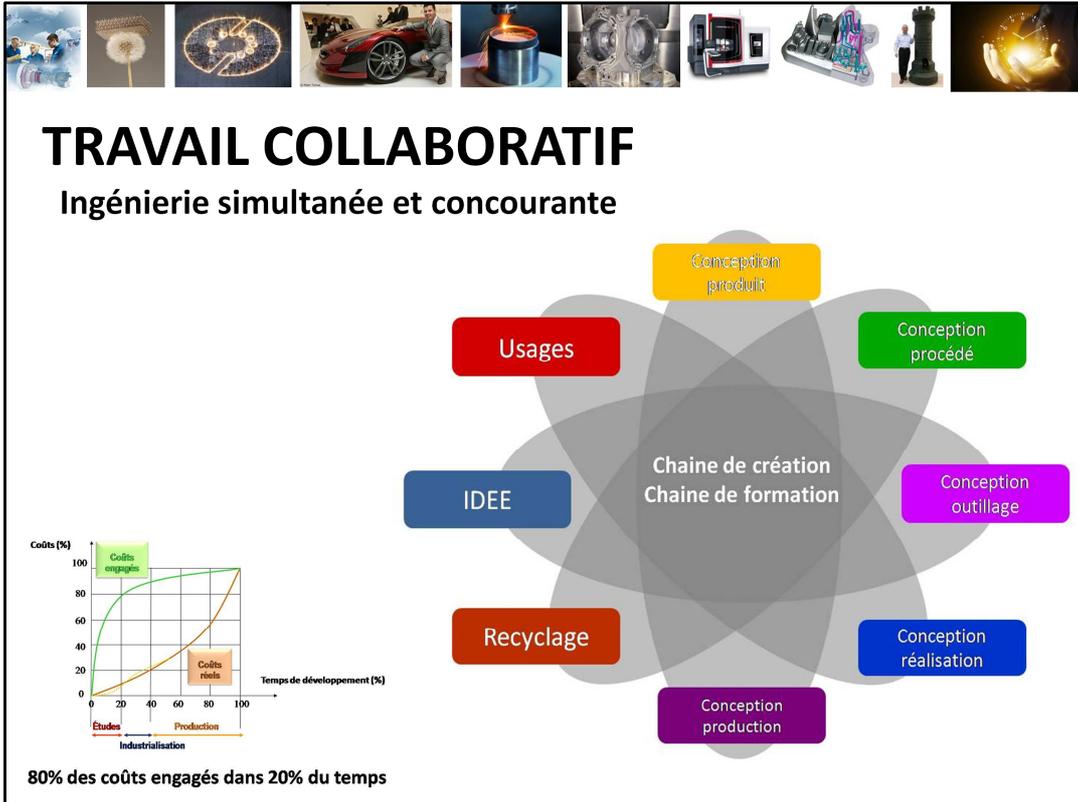
- 1 La boucle de décryptage du cahier des charge de produit, de l'analyse fonctionnelle de création du diagramme des exigences...

- 2 **le premier passage du virtuel au réel** sous forme de maquettes de premier niveau. Ici la fabrication additive apporte un plus très important quant à la visualisation et la communication. L'utilisation des équipements permettant le meilleur rendu réaliste possible est intéressant (*textures, couleurs...*).

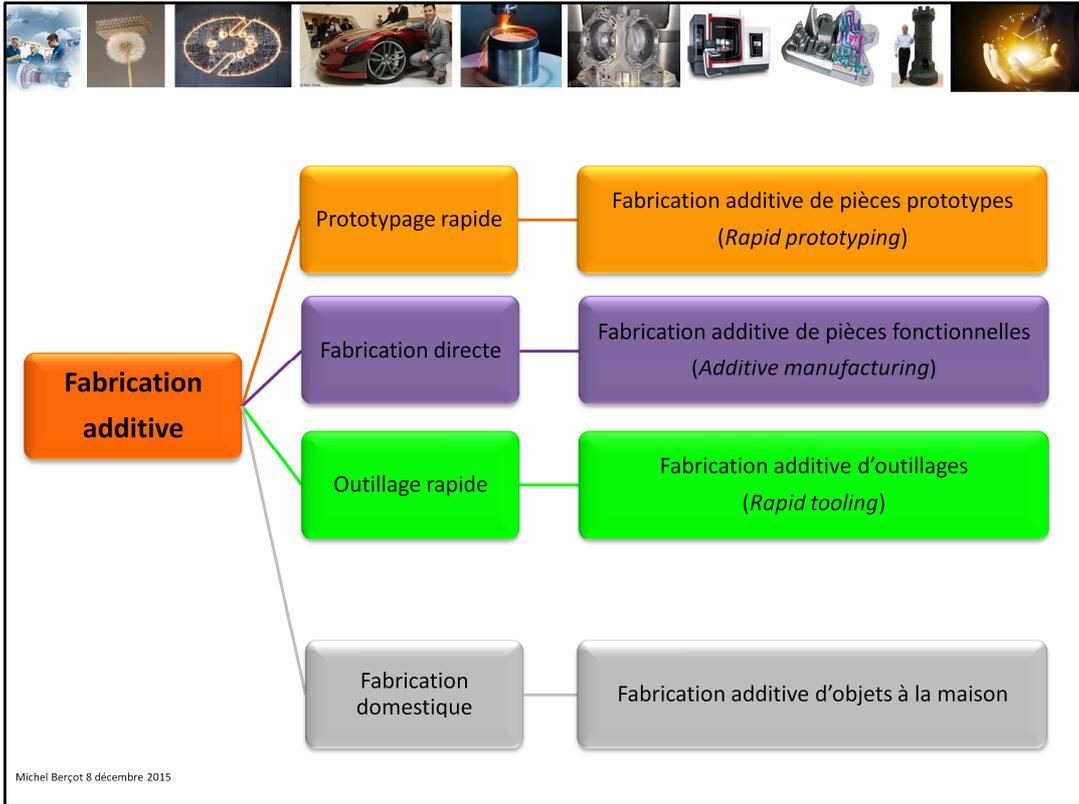
-3 **Boucle de validation (au plus près des) vraies caractéristiques**. Dès cette étape le travail collaboratif est indispensable pour une optimisation des solution technologique au regard des contraintes procédés, aussi bien des productions que de conception et réalisation d'outillages. Ici comme dans chaque étape de validation, le prototypage physique sera fait après que toutes les simulations numériques aient été testées. Les erreurs constatées à l'issue de ces validations physiques sont des réussites. Elles permettent de filtrer en minimisant les risques et aléas.

- 4 **validation vrais procédés vraies matières**. Cette étape très importante a comme objectif de valider les choix de procédés et de processus, de les tester au plus près de la future production à travers des outillages et des solutions avancées. Cette étapes est la dernière avant les gros investissements à engager pour la mise en production. Le travail collaboratif est ici prépondérant. A l'issue de cette étape le cahier des charges de production doit être établi. Dans la suite du diaporama quelques précisions sont apportées.

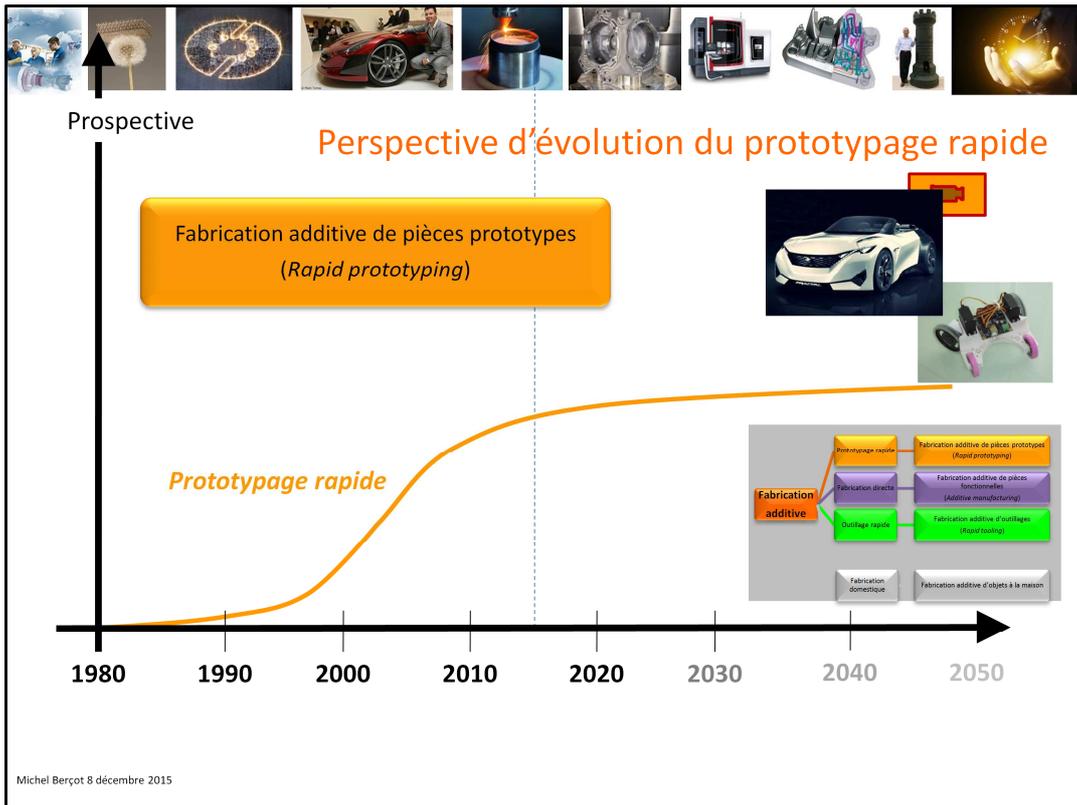
- 5 **réalisation par fabrication additive des outillages** ou éléments d'outillages de production.



