

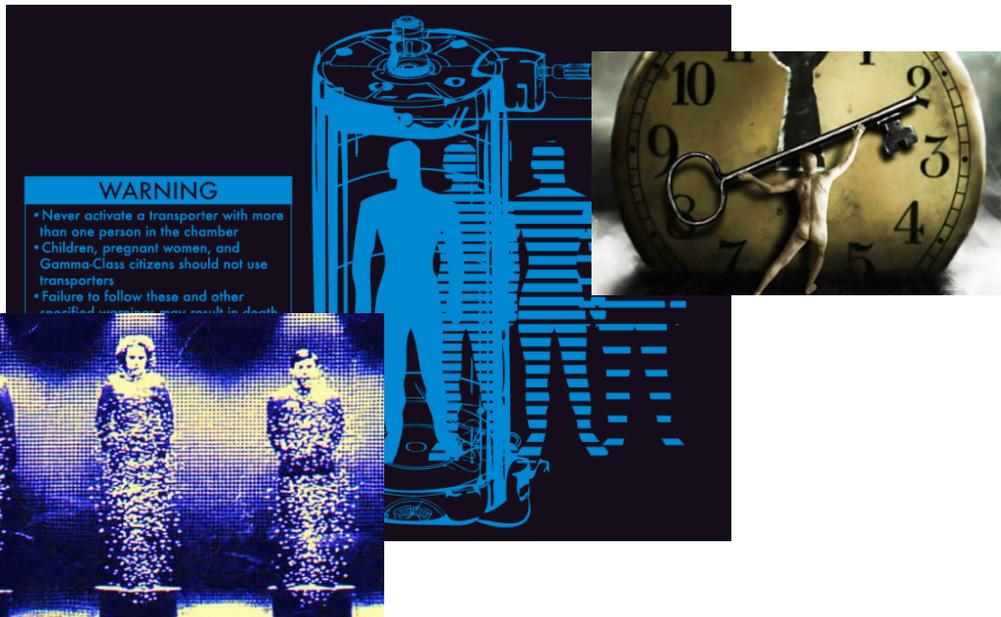
Fabrication additive mythe ou réalité ? : De l'historique à la prospective ; de la science aux perturbations socio-économiques actuelles



André Jean-Claude
UMR 7274 CNRS-UL Nancy
4-7 Juillet 2017 - Marseille



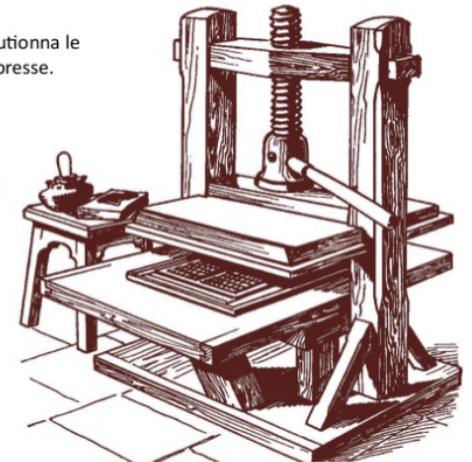
Fabrication additive mythe ou réalité ?



Tout a démarré en 1440...
... Lorsque Gutenberg révolutionna le monde, avec sa machine à presse.

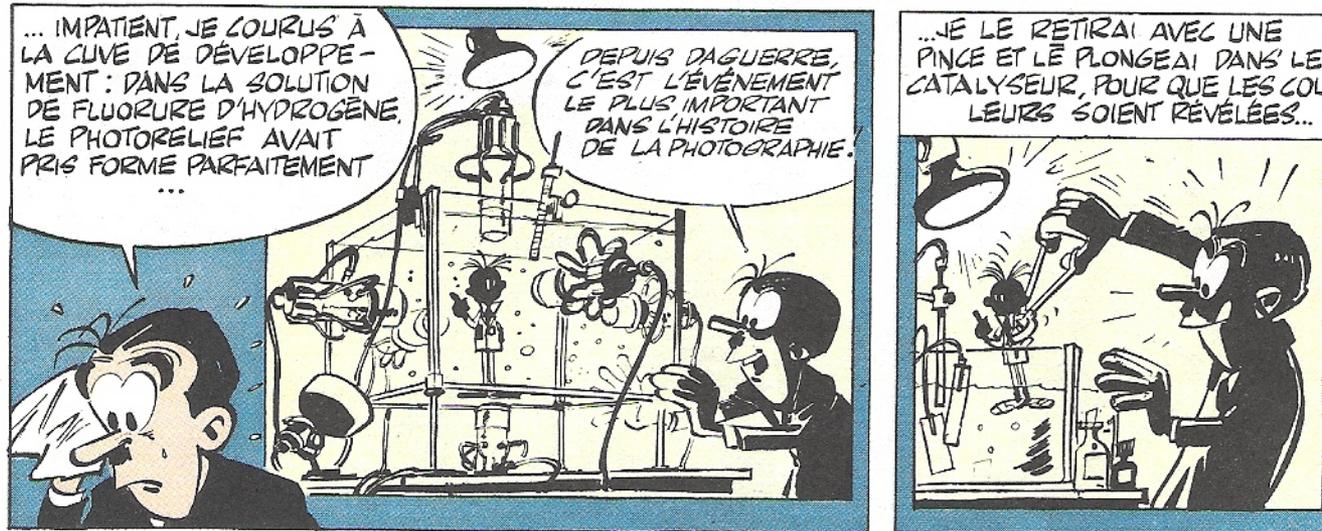
AVANT :
Les livres étaient recopiés à la main. Long et rébarbatif !

APRES :
Les livres sont imprimés.
Tout le monde a accès aux livres.



1975 Franquin/Spirou

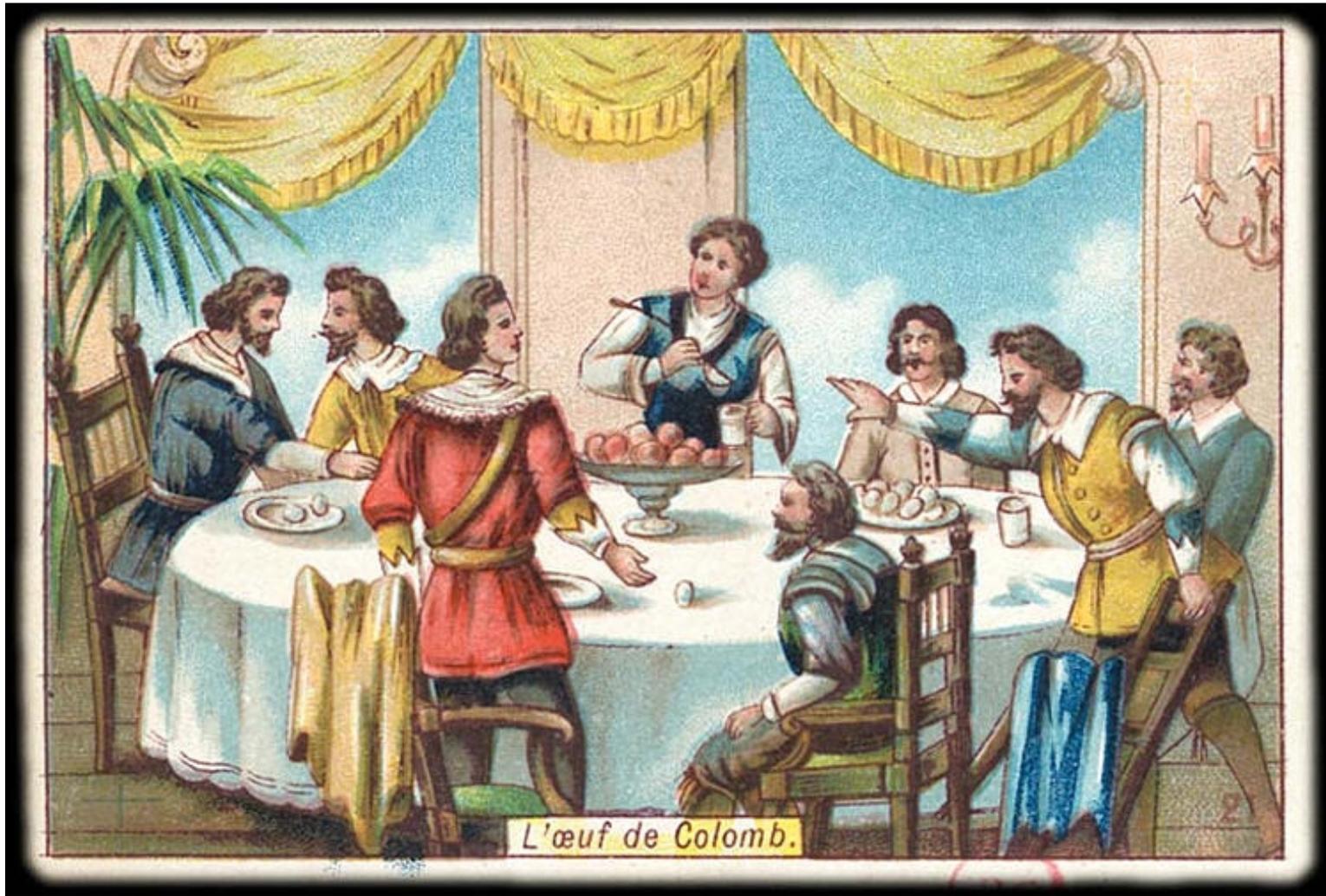
3D photography



et 31 ans après

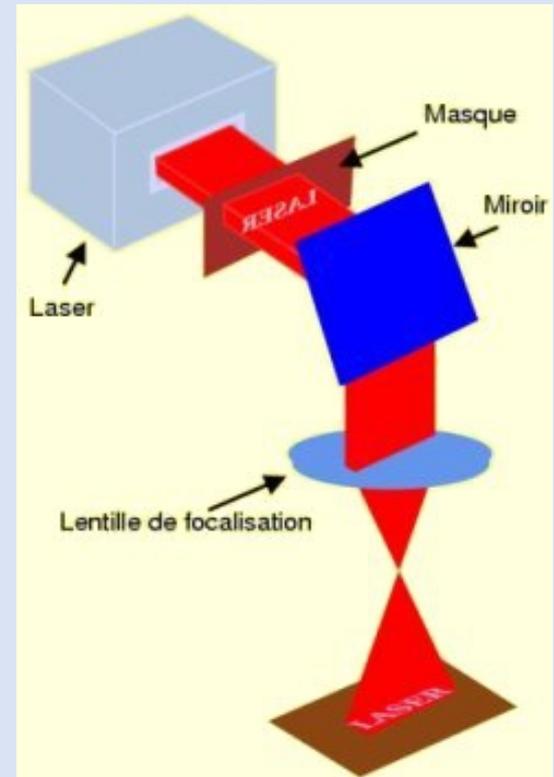
- J.C. ANDRE, L. GALLAIS-DURING, C. AMRA, French Patent 16-59211 - 28-09-2016

1984 - L'œuf de Colomb ?

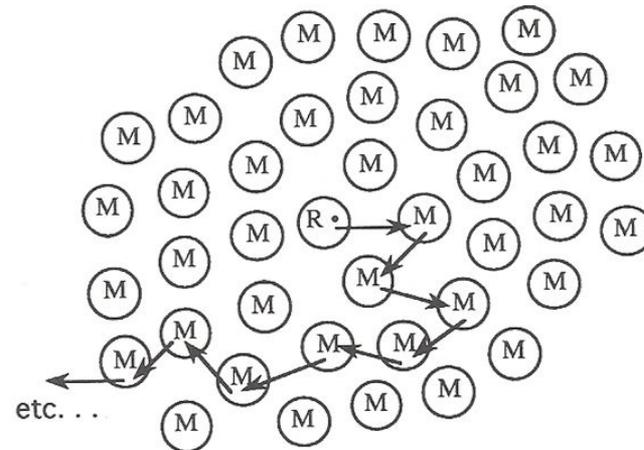
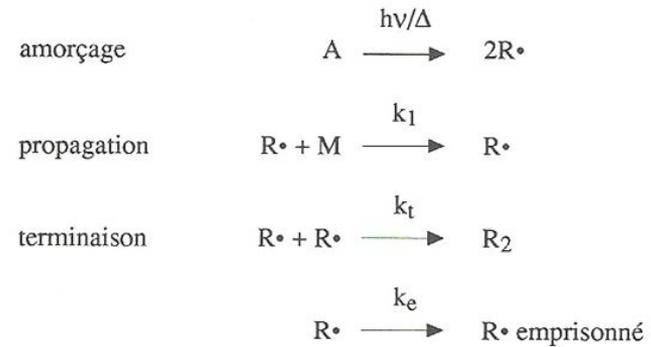
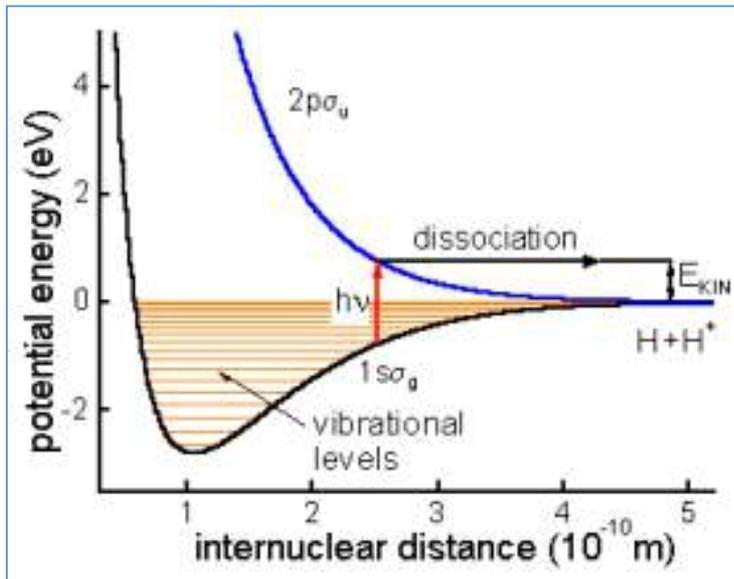


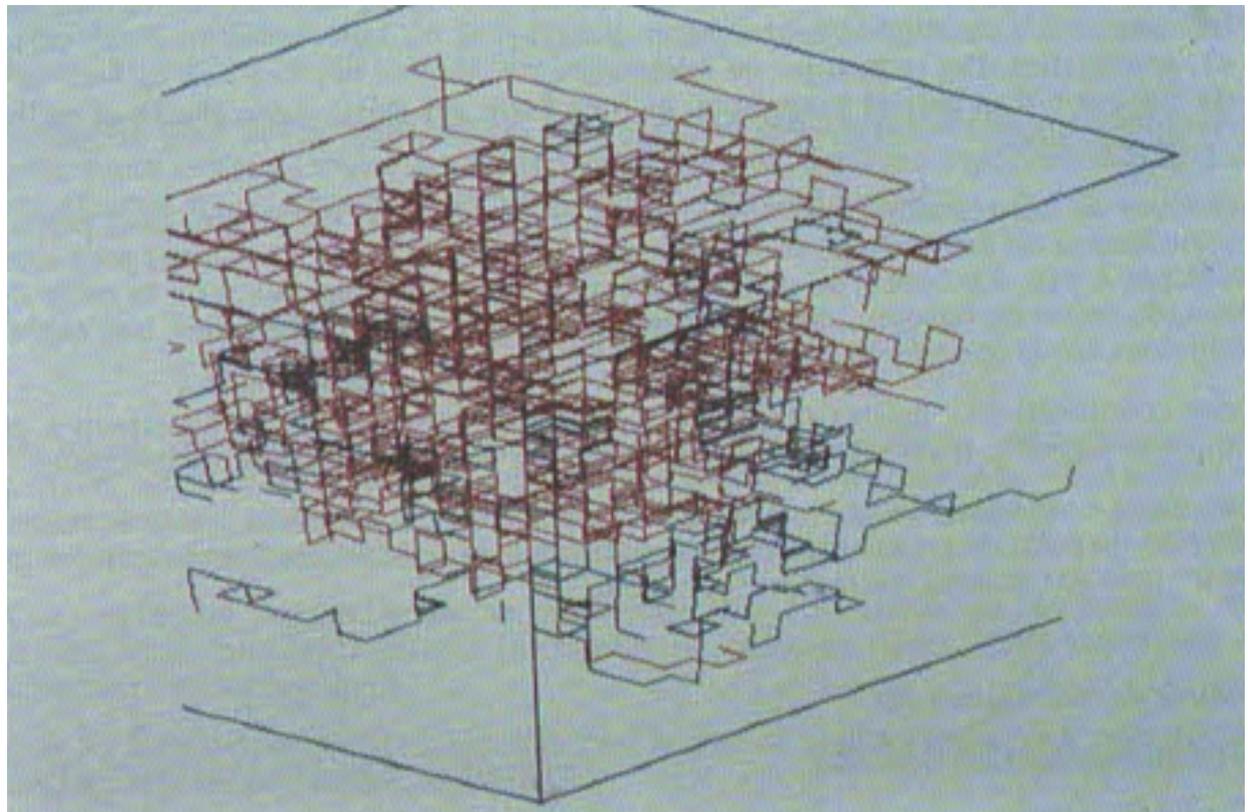
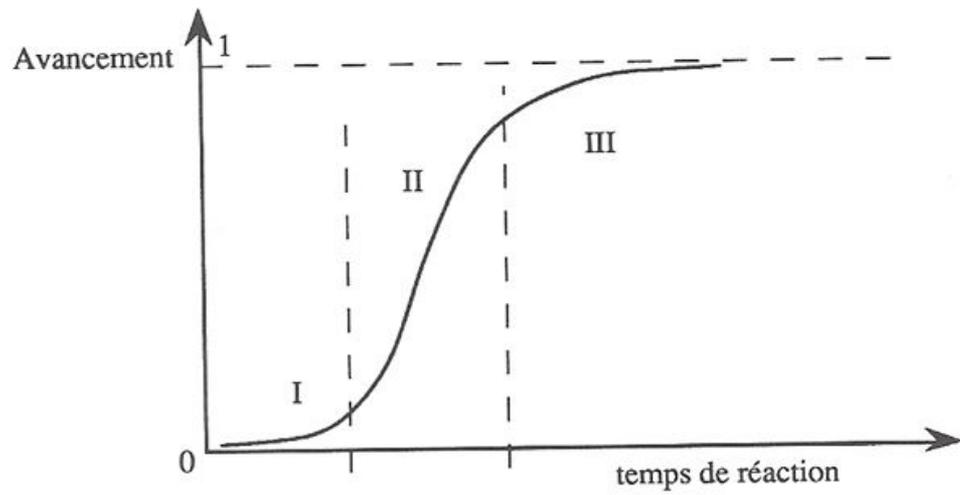
Éléments en présence (1984)

- Ordinateurs
- Photopolymères
- Amplification par chaînes
- Lasers
- CAO
- Commande numérique
- Miroirs galvanométriques
- Masques dynamiques

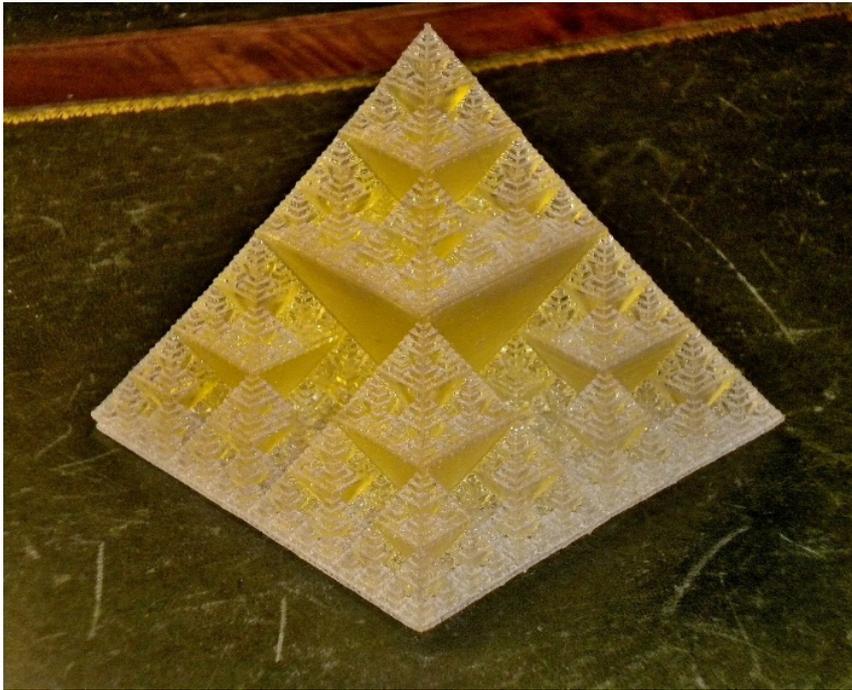


Base réactive

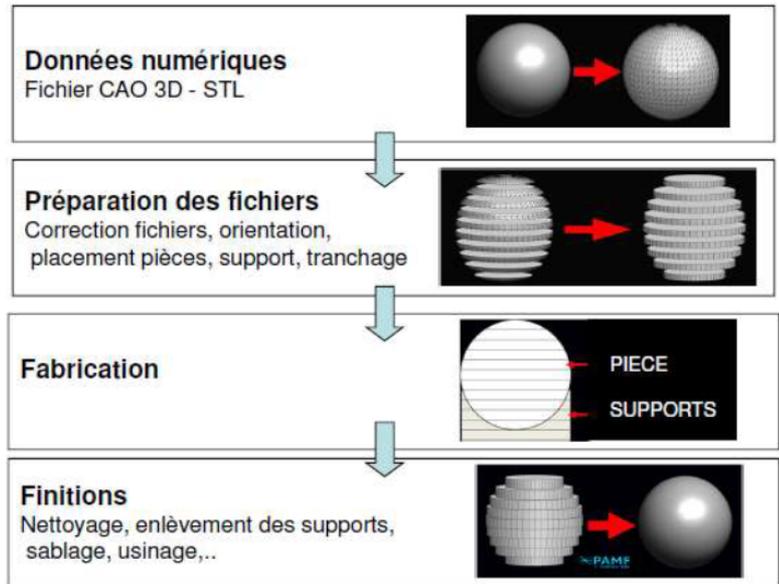
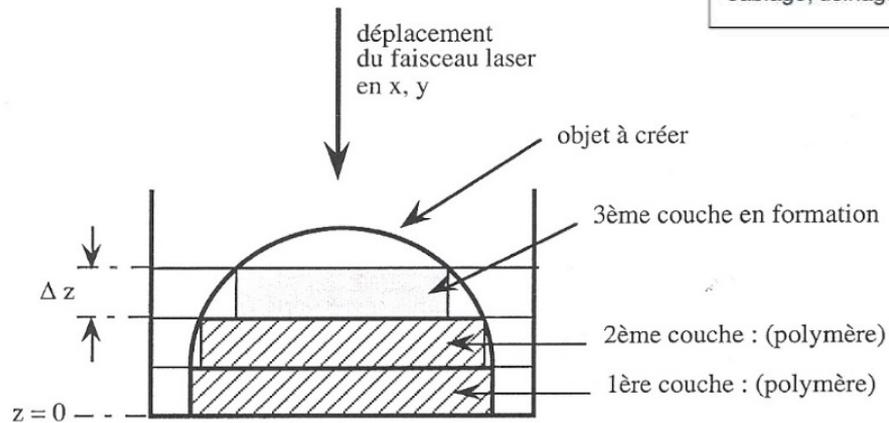
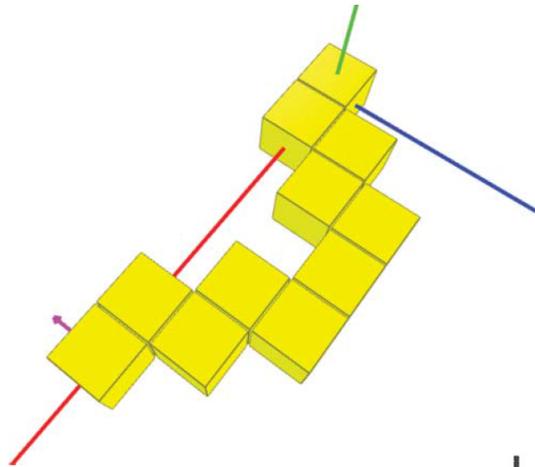