Quelques exigences sont présentées ici, suivant les projets et leur contexte, le schéma pourra être différent. Rappel: 80% ces coûts d'un projet sont engagés dans 20% du temps. Les étapes de départ doivent être conduites conjointement par tous les acteurs du projet pour la réussite de celui-ci.



Les quatre branches principales de la fabrication additive.
La branche fabrication domestique n'est pas traitée dans ce dossier.



La branche prototypage rapide arrive à maturité, les évolutions à venir sont essentiellement liées aux matériaux disponibles, à la fiabilisation des équipements. Une veille technologique sérieuse permet un suivi satisfaisant des technologies.



Fabrication additive de pièces prototypes
(*Rapid prototyping*)

Le passage rapide du virtuel au réel

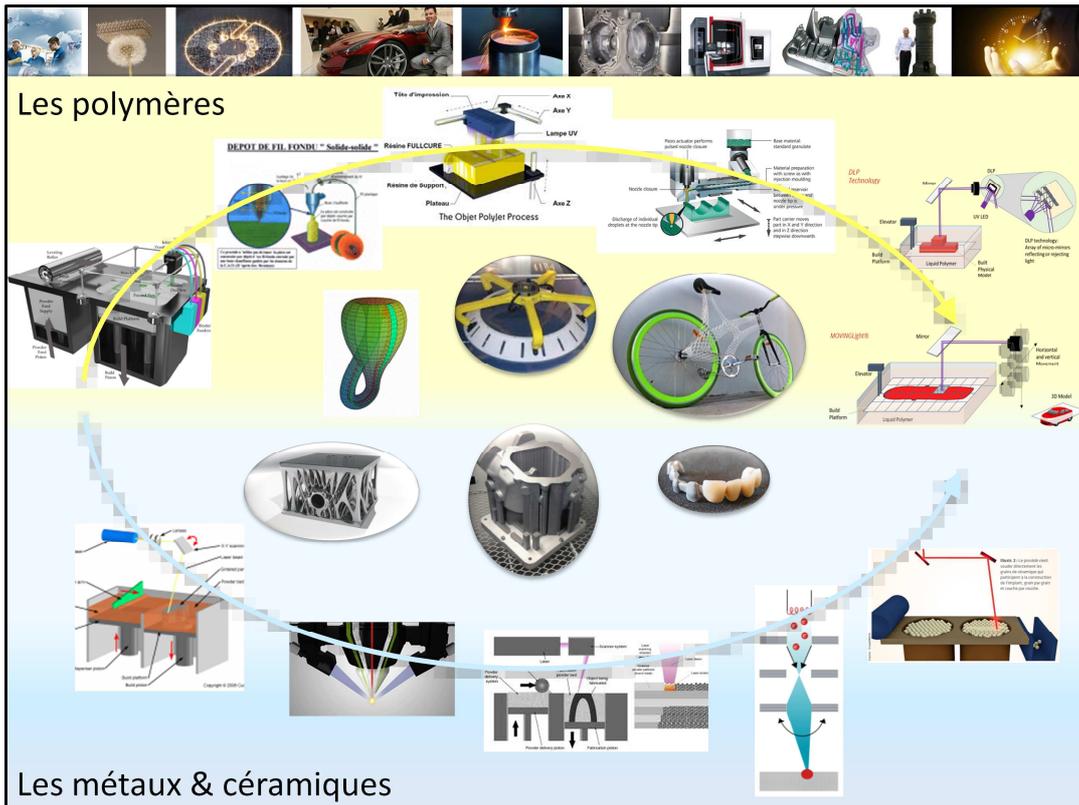
Les polymères & Les composites

Les hybrides

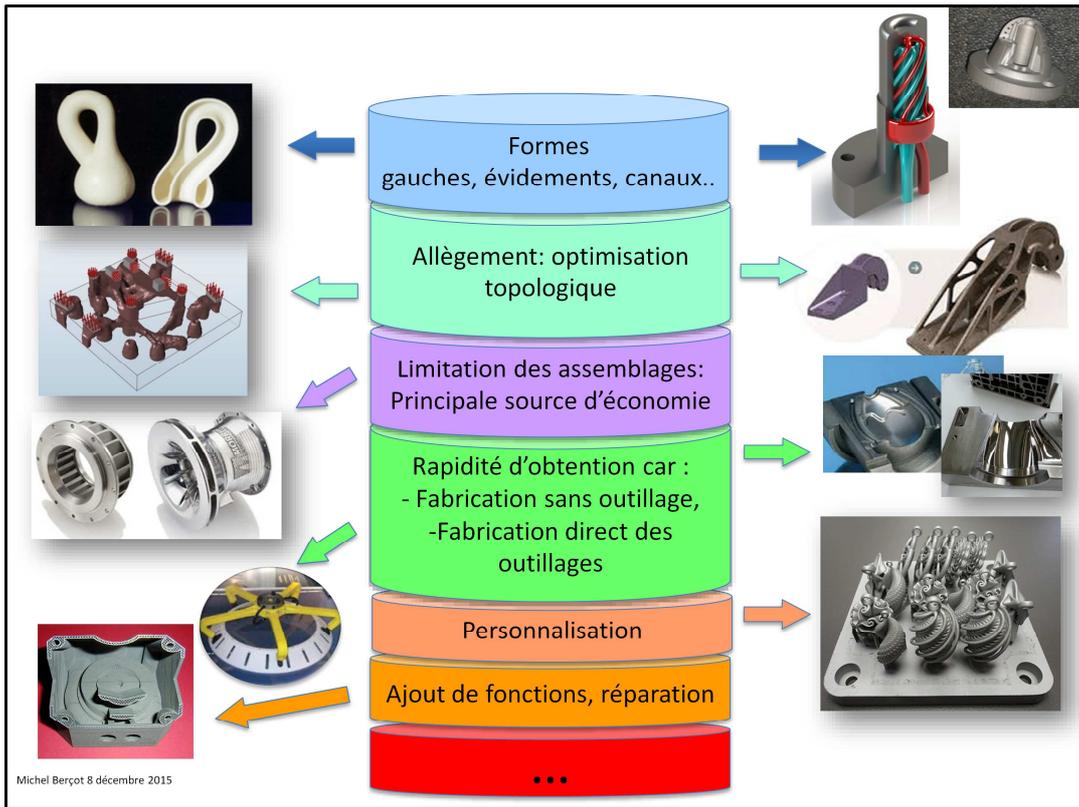
Les métaux & Les céramiques



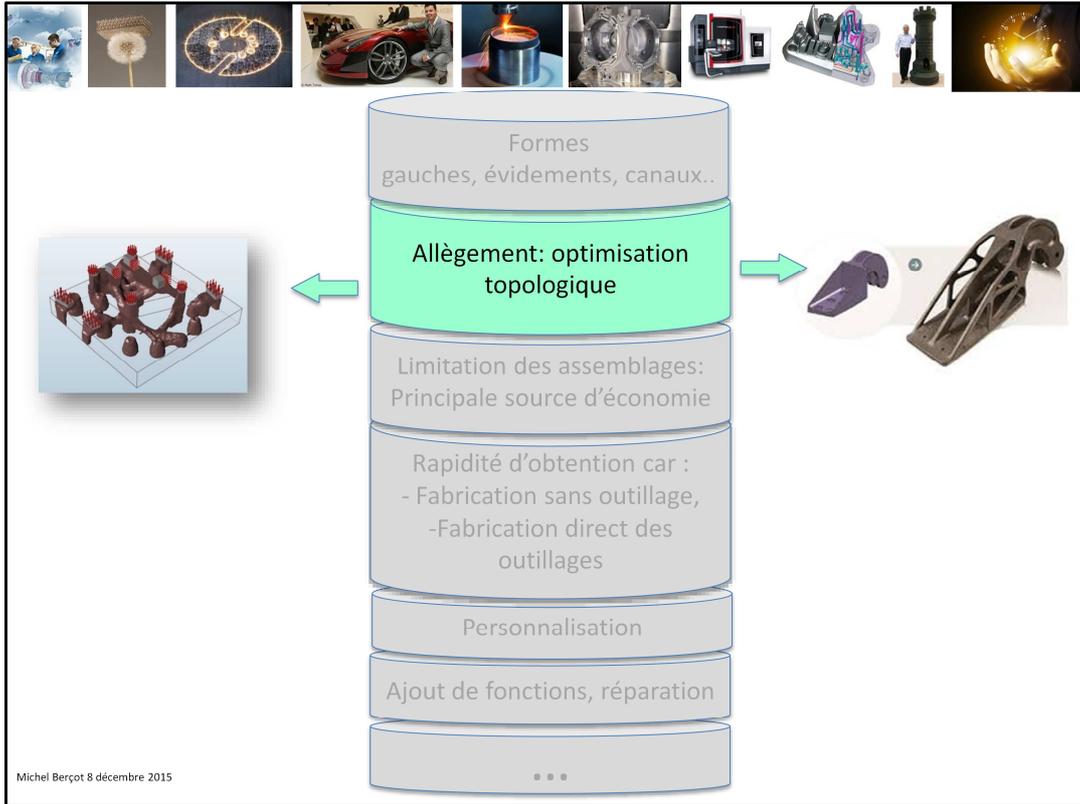
La montée en puissance du prototypage rapide génère une consommation importante de matière et donc un poids économique important. Le développement de nouveaux matériaux devient donc un véritable enjeu économique d'où une offre croissante.



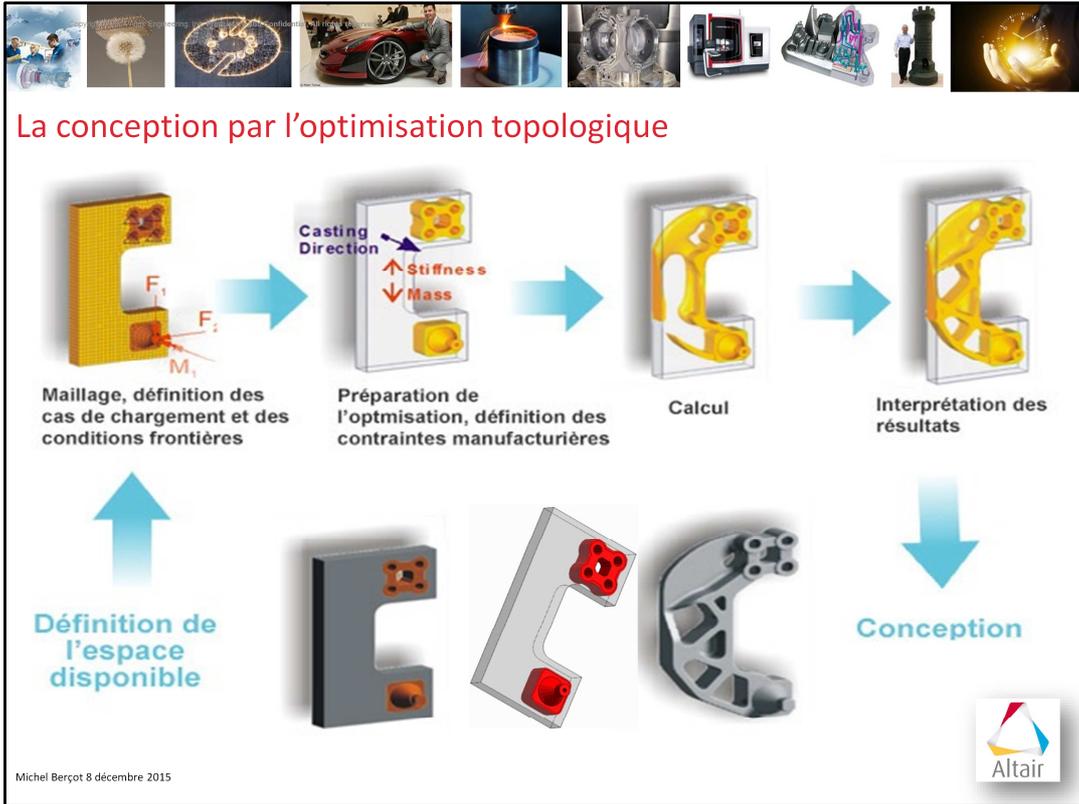
Les procédés additifs de réalisation sont nombreux pour les polymères car les contraintes sont moins fortes que pour les métaux et les céramiques. Pour les métaux les développements plus récents commencent à donner des résultats de qualité. Les pièces obtenues peuvent maintenant être certifiées aéronautique. Certaines pièces sont maintenant biocompatibles et implantables.



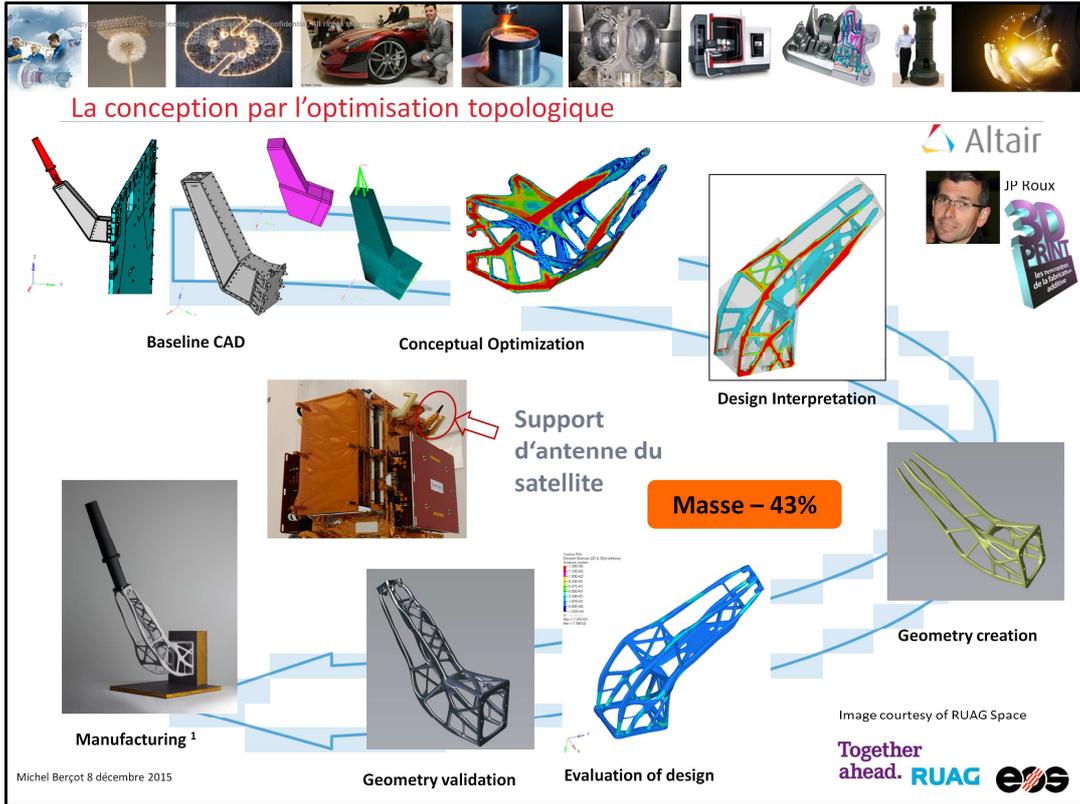
Les points clés de la fabrication additive.



L'apport de la topologie dans l'optimisation des conceptions.



Les étapes principales pour l'optimisation d'une conception de pièce.



Exemple de reconception d'une antenne de satellite en utilisant la topologie pour optimiser les formes et minimiser la masse. Présentation Jean Philippe Roux le 16 septembre 2015 lors du salon 3D PRINT de Lyon.



Optimisation des structures lattices (*treillis*)

Altair

JP Roux

3D PRINT
Les avantages de la fabrication additive

Displacement

Bar Stresses

Stiffness Improvement

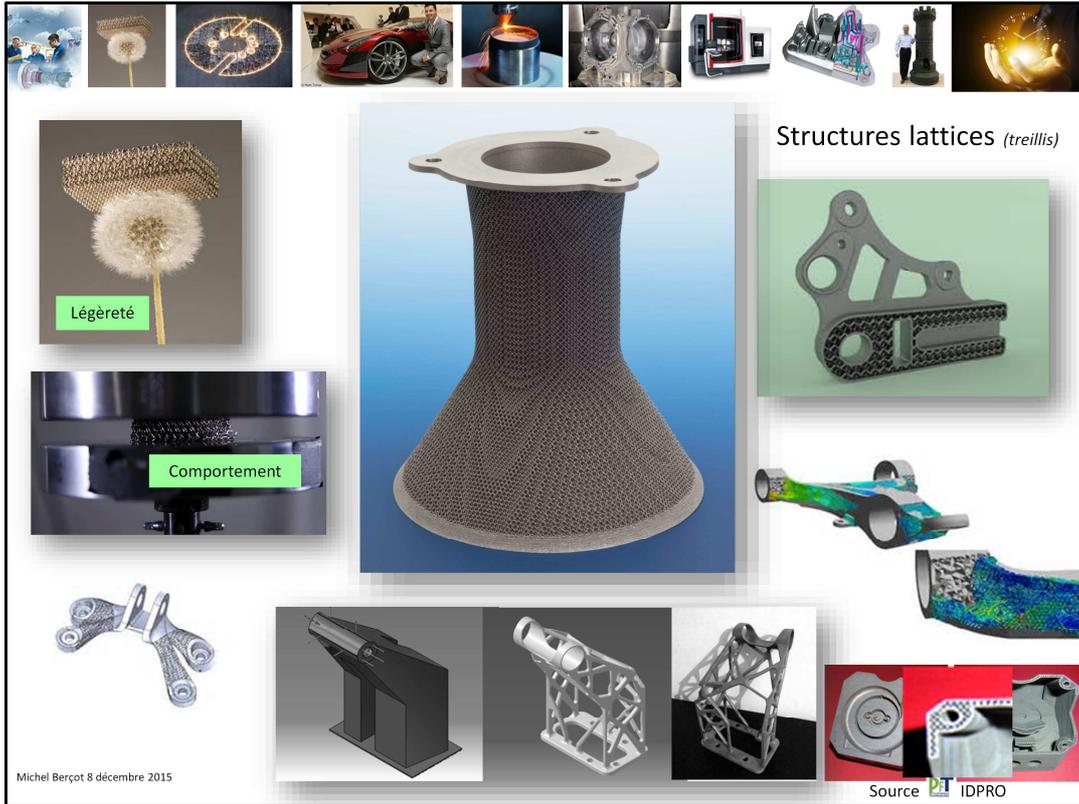
12%

TOPOLOGY WITH MFG CONSTR BLENDED SOLID-LATTICE

Michel Berçot 8 décembre 2015

Les structures lattices ou en treillis, très utilisée dans le génie civil par exemple, elles n'étaient pas ou peu utilisées dans la conception de pièces mécaniques. Ces structures étant souvent impossibles à réaliser. Lorsque les pièces sont réalisées par fabrication additive les problèmes de réalisation disparaissent. Il est donc souvent intéressant d'y avoir recours pour minimiser la quantité de matière nécessaire à la réalisation de la pièce.

Présentation Jean Philippe Roux le 16 septembre 2015 lors du salon 3D PRINT de Lyon.