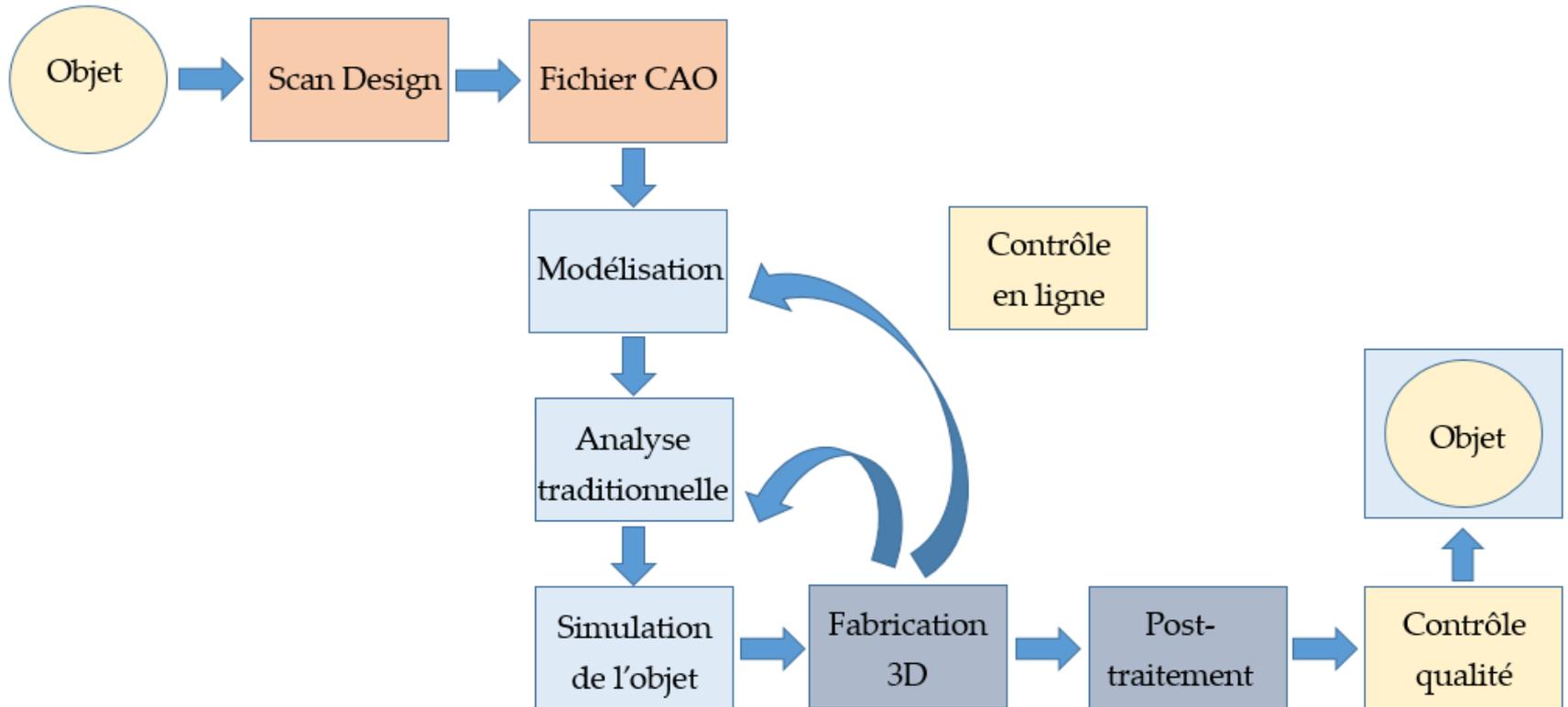
Rappel historique des procédés 2D1/2



Idée



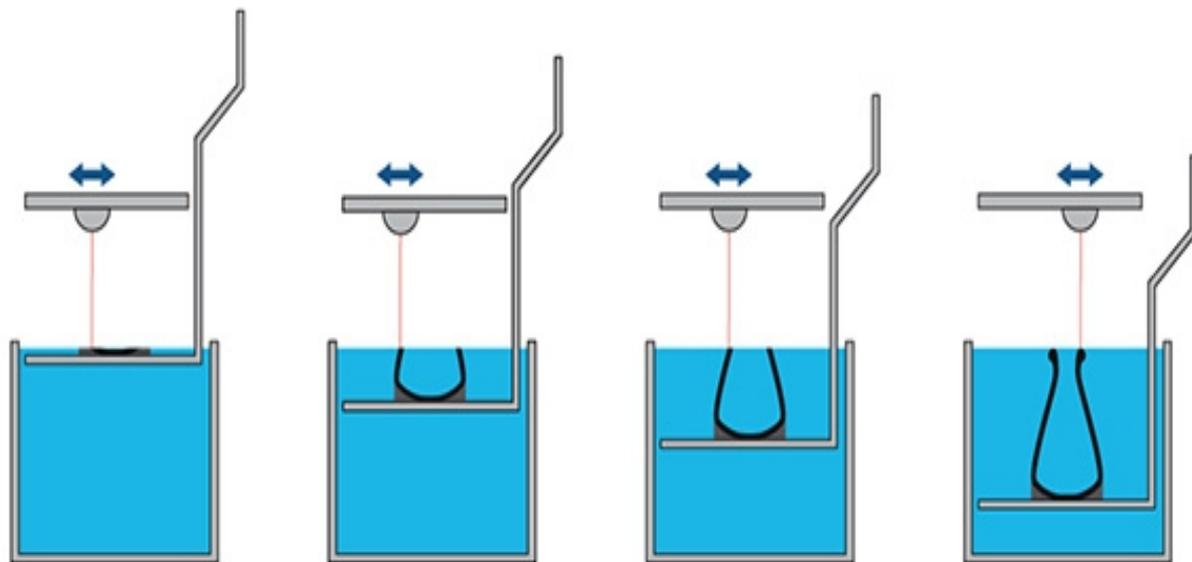
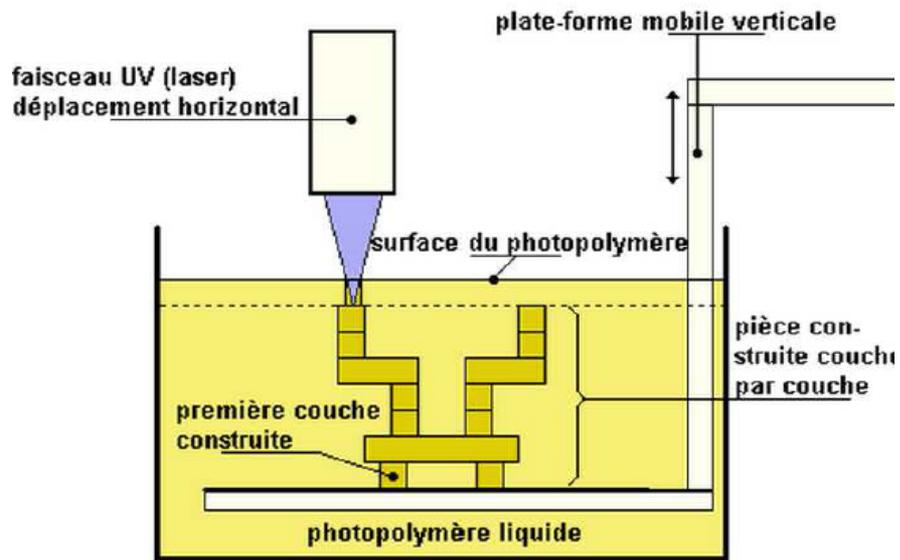
Digital Thread for Additive Manufacturing (Opérations unitaires en Fabrication additive)



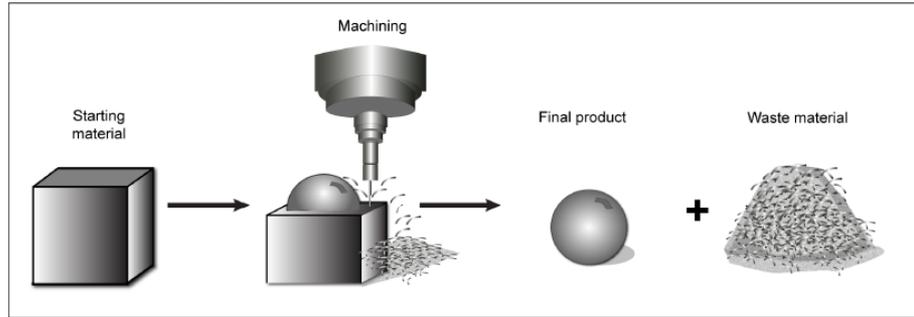
1984 : Premier brevet relatif à l'impression 3D

- Le premier dépôt de brevet de technique de fabrication additive est français
- Brevet pour le compte de la compagnie industrielle des Lasers CILAS ALCATEL
- Déposé par :
 - Jean Claude ANDRE
 - Alain Le Méhauté
 - Olivier De Witte
- Date : le 16 juillet 1984
- N° du brevet : FR 2567668

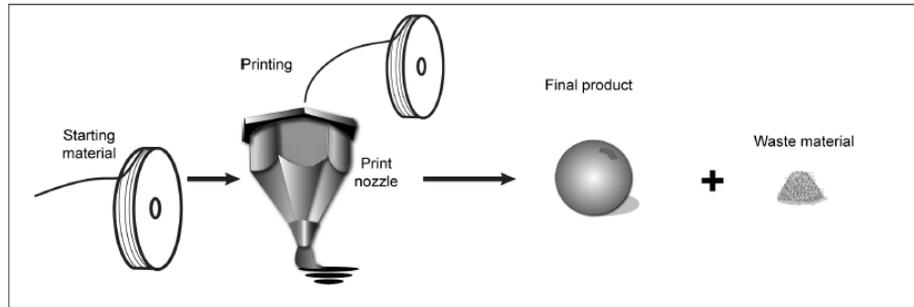




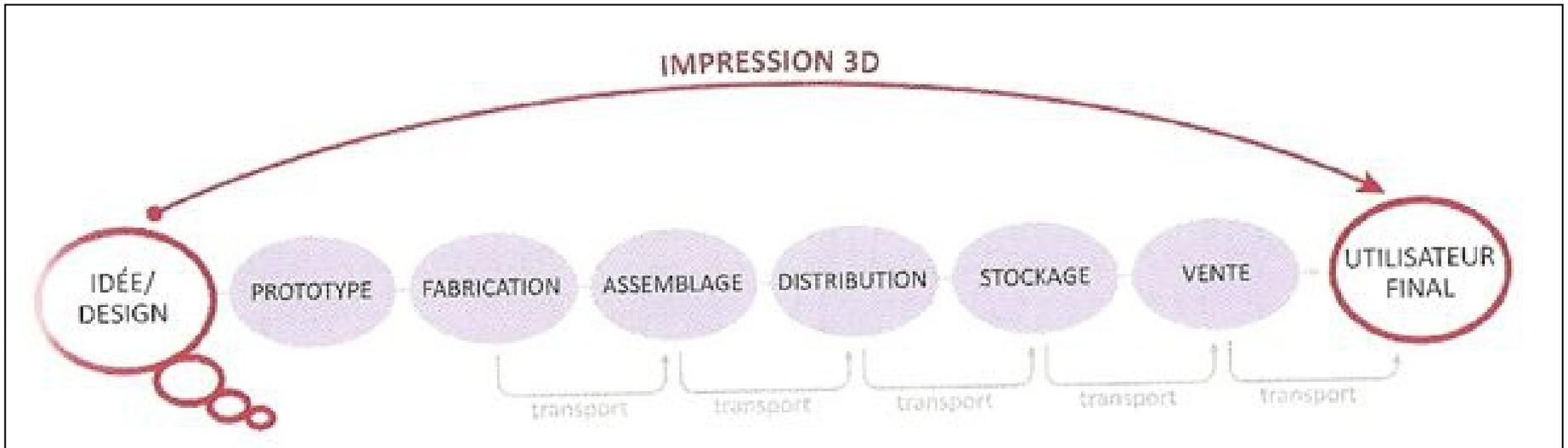
Subtractive manufacturing



Additive manufacturing

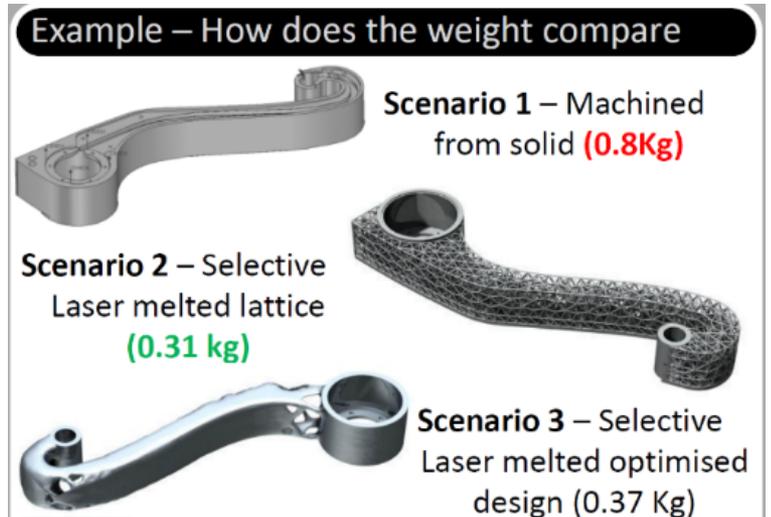
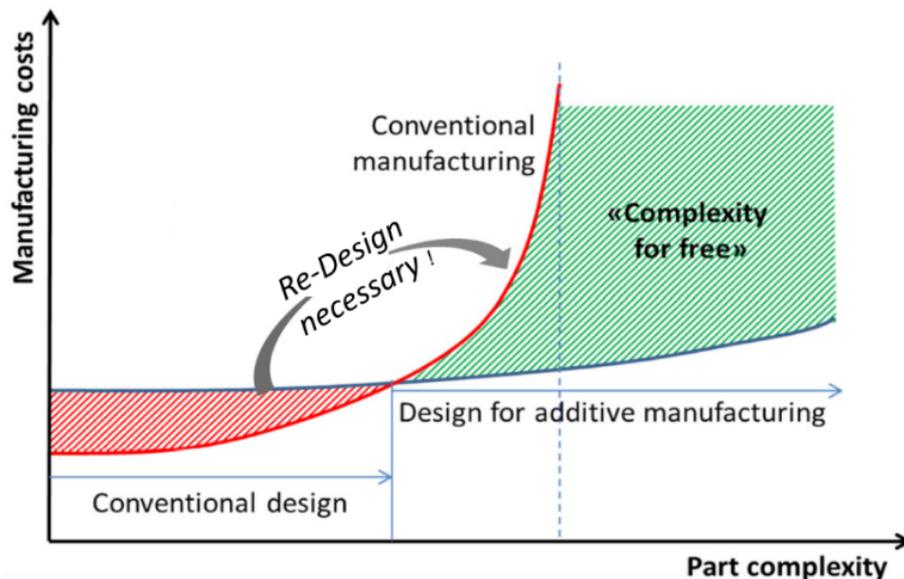