Les structures lattices ou en treillis, très utilisée dans le génie civil par exemple n'étaient pas ou peu utilisées dans la conception de pièces mécaniques. Ces structures étant souvent impossibles à réaliser. Lorsque les pièces sont réalisées par fabrication additive les problèmes de réalisation disparaissent. Il est donc souvent intéressant d'y avoir recours pour minimiser la quantité de matière nécessaire à la réalisation de la pièce. Il est aussi possible de changer le comportement de la pièce, sous contrainte par exemple ou thermiquement (*diminution de son inertie*)...

Il est aussi possible, par bio mimétisme de se rapprocher des structures osseuses pour améliorer les implantations. Avec les céramiques les croissances osseuses sont visées.

Optimization Workflow

Company	Workflow Description	Weight Savings
HardMarque FUTURE FACTORIES	Initial solid part → Topology optimization → Lattice structure → Final optimized part	- 25 %
RENISHAW apply Innovation™	Initial solid part → Topology optimization → Lattice structure → Final optimized part	- 40 %
APWORKS by Altair Group	Initial solid part → Topology optimization → Lattice structure → Final optimized part	- 75 %
Together ahead RUAG	Initial solid part → Topology optimization → Lattice structure → Final optimized part	- 43 %
LZ LUDWIG ZEHNDER	Initial solid part → Topology optimization → Lattice structure → Final optimized part	- 26 %

Altair

JP Roux

3D PRINT
Les avantages de la fabrication additive

Michel Berçot 8 décembre 2015

Exemples de conceptions optimisées par la topologie.



Les matériaux utilisés dans les machines de fabrication additive (décembre 2015) peuvent se présenter sous différentes formes (*liquide, pâtes, poudres, granulés, fils*) les types et nuances de matériaux disponibles sont trop restreints. C'est un axe fort de développement des métallurgistes et chimistes.

L'étendue des dimensions des pièces pouvant être obtenues par fabrication additive est très large. Cela va de moins de 1mm à plusieurs dizaines de mètres. Certaines machines permettent de la fabrication en continu.

Les caractéristiques des pièces obtenues s'améliorent de jour en jour. Certaines machines permettent de réaliser des pièces dont les caractéristique du matériau sont différentes suivant certaines zone choisies par le concepteur.



En fabrication soustractive:

moins on enlève de matière plus on minimise les coûts de fabrication.

En fabrication additive :

moins on ajoute de matière plus on minimise les coûts de fabrication

Michel Berçot 8 décembre 2015

Par fabrication soustractive (*usinage*), on enlève la matière inutile.

Par fabrication additive on additionne la matière utile. D'où la nécessité absolue d'optimiser topologiquement la pièce:

Minimisation de la quantité de matière, minimisation du temps de réalisation, minimisation de la masse.



Principe



La fabrication rapide



L'outillage rapide



Les évolutions

Michel Berçot 8 décembre 2015

Prospective

Production directe

Fabrication additive de pièces fonctionnelles
(Additive manufacturing)

Le réacteur Leap 1A de l'A320neo certifié AESA/FAA

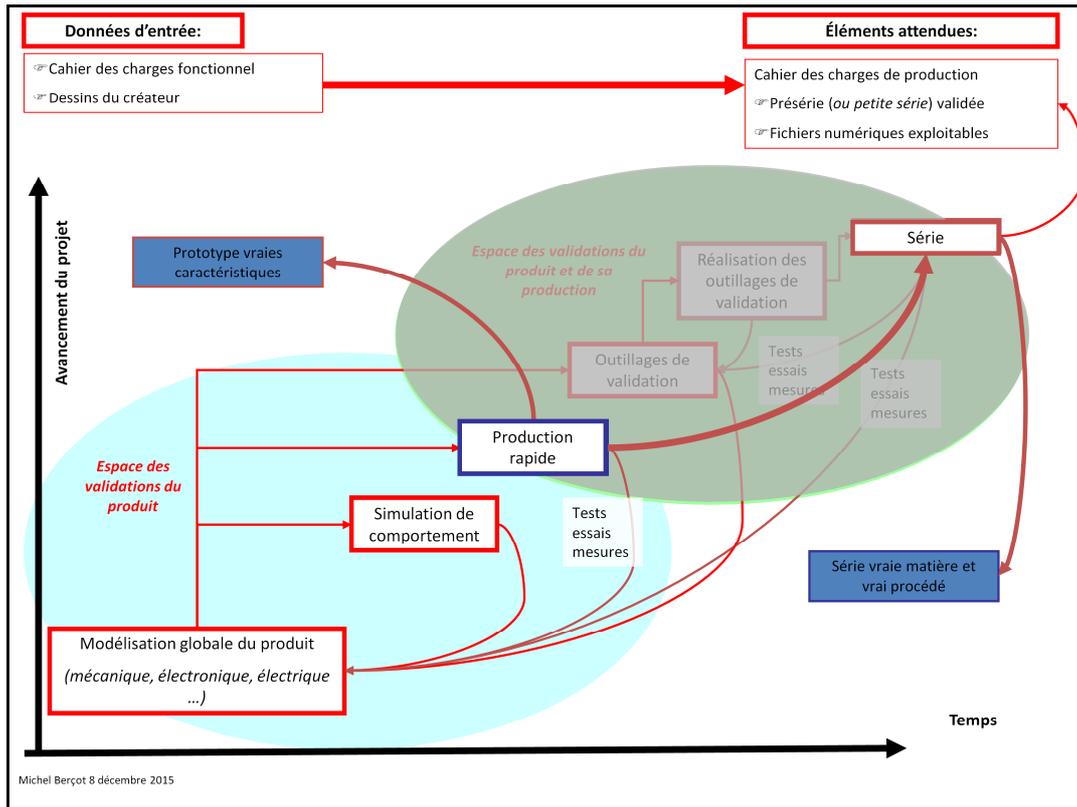
Publié le 21 novembre 2015 à 15h00 par Joël Ricci

Le LEAP-1A, qui équipe les Airbus A319neo, A320neo et A321neo, intègre les technologies les plus évoluées du secteur, dont des aubes et un carter de soufflante en matériau composite tissé 3D, un système inédit de rejet des débris, une conception aérodynamique tridimensionnelle de 4^e génération, une chambre de combustion annulaire TAPS (Twin-Annular Pre-Swirl) qui intègre des injecteurs de carburant en fabrication additive, des pièces en composites à matrice céramique de la turbine haute pression et des aubes de turbine basse pression en aluminure de titane (Ti-Al).

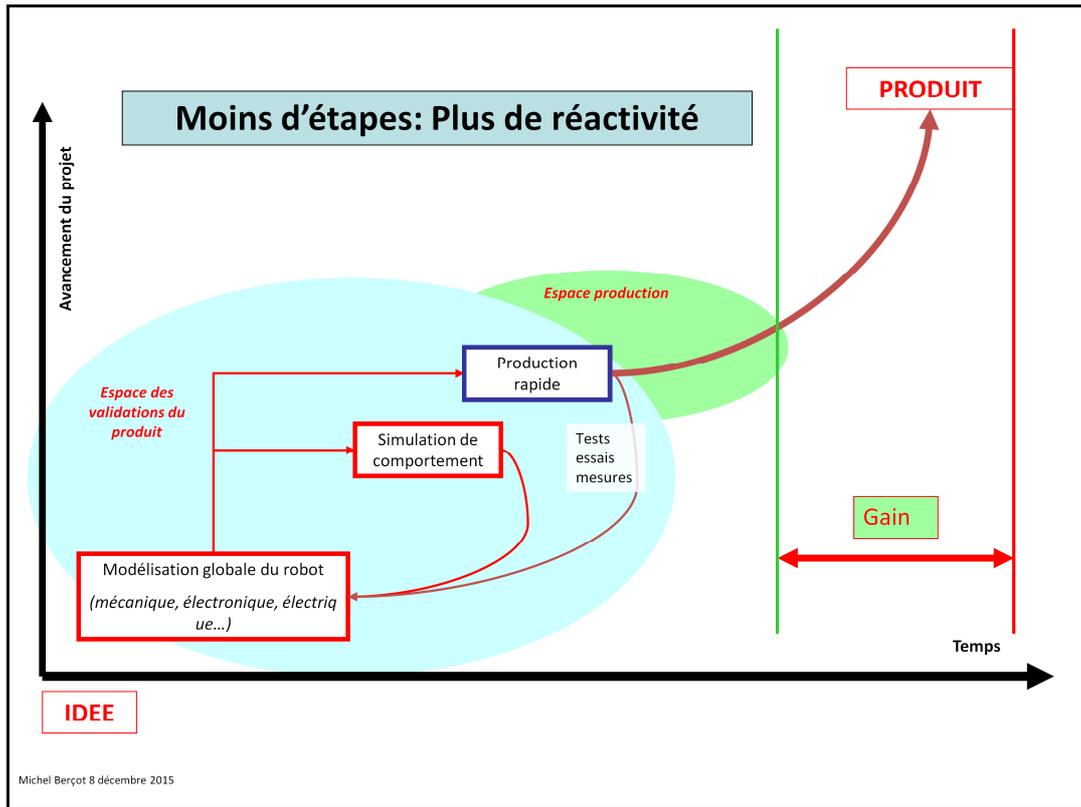
2050

Michel Bérçot 8 décembre 2015

La production directe encore peu utilisée est un enjeu prépondérant et stratégique pour les années à venir. Les grands fabricants mondiaux d'équipements travaillent à son développement. Une révolution est en marche. Nous prenons le train en marche au meilleur moment.



La fabrication directe est un enjeu très fort, pour passer de la phase prototype à la phase production, l'accélération peut être considérable si les outillages ne sont plus nécessaires. Cela commence pour les productions de petites et moyennes séries, les plus grandes séries sont abordées pour les pièces de petites dimensions. Pour la production sérielle, ce sont les outillages qui peuvent être réalisés partiellement par fabrication additive.



La fabrication directe raccourcit de façon conséquente le temps de mis sur le marché du ou des produits.



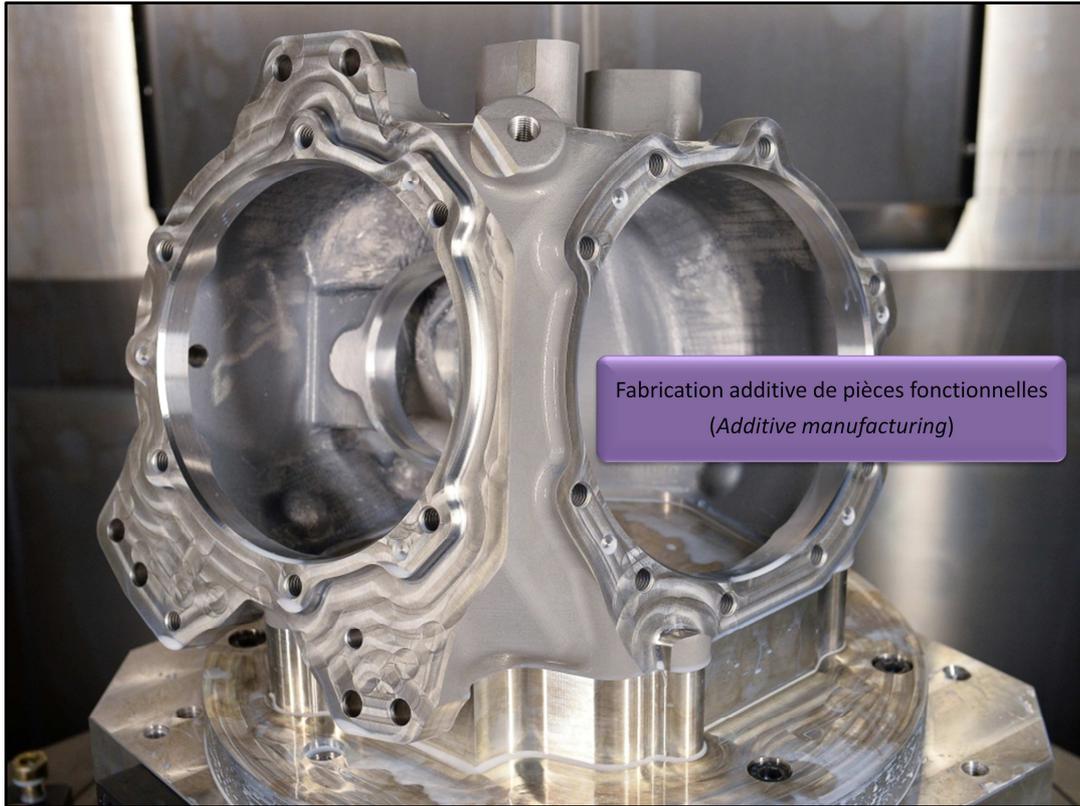
Arrivée des machines de production additive



Comment produire des pièces en quelques secondes

Michel Berçot 8 décembre 2015

Le développement de nouvelles machines, la fiabilisation des machines existante et l'amélioration des périphériques et des environnements rend possible ce qui était impensable hier.

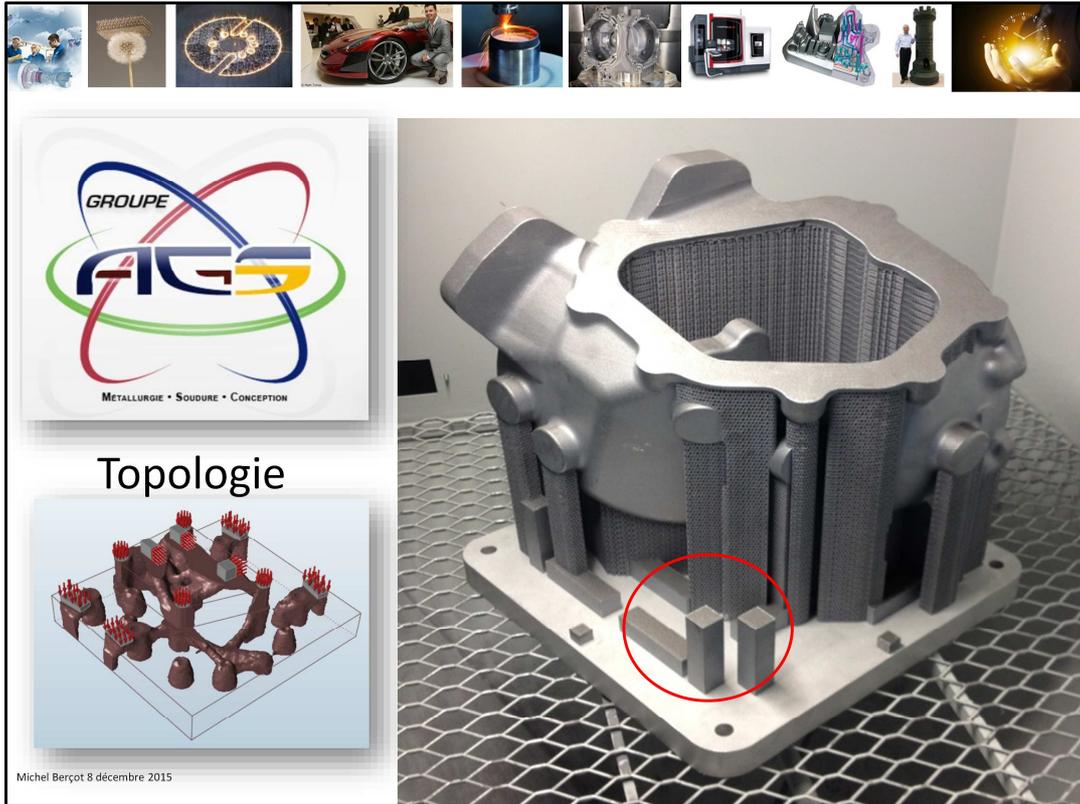


La qualité des pièces obtenues après fabrication additive et finition permet des homologations pour des secteurs aussi exigeants que l'aéronautique, le spatial, le médical.

Addition de matière par fusion de poudre métallique



Une pièce en cours de dépoudrage (*sortie de fabrication*) dans une machine de fusion métal.

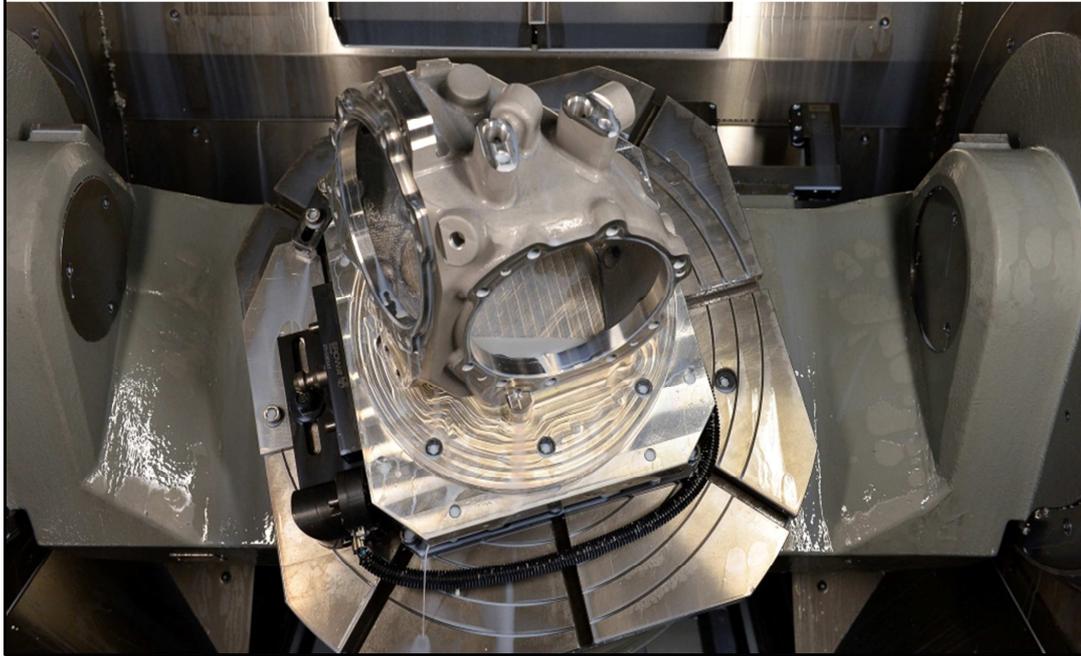


Les contrôles topologiques et les optimisations sont indispensables dans cette période d'innovations technologiques.

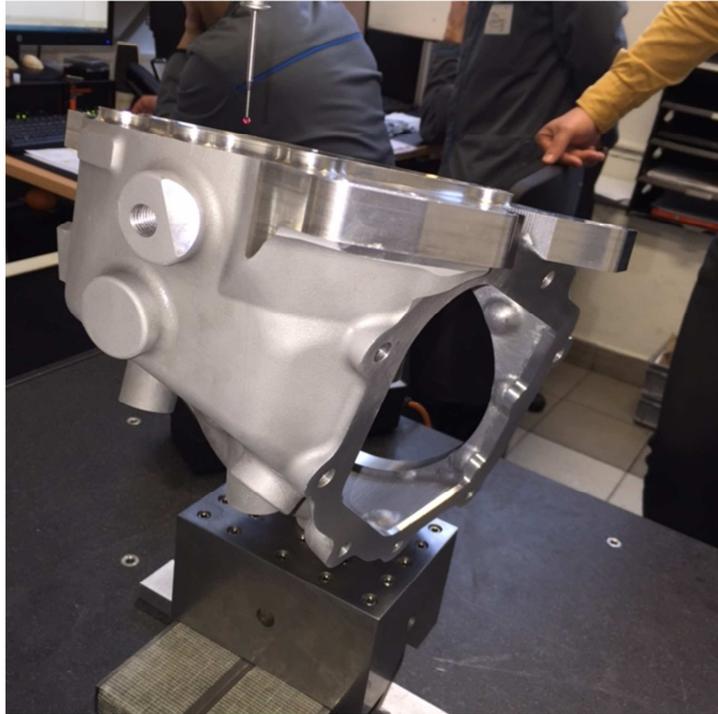
Chez AGS fusion, le conducteur machine est actuellement un docteur en matériaux!!!
Des éprouvettes (*cerclage rouge*) sont coproduites pour vérifier la qualité du matériau produit.