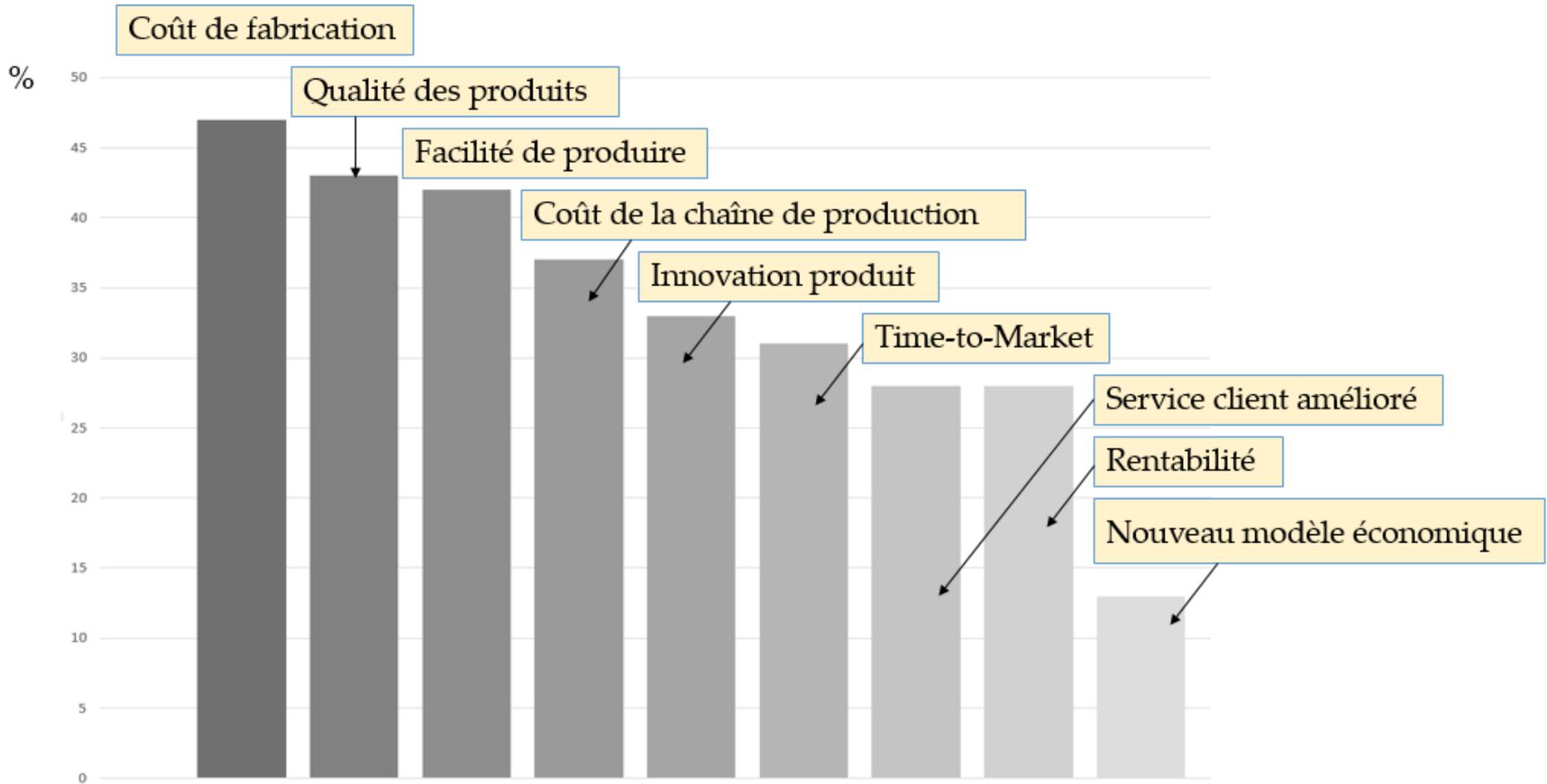
Sources: GAO (analysis); Art Explosion (images). | GAO-15-505SP



Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> • Production de pièces à géométrie complexe (reliefs, cavités) • Objets réalisés avec de bonnes propriétés mécaniques et thermiques • Vitesse et facilité d'utilisation • Diversité des matières premières utilisables • Stabilité du produit fini • Densité de l'objet ajustable 	<ul style="list-style-type: none"> • Filament de matière difficile à maîtriser • Précision d'impression 3D moyenne selon l'imprimante et le matériau utilisés • Objet imprimé obligatoirement monochrome et monolithique • Aspect médiocre : fils fondus visibles à l'œil nu • Taille limitée des objets imprimés • Faible recyclabilité des matériaux imprimés en 3D • Coûts élevés (technologie, matériaux) • Faible résistance des pièces fines (pression, température) • Limites au niveau des logiciels (reproductibilité partielle)
Opportunités	Menaces
<ul style="list-style-type: none"> • Forte demande pour le prototypage rapide • Dépôt de matière fondue : procédé le plus adapté et abordable pour les imprimantes 3D personnelles 	<ul style="list-style-type: none"> • Autres procédés plus adaptés à l'industrie (SLA, SLS) • Techniques réalisant la quadrichromie

Complexité (presque) gratuite

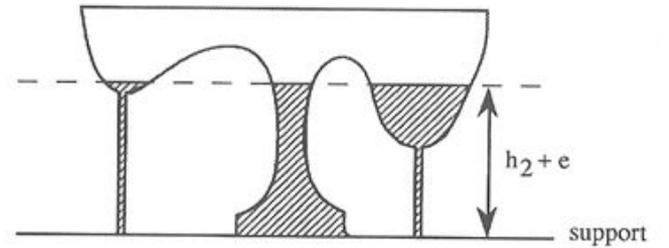
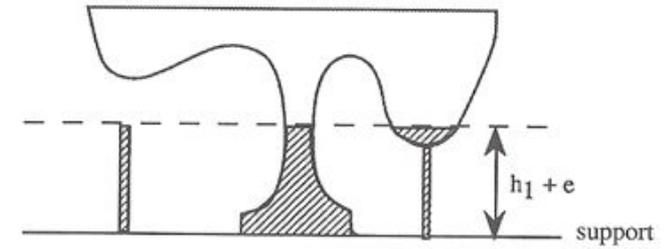
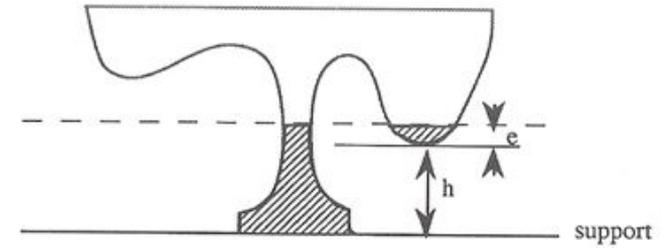
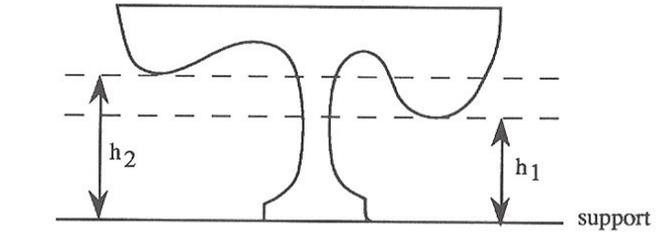
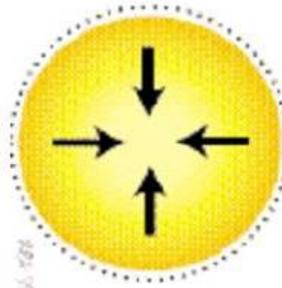
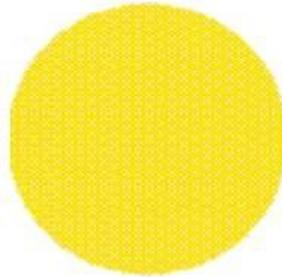
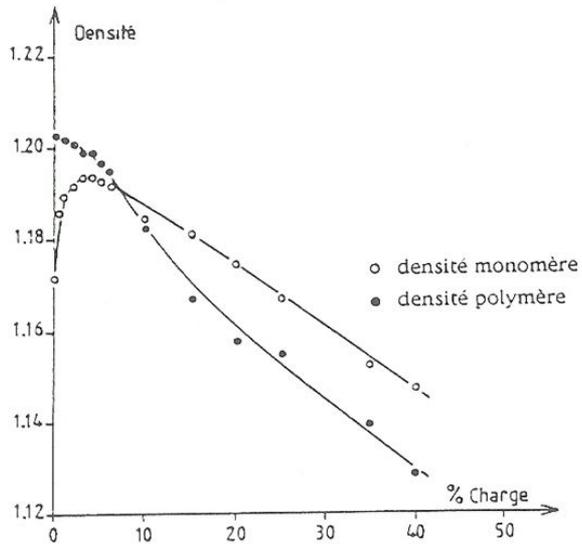




Mais, l'enfer est dans le détail...

- Supports,
- Retrait volumique,
- Viscosité,
- Déformations,
- Rapidité,
- CAO,
- Etc.





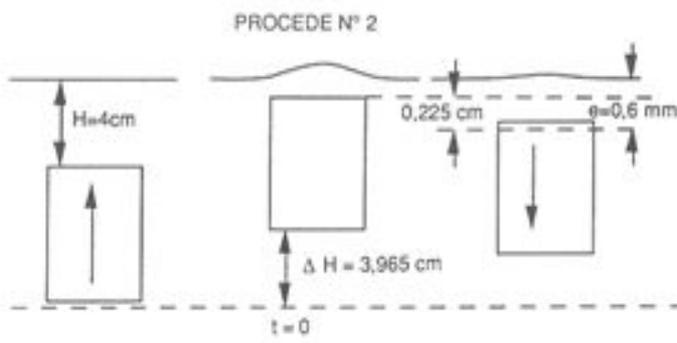
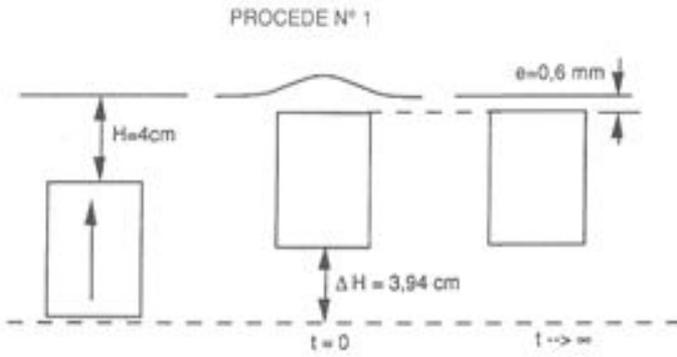


Figure 12 – Deux méthodes de mise en place des couches.