Finition par enlèvement de matière sur centre d'usinage 5 axes



Les pièces ébauchées par fusion métal sont finies et calibrées par usinage. Ici sur centre 5 axes. L'optimisation topologique a aussi permis de maîtriser la fréquence de résonance propre de la pièce pour optimiser les conditions de coupe et donc améliorer la qualité de surface lors de l'usinage.

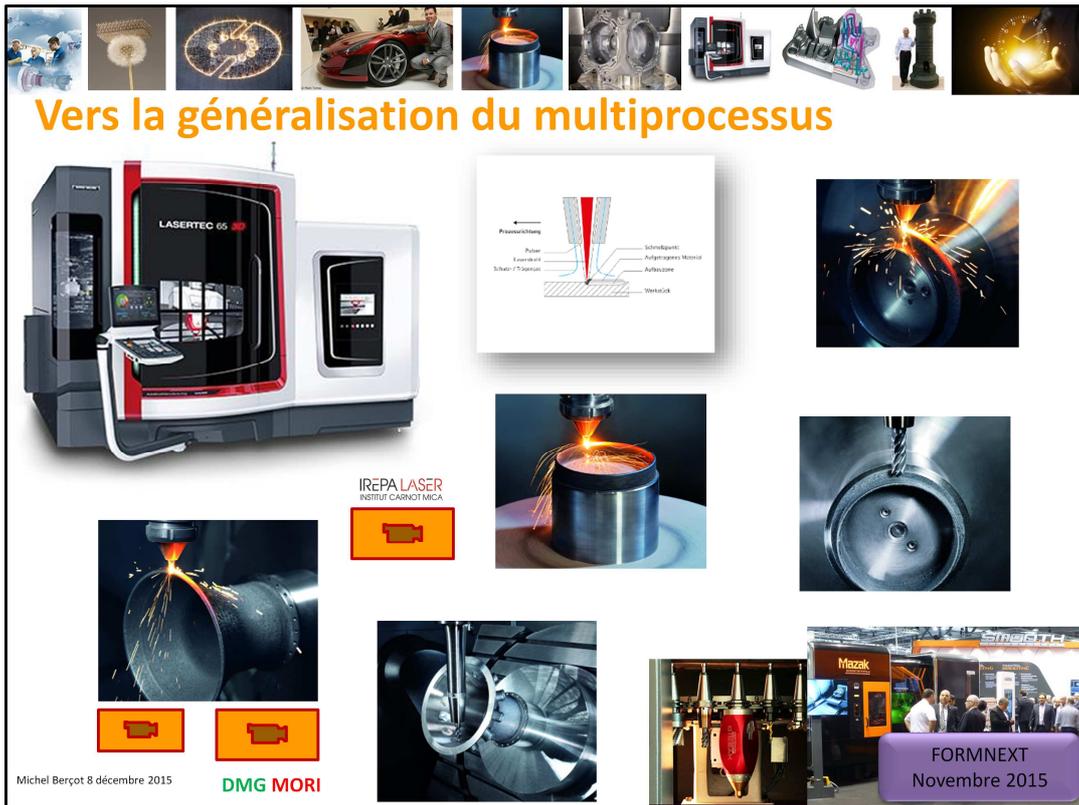


Michel Berçot 8 décembre 2015

A chaque étape de la réalisation, de nombreux contrôles permettent de vérifier la qualité des pièces:

- dimensionnelle,
- morphologique,
- structurelle...





La réalisation multiprocessus intégrés permet d'améliorer encore la productivité et la complexité des pièces obtenues. Ces technologies sont en cours de développement, en phase de maturation (*les traitements thermiques intermédiaires sont à résoudre*). L'intégration de ces technologies dans les référentiels était importante et urgente.



Principe



La fabrication rapide

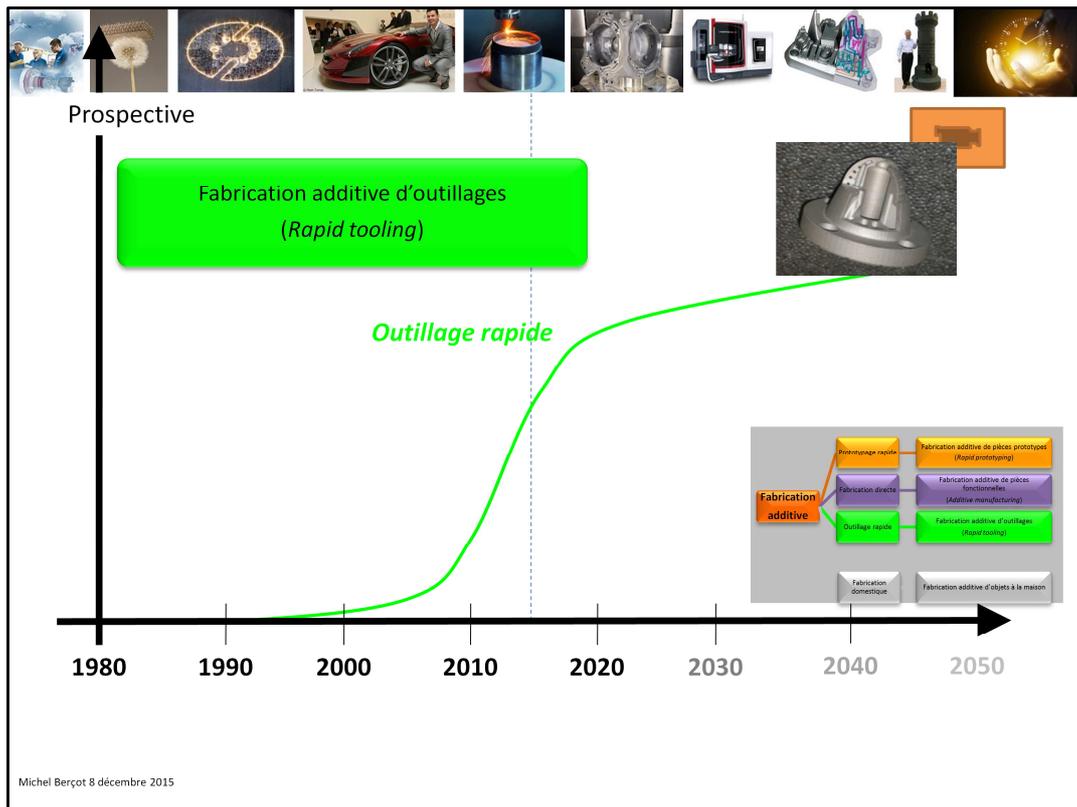


L'outillage rapide



Les évolutions

Michel Berçot 8 décembre 2015



La fabrication additive d'outillages est en plein développement. Intégrée depuis plusieurs années dans la réalisation des outillages d'injection plastique, de très fortes évolutions se font jour.





Une grande nouveauté est la réalisation ultra rapide d'outillages pour la validation de concept.

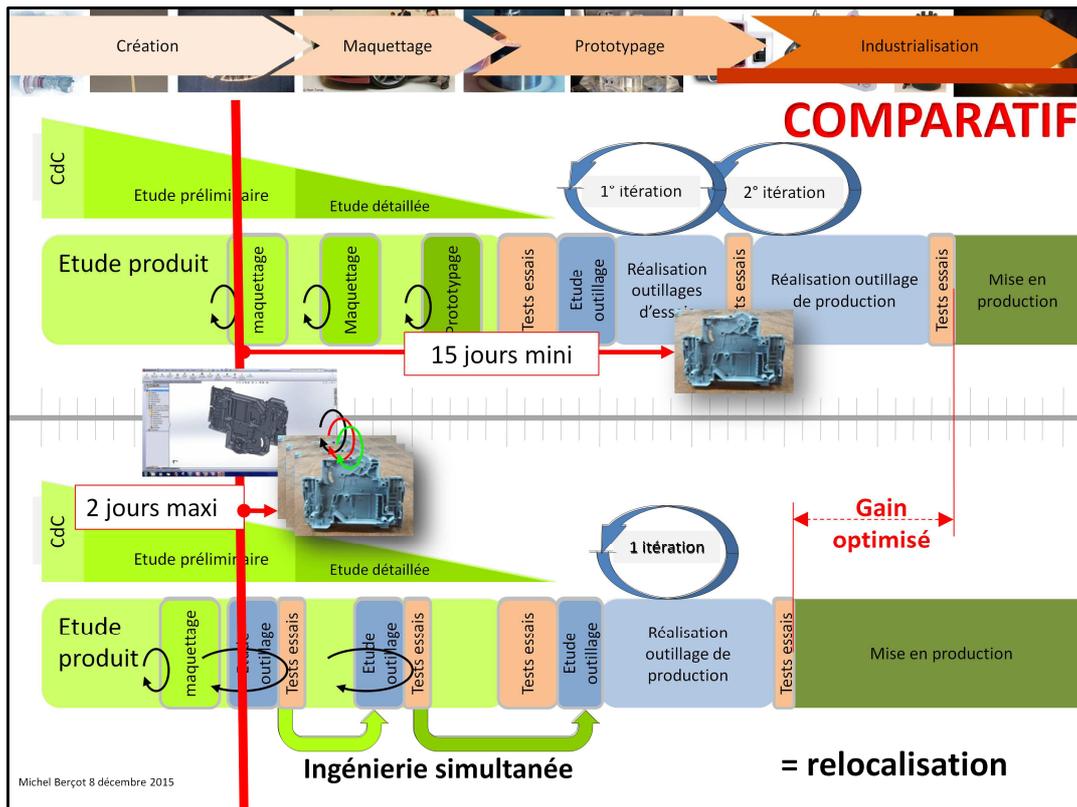
En injection plastique par exemple le passage du modèle CAO pièce à injecter à la pièce injectée peut se faire en quelques heures.