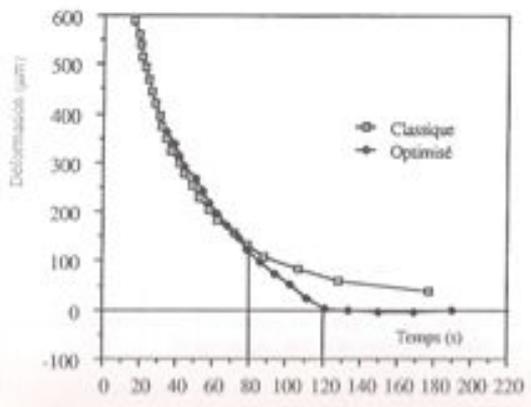
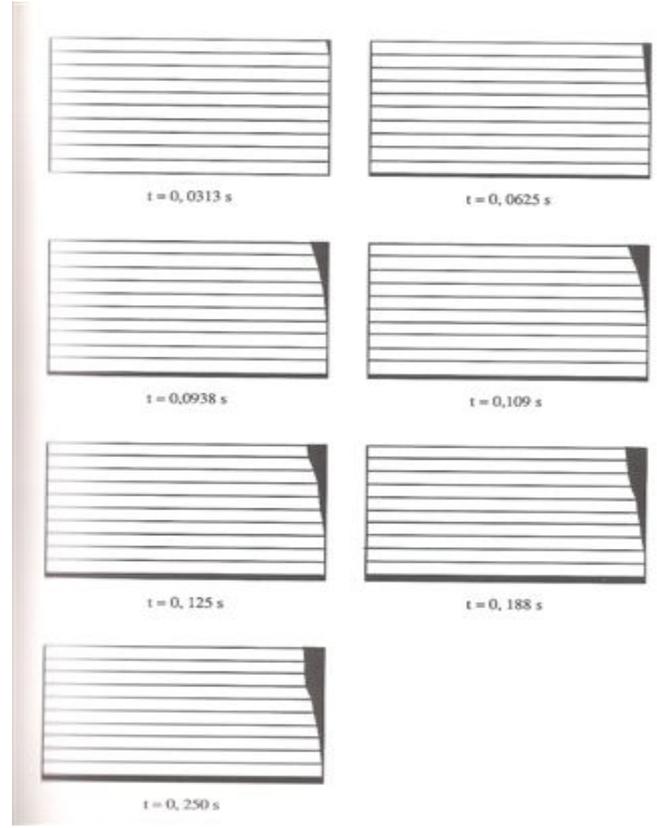
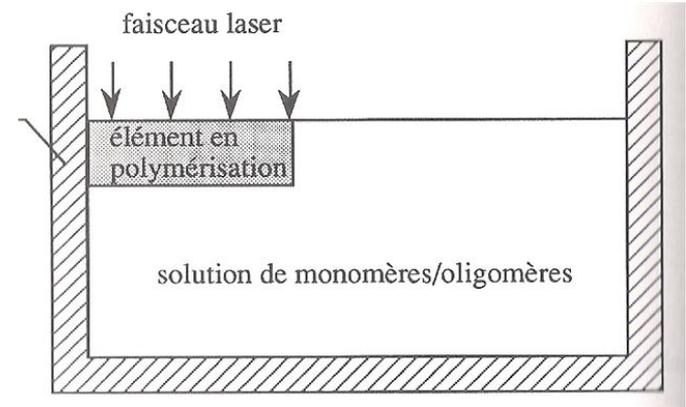
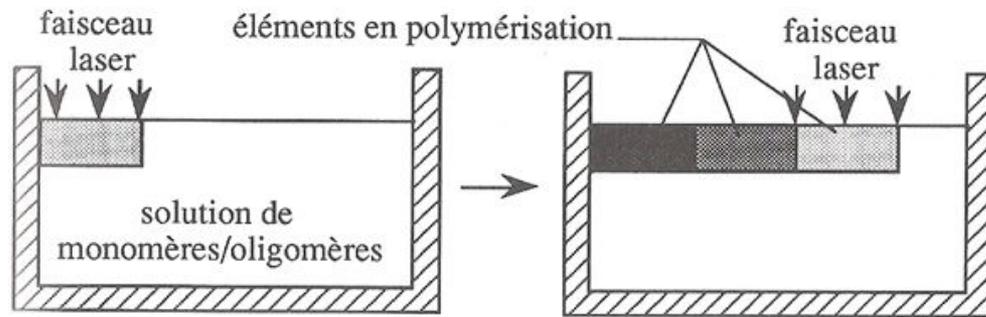
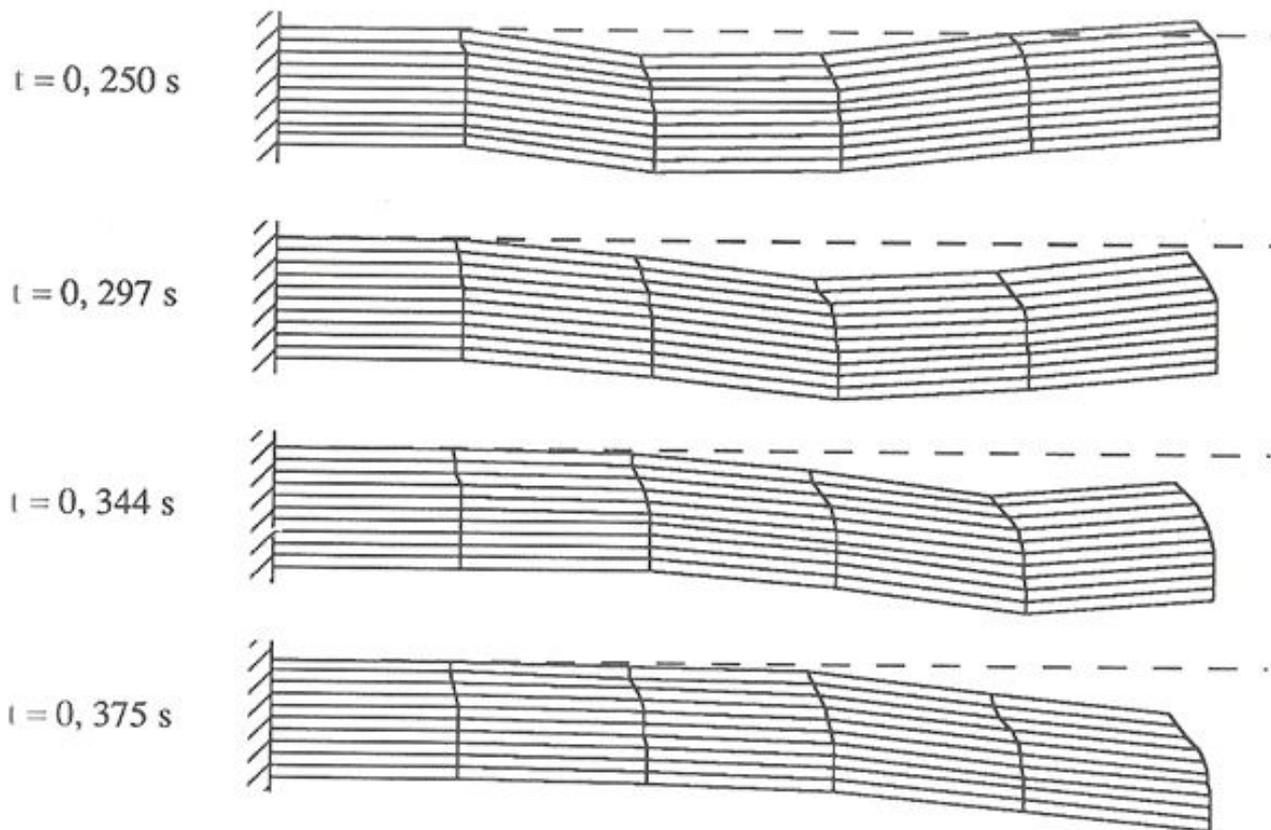


Figure 13
Comparaison des deux procédés.

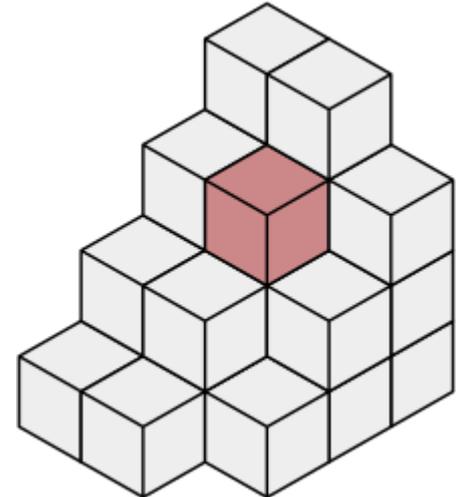
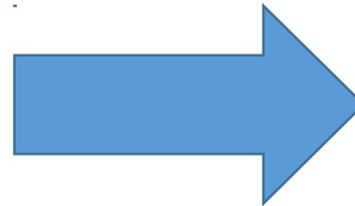
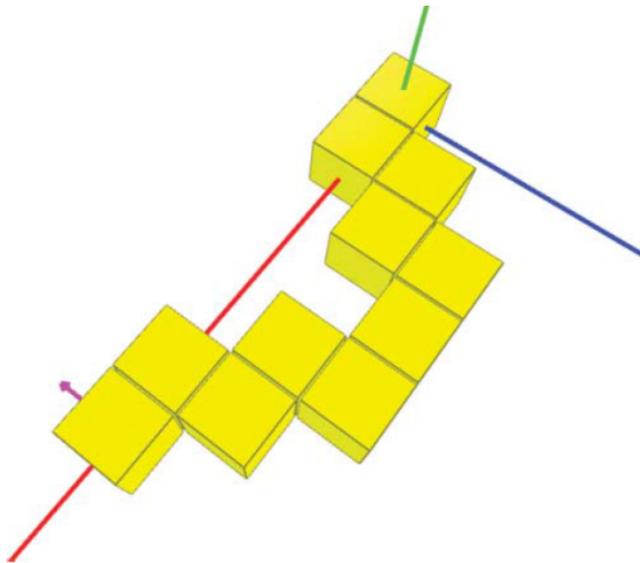
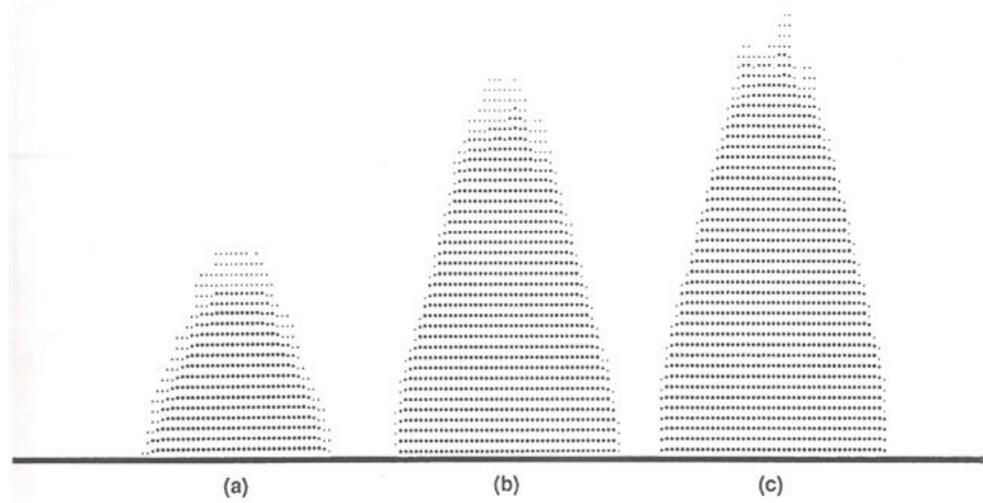


à $t = 0$: polymérisation
du 1^{er} élément.

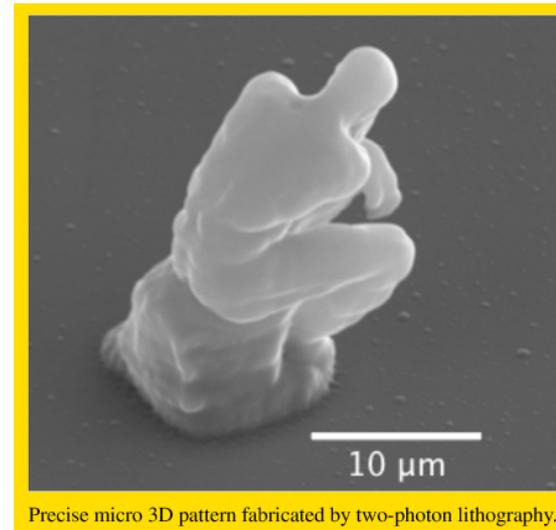
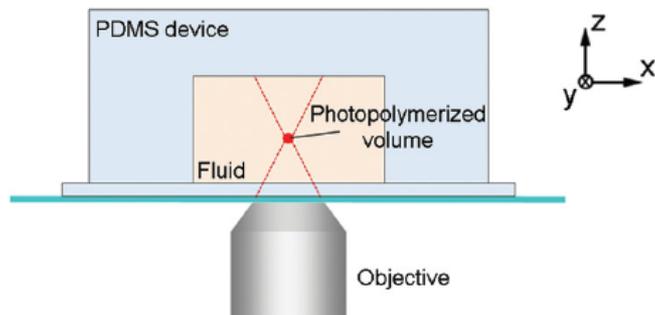
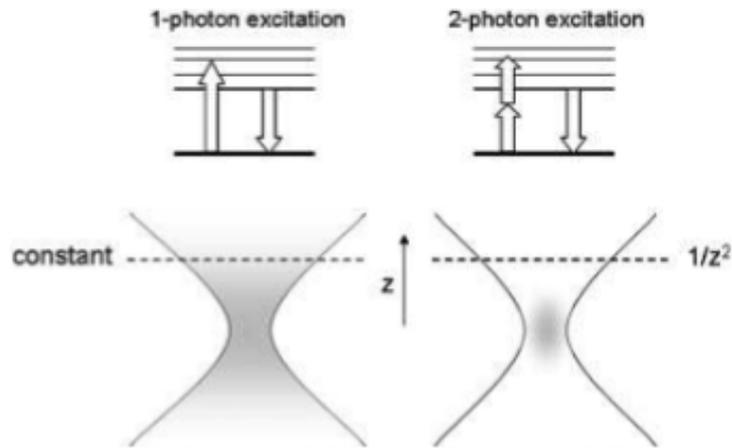
polymérisations successives
d'éléments mitoyens.

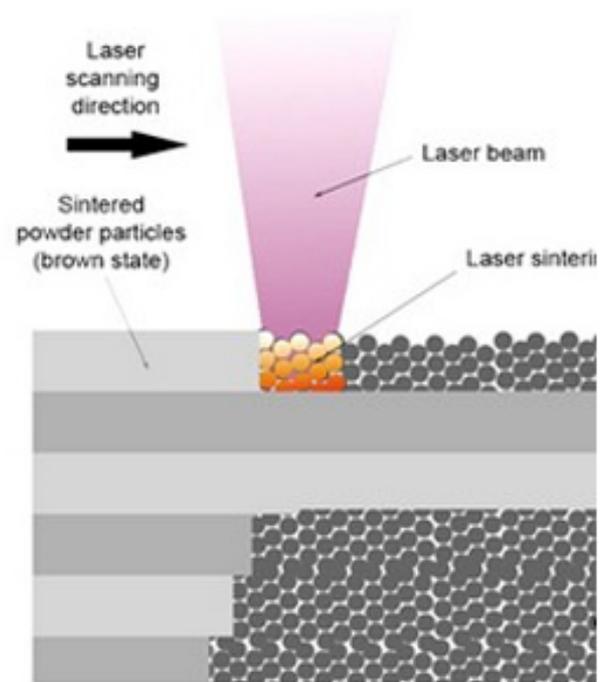
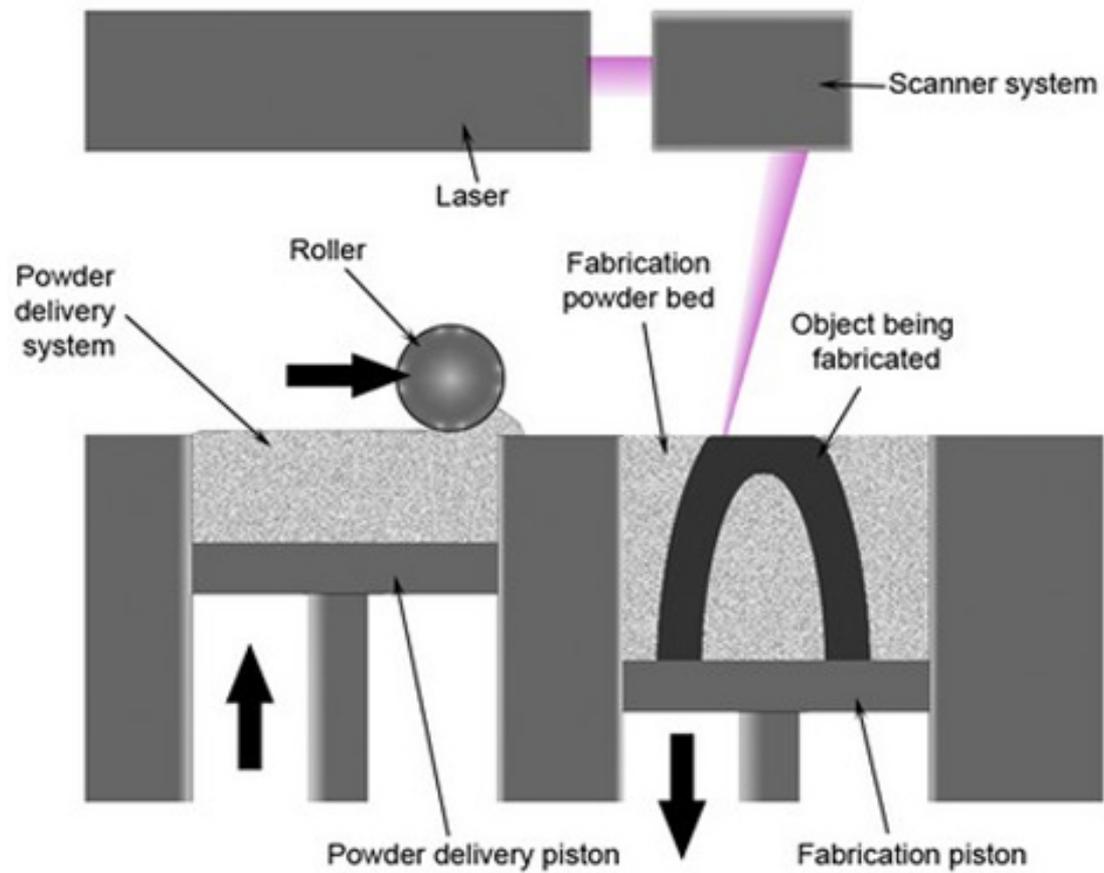


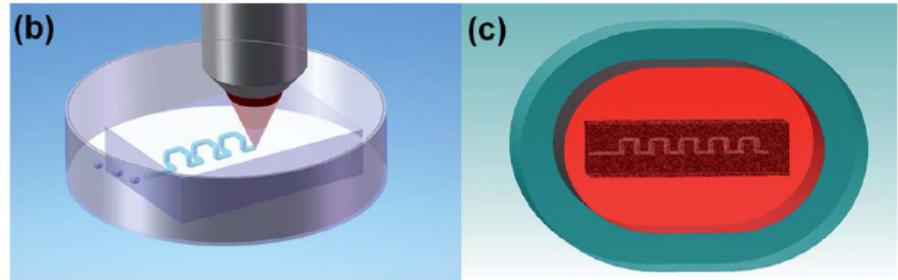
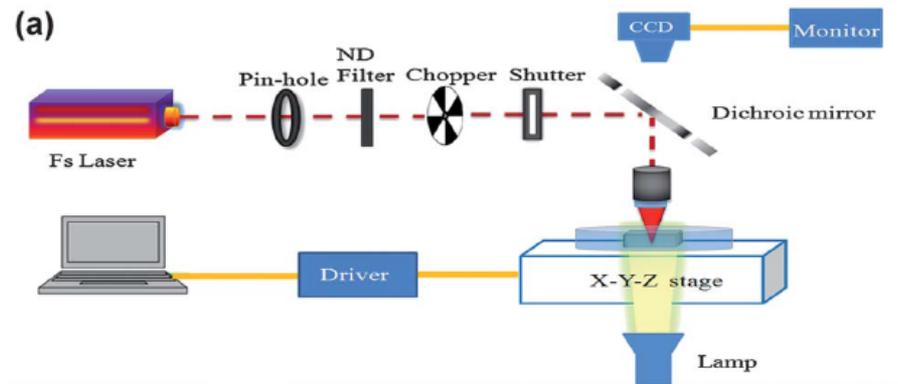
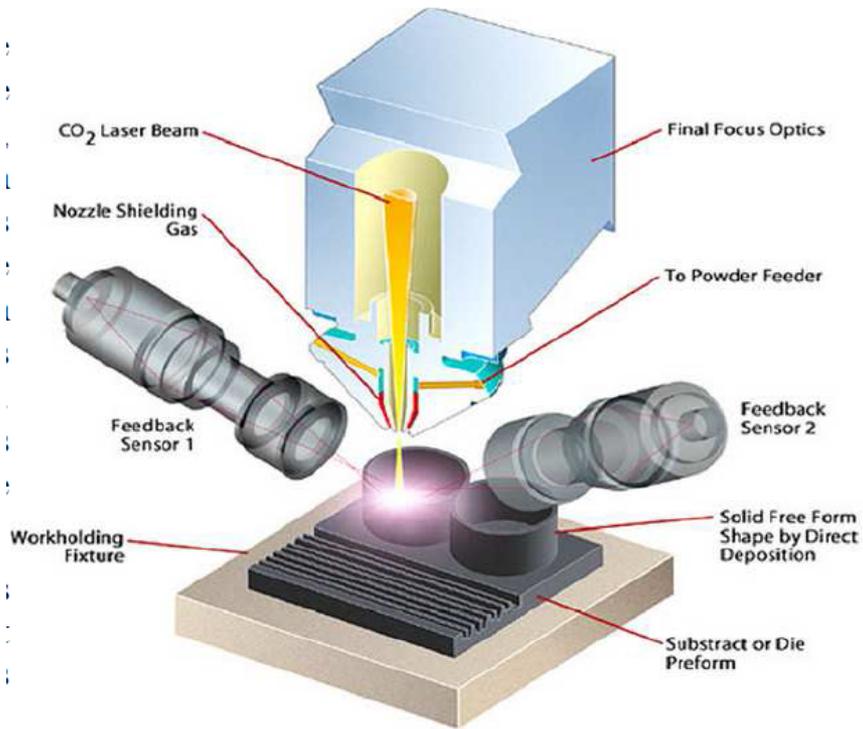
Voxel...



Autres systèmes

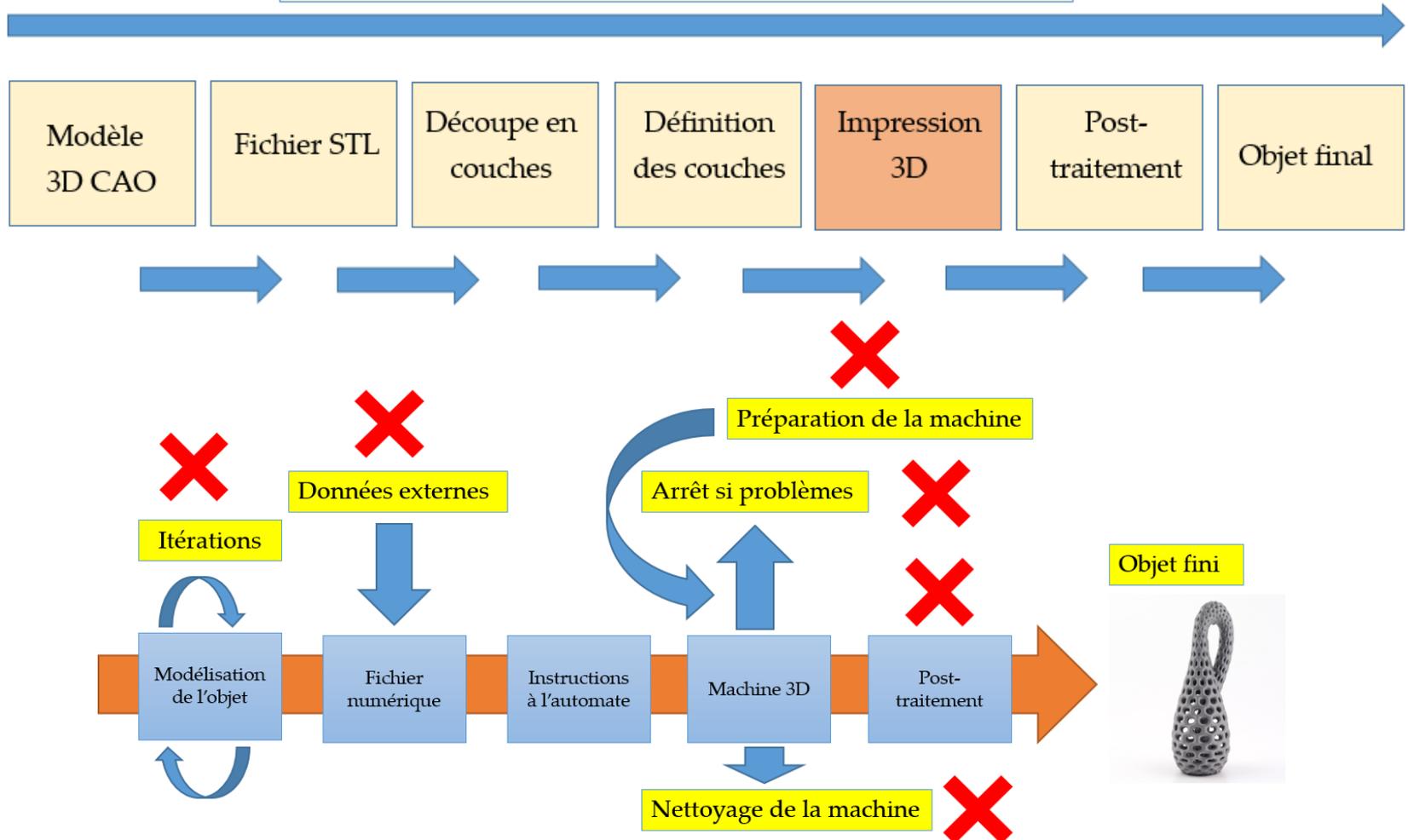






Autres « petits » problèmes

Procédé d'impression 3D en Fabrication Additive

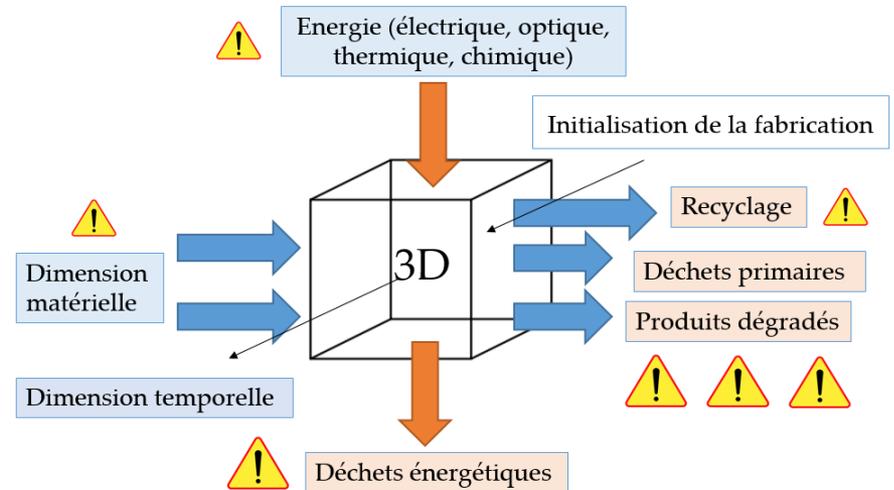
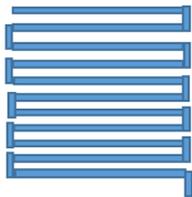
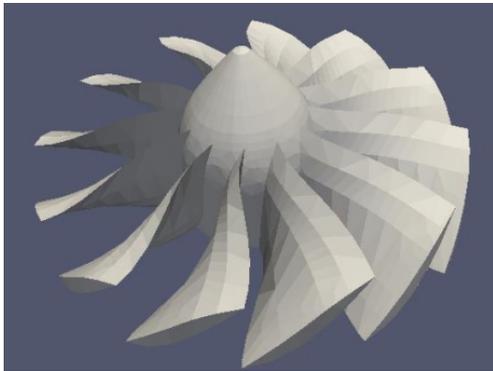
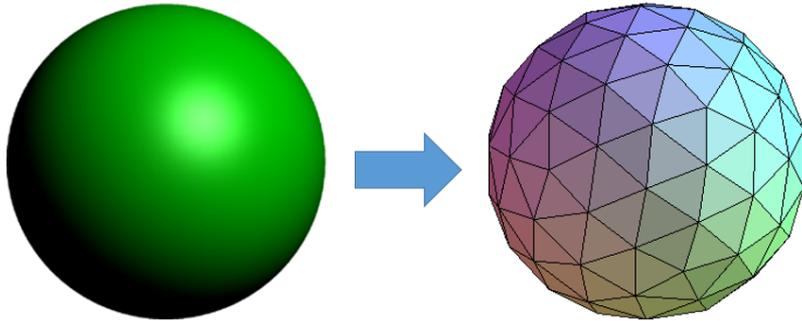