Ce qui permet de faire des prototypes fonctionnels vrai procédé, vraie matière très tôt dans les développements.

Jusqu'à 4 itérations dans une même journée. (*ces outillages de conception rudimentaire ne permettent que la réalisation de prototypes*). De nombreux projets de recherche sont en cours de développement.

La pièce sera donc conçue et pourra être testé et optimisée dans sa véritable configuration, dans son véritable environnement d'usage.

Le cahier des charges des outillages de production sera donc précis. Les risques sont minimisés pour la réalisation des outillages de production et leur mise en service (*outillages pouvant atteindre plusieurs centaines de milliers d'€*).



Le comparatif donne la mesure de l'enjeu, plus la pièce à injecter est complexe plus l'écart augmente.

Outillage prototype traditionnel :

- 15 jours minimum plusieurs milliers d'euros.
- le nombre d'itérations est limité.

Outillage prototype par fabrication additive:

- moins de 2 jours quelques centaines d'euros.
- le nombre d'itérations peut être important.

Aujourd'hui des limites existent quant à la précision, la complexité, le volume des pièces obtenues, les matériaux injectables.

Chaque jour les limites sont repoussées.

Création
• Concept, modélisation

Maquettage
• Aspect, ergonomie

Prototypage
• Tests essais

Industrialisation
• vrai procédé

Idée → Production

Les parties actives de l'outillage de production

Réalisées par fabrication additive

Michel Berçot 8 décembre 2015



La fusion métal

Pour une optimisation de la thermique "outillage"

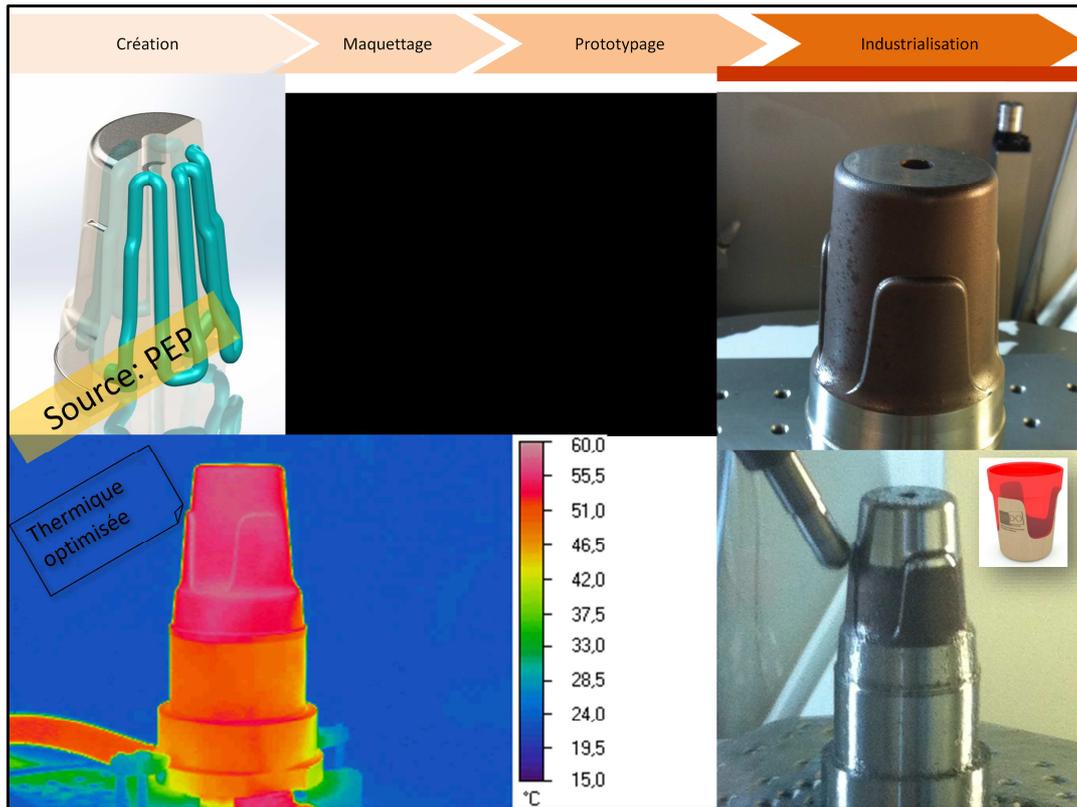


Source: PEP

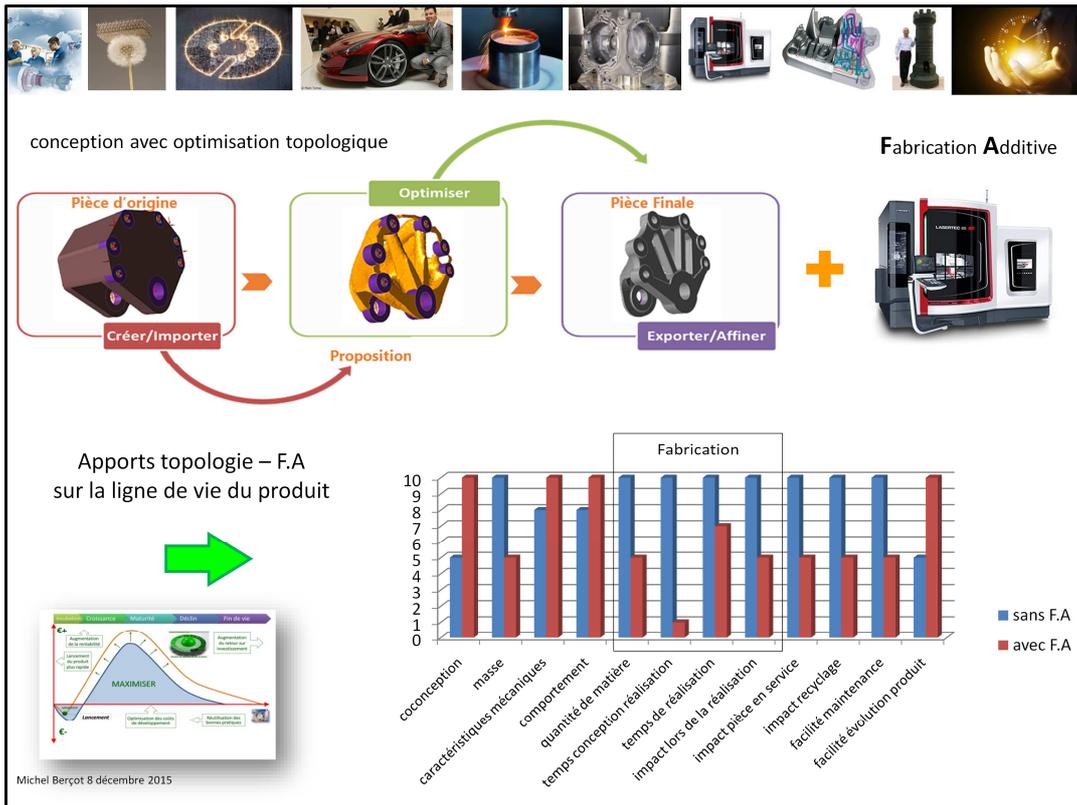
Travailler la géométrie intérieure des pièces

Michel Berçot 8 décembre 2015

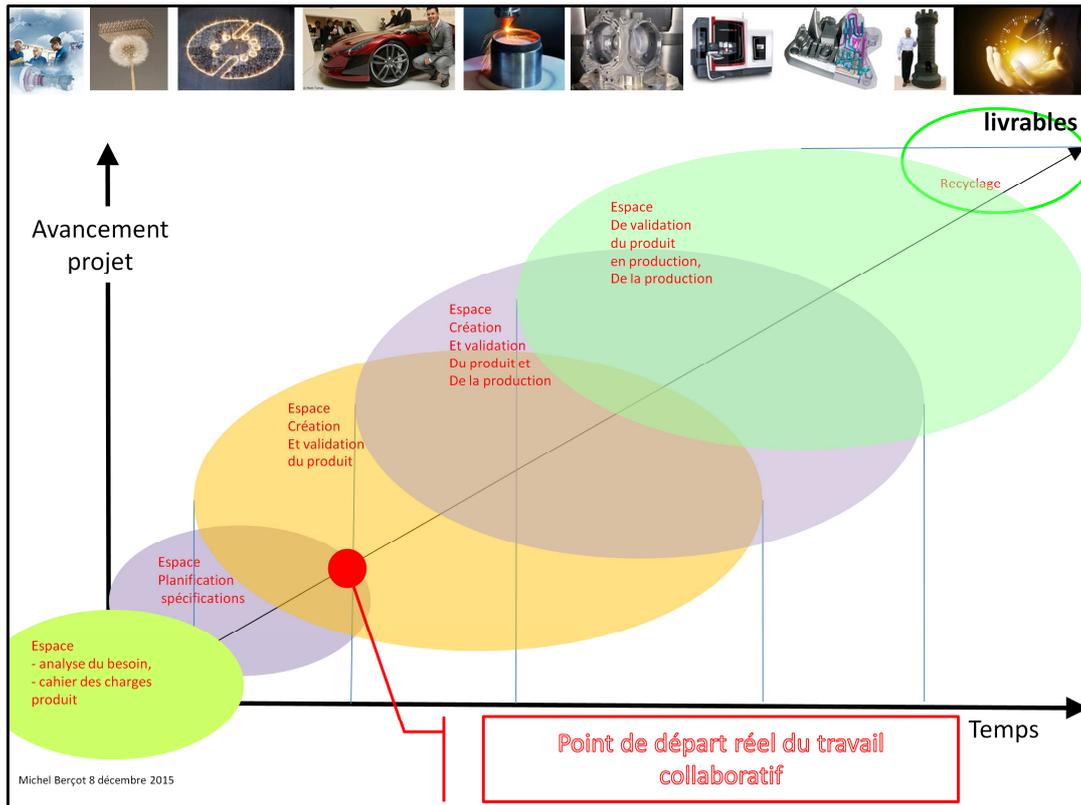
Les parties actives des outillages de production sont optimisées par les possibilités offertes par la fabrication additive.
Ici canaux de régulation thermique des empreintes d'outillages d'injection plastique.
Sur les outillages de découpage travaillant à haute cadence, diminution de la masse des pièces en mouvement par exemple.