Top 25

Most Popular 3D Modeling Software for 3D Printing

		General		3D Printing Community				Total Score
		Social	Website	Forums	YouTube	Databases	Google	
1	Blender	61	91	100	100	27	100	80
2	SketchUP	87	82	79	49	80	74	75
3	SolidWorks	95	81	42	52	25	75	62
4	AutoCAD	100	78	46	43	4	85	59
5	Maya	91	80	35	50	3	93	59
6	3DS Max	90	83	24	53	2	78	55
7	Inventor	98	80	29	31	15	75	55
8	Tinkercad	78	57	38	5	100	31	51
9	ZBrush	83	69	45	42	4	50	49
10	Cinema 4D	84	76	6	28	1	62	43
11	123D Design	85	67	21	14	18	50	42
12	OpenSCAD	1	65	33	2	100	29	38
13	Rhinoceros	17	75	50	21	6	49	36
14	Modo	82	63	10	9	1	45	35
15	Fusion 360	93	81	10	3	2	4	32
16	Meshmixer	1	62	18	7	9	28	21
17	LightWave	23	52	1	8	0	32	19
18	Sculptris	0	67	7	6	4	26	19
19	Grasshopper	9	60	4	5	1	32	18
20	FreeCAD	4	59	15	8	11	5	17
21	Mol3D	0	53	3	1	0	28	14
22	3Dtin	4	57	0	0	11	1	12
23	Wings3D	0	66	1	1	0	2	12
24	K-3D	0	62	1	1	0	2	11
25	BRL-CAD	0	60	1	0	0	1	11

Logiciels... et des aspects HSE



The FABLAB Charter



QU'EST-CE QU'UN FAB LAB ?

Les fab labs sont un réseau mondial de laboratoires locaux, qui rendent possible l'invention en donnant accès à des outils de fabrication numérique.

QUE CONTIENT ET FOURNIT LE RÉSEAU DES FAB LABS ?

Un FabLab mutualise un ensemble de ressources permettant de fabriquer à peu près tout ce que l'on veut et de diffuser des connaissances, des savoir-faire et des projets.

Ce réseau apporte une assistance :

- opérationnelle
- éducative
- technique
- financière
- et juridique

au-delà de ce qui est disponible dans un seul lab.

A QUI APPARTIENNENT LES INVENTIONS FAITES DANS UN FAB LAB ?

Les designs et les procédés développés dans les Fab Labs peuvent être protégés et vendus comme le souhaite leur inventeur, mais doivent rester disponibles de manière à ce que les individus puissent les utiliser et en apprendre.

QUI PEUT UTILISER UN FAB LAB ?

Les Fab Labs sont disponibles comme une ressource communautaire, qui propose un accès libre aux individus autant qu'un accès sur inscription dans le cadre de programmes spécifiques.

QUELLES SONT VOS RESPONSABILITÉS ?

Sécurité :
Ne blesser personne et ne pas endommager l'équipement.

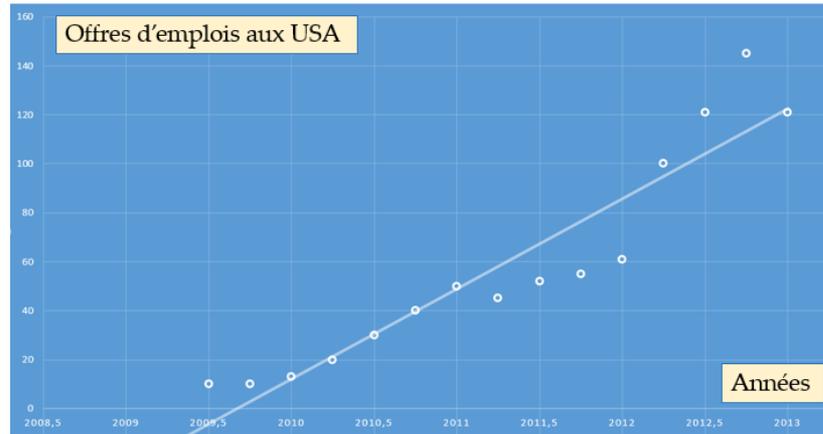
Fonctionnement :
Aider à nettoyer, maintenir et améliorer le Lab.

Connaissances :
Contribuer à la documentation et aux connaissances des autres.

COMMENT LES ENTREPRISES PEUVENT-ELLES UTILISER UN FAB LAB ?

Les activités commerciales peuvent être prototypées et incubées dans un Fab Lab, mais elles ne doivent pas entrer en conflit avec les autres usages, elles doivent croître au-delà du Lab plutôt qu'en son sein, et il est attendu qu'elles bénéficient à leurs inventeurs, aux Labs, et aux réseaux qui ont contribué à leur succès.

Conçu par Geoffrey Chaix, réalisé par Romain Marchado pour GoTronic
Licence libre CC-BY, merci de mentionner notre site en cas de réutilisation



The Maker Movement

JOIN the Revolution! **MANIFESTO** Mark Hatch

Radicalize!

Tools of Industrial Revolution are at the CHEAPEST

if we could bring more folks TO MAKER SPACES

Share **Participate**

Give away small pieces of yourself.

Learn **Support**

Tool up **Change**

embrace change

NO ONE CAN CHANGE THE WORLD!

MAKERS ARE CHANGING...

Make something for Christmas!



Anticipation des déformations

The Gap between “*As-Designed*” and “*As-Manufactured*”

“As-Designed” Part



- ▶ Designed geometry without stresses or distortions
- ▶ Standard material property assumptions

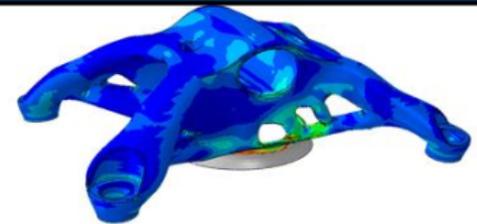
- Materials
- Deposition Path
- Build Definition
- Heat Input

Process Gap

- Residual Stresses
- Distortions
- Altered Properties

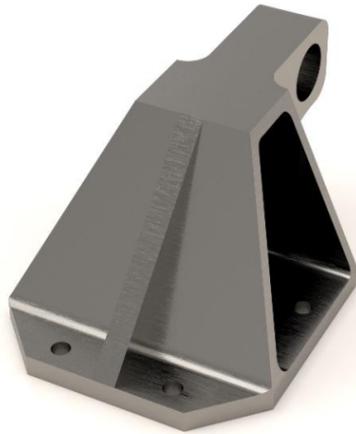
“As-Manufactured” Part

- Residual stresses built up from thermal process
- Deformations causing tolerance issues
- Material properties are a function of manufacturing process



Re-design

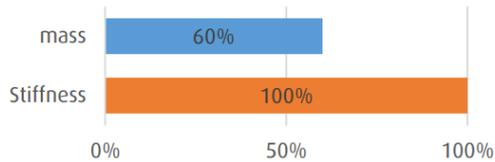
Lattice Topology Optimization



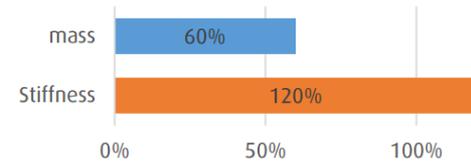
Subtractive Manufacturing



Standard AM



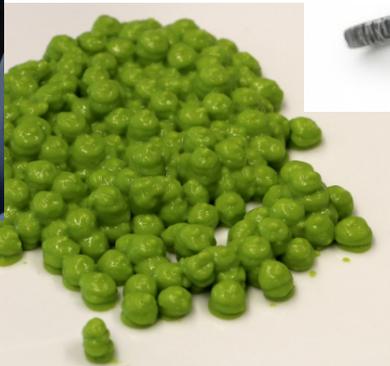
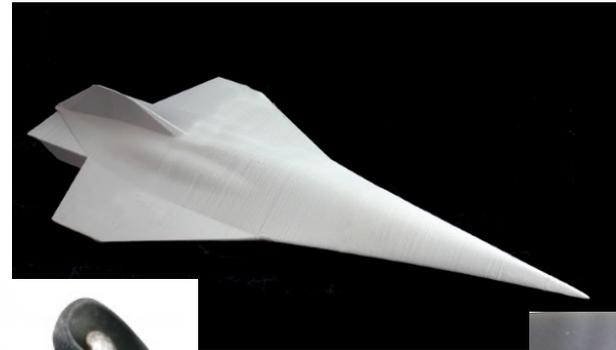
AM with lattice



Thèmes	Commentaires
Amélioration de la vitesse de production, de la taille des objets et de la fiabilité	<p>Domaine où la créativité doit s'exprimer dans le domaine des procédés de fabrication pour rendre la production plus rapide : taille variable des voxels, localisation nouvelle de l'énergie, etc.</p> <p>Exploration des échelles : du décimètre au nanomètre</p> <p>Couplage résolution spatiale – vitesse de production</p> <p>Vieillessement des objets, respect des consignes relativement aux paramètres spatiaux, robustesse, etc.</p>
Matériaux	<p>De nombreux matériaux sont déjà utilisés (polymères, résines, métaux, alliages métalliques, céramiques, etc. Néanmoins, l'éventail des matériaux devrait être élargi pour respecter la demande industrielle</p> <p>Couplage matériaux-Procédés</p> <p>Impression de multi-matériaux</p> <p>Matériaux intelligents et adaptatifs</p>
Bio-printing	<p>Révolution en médecine visant à imprimer des tissus biologiques</p>
Nouvelles niches	<p>Micro-fluidique, capteurs et actionneurs, électronique 3D, bio-printing, espace, etc.</p>

Des applications... (1)

This is a step change in design thinking

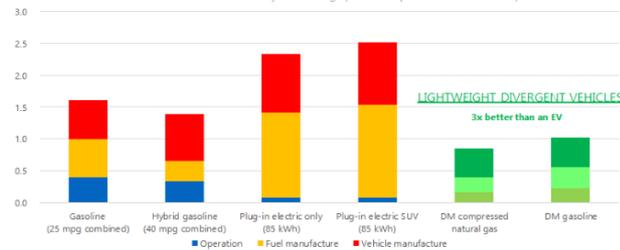


Des applications... (2)



Manufacturing the fuel and vehicle results in the vast majority of emissions

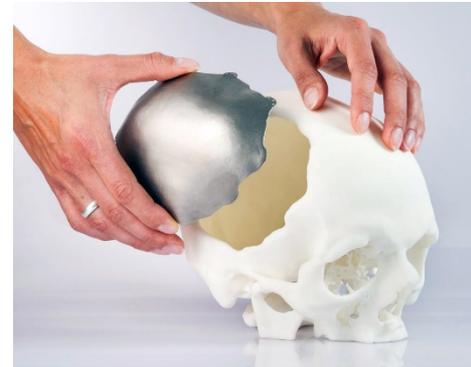
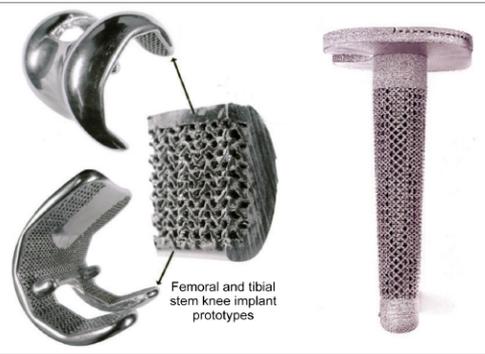
Total human & environmental system damage (cents USD per vehicle mile traveled)



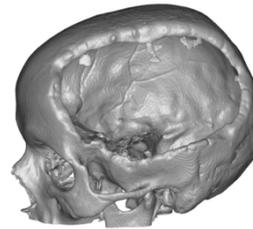
Des applications... (3)



Des applications... (4)



Des applications (5)



CASE GASI

Ref :GASI 420414A01 + B01 + C01

Age : 72 ans

Sex : Female

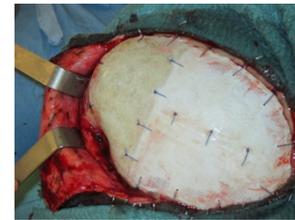
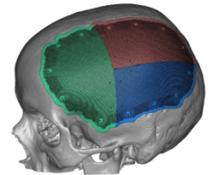
Surgery date : 25/07/2014