Les éléments actifs de outillages, ébauchés "au plus près" par fabrication additive sont finis par usinage (*seule la passe de finition devient nécessaire*) puis polissage. La thermique de l'élément moulant a été optimisée (*voir vidéos*): Le fluide de régulation circule à l'intérieur de l'élément moulant. Ce fluide a une température la plus proche possible de la température optimale d'injection afin que la matière injectée dans le moule le soit dans les meilleurs conditions possibles. Pendant la phase de refroidissement il est assez facile de gérer la vitesse de refroidissement (*pour maîtriser la cristallisation par exemple*). Dès que la température critique est atteinte, il est possible d'accélérer le refroidissement pour optimiser la productivité (*moule "chaud froid"*).



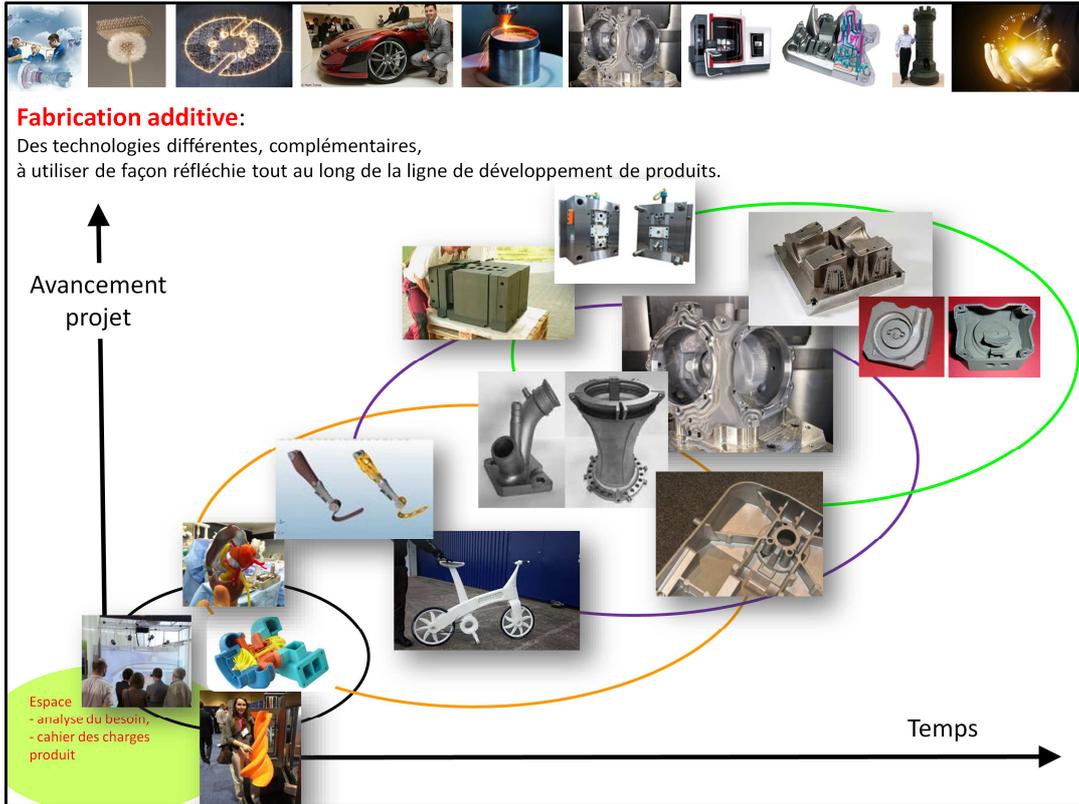
L'ensemble des technologies présentées amène à des méthodes de conception nouvelles, des moyens de réalisation complémentaires de ceux plus connus. La ligne de vie des produits s'en trouve changée et optimisée. La mise sur le marché (*lancement*) peut être accélérée, la rentabilité plus rapidement atteinte, le déclin retardé voir décalé. Sur le tableau, quelques points clé permettent de mieux visualiser les apports de la fabrication additive.



Les principaux espaces du développement de projet.

Les intersections de espaces correspondent à l'ingénierie (*presque*) simultanée. Plus les intersections augmentent, plus la droite (*qui va vers les livrables*) se redresse et plus le temps de développement diminue.

Il est important d'avoir de bonnes idées de produits, mais il faut arriver vite sur le marché.



Répartition des technologies de fabrication additive (*vues à travers les pièces obtenues*) en fonction des objectifs visés.

Du maquettage à l'outillage de production.

Il est important de choisir la bonne technologie, au bon moment pour obtenir le bon résultat afin de minimiser les risques d'erreurs.

Ces validations fréquentes permettent d'éviter les retards générés par des erreurs cumulées.



Principe



La fabrication rapide



L'outillage rapide



Les évolutions

Michel Berçot 8 décembre 2015



Données du marché

35 % de croissance entre 2013 et 2014

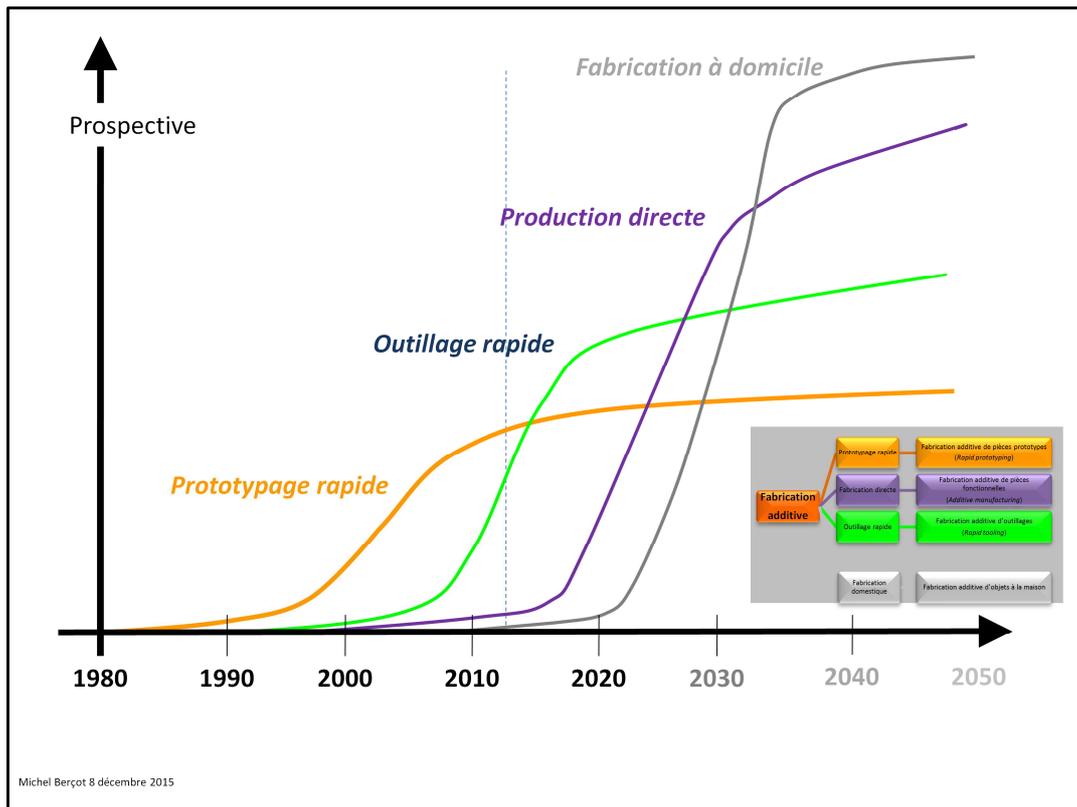
- Un marché qui dépasse déjà les **4,1 milliards** de dollars et devrait atteindre **21 milliards de dollars en 2020.**

(source Wohlers Associates)

- l'impression 3D est une technologie révolutionnaire dont les applications modifient considérablement les modes de conception et de production dans la majorité des secteurs.
(dentaire, médical, aéronautique, bijouterie, etc.).

Michel Berçot 8 décembre 2015

La fabrication additive est en très forte croissance, les prévisions sont étourdissantes.



Ce dossier ne traite pas de la fabrication à domicile.
 Ces équipements vont changer les marchés, les technologies doivent s'améliorer, la création des modèles numériques personnalisés est encore un problème mais les innovations sont nombreuses, internet et sa généralisation sur les téléphones portables commence à résoudre les plus grosses difficultés.



LUSINE NOUVELLE
La France ne doit pas rater le cap de la fabrication additive métallique.



Michel Berçot 8 décembre 2015



Questions ?



MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION NATIONALE,
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE



**VOUS AVEZ
DES QUESTIONS
NOUS AVONS
PEUT ÊTRE DES ~~DES~~ REPONSES**

Michel Berçot 8 décembre 2015