Implant surface : 154 cm²

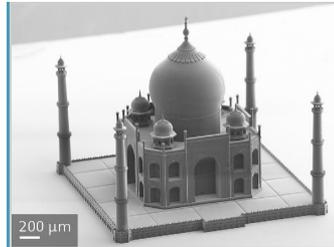
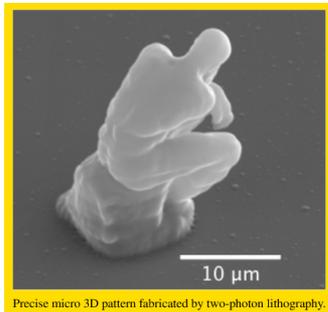
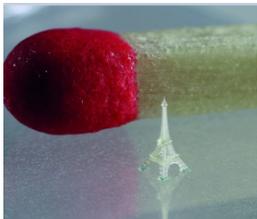
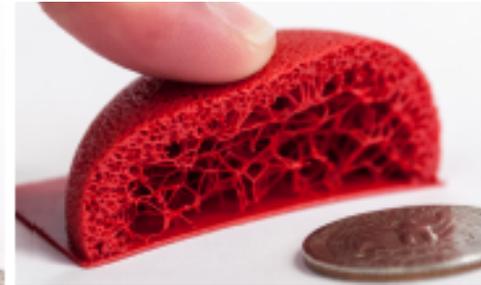
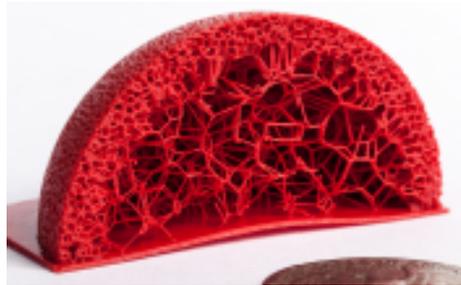
Implant thickness : 5mm

Fixation holes : 13

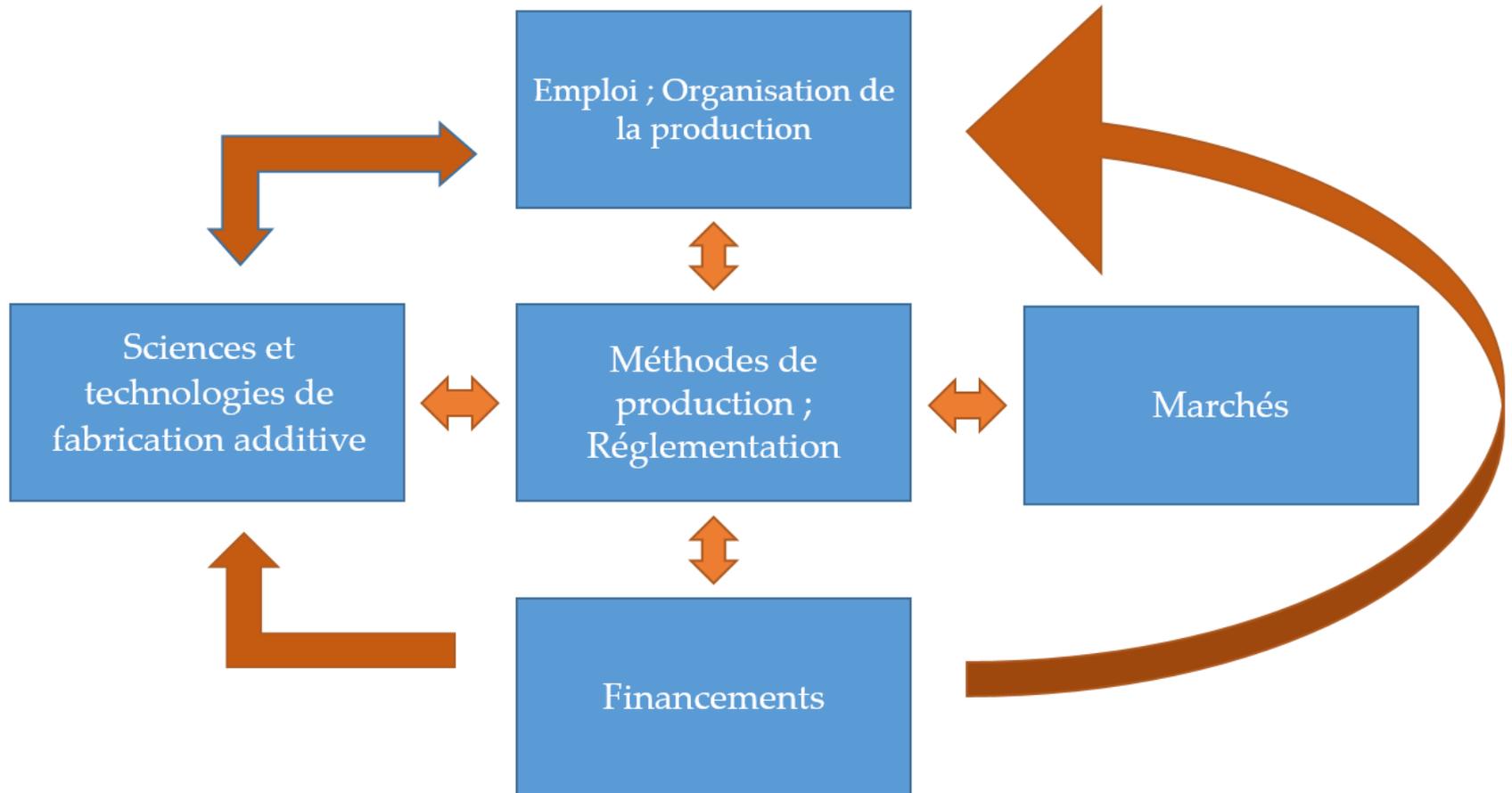
Topography : Parietal



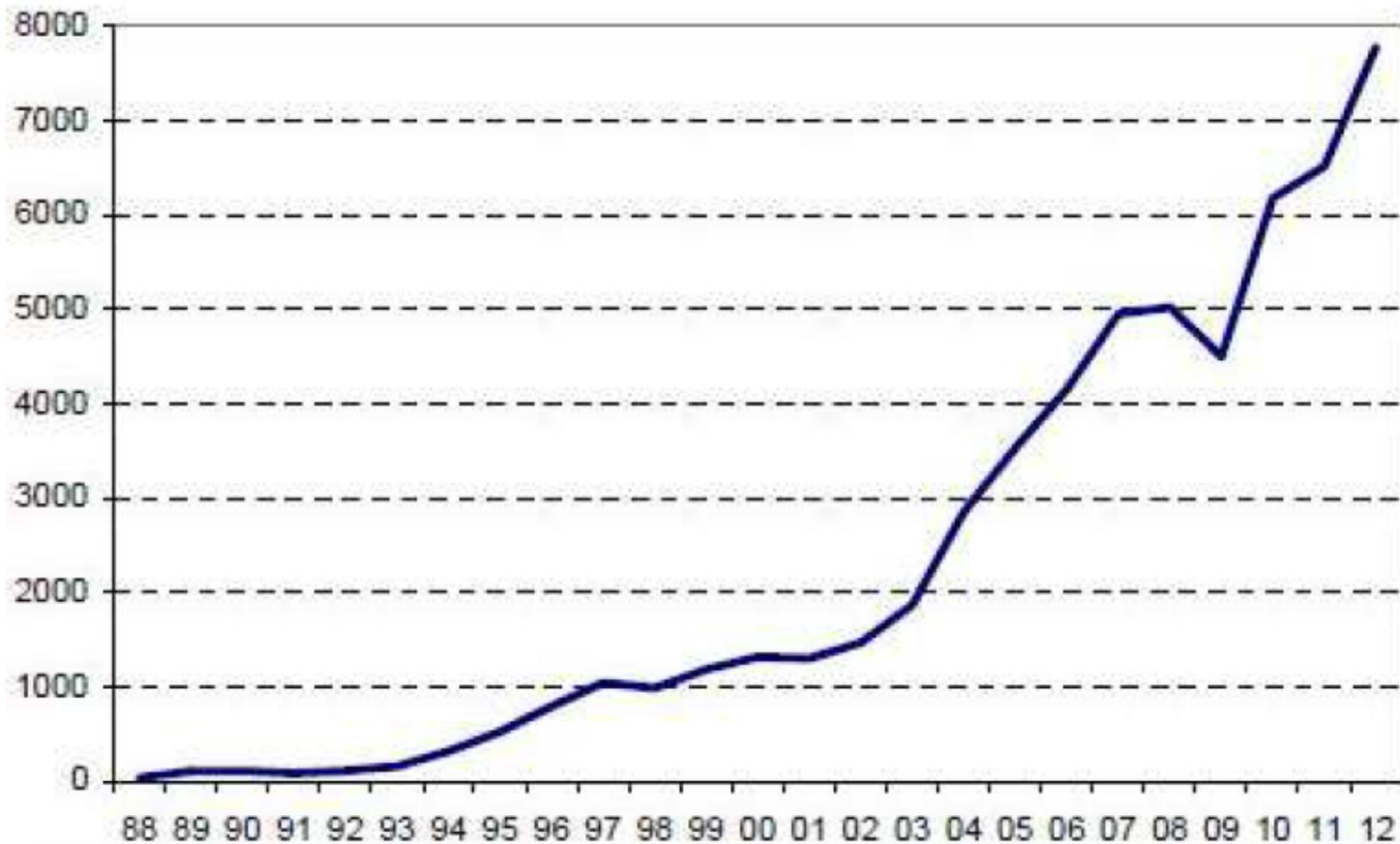
Des applications (6)



Des marchés, des organisations,...



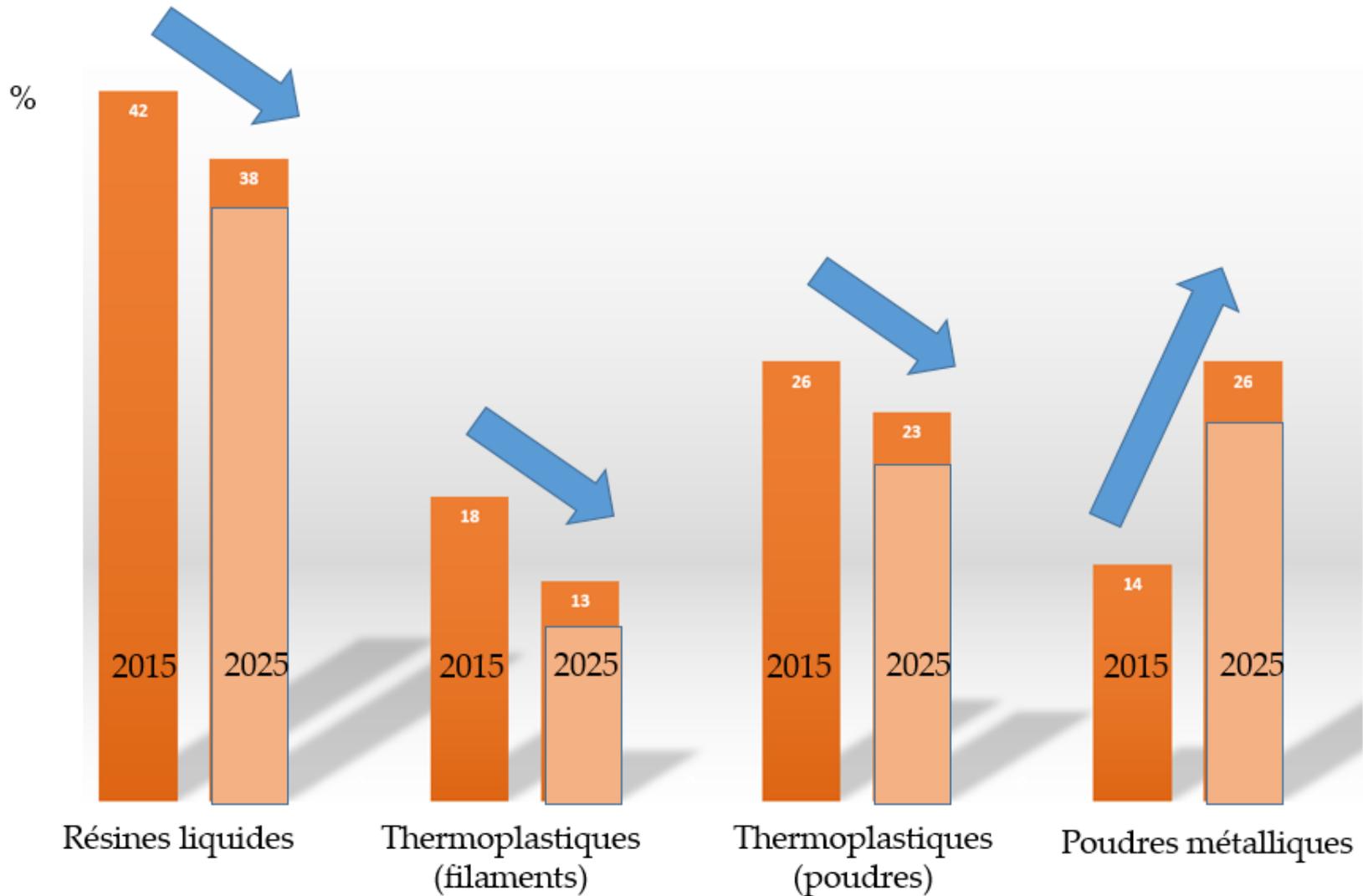
Imprimantes dans le monde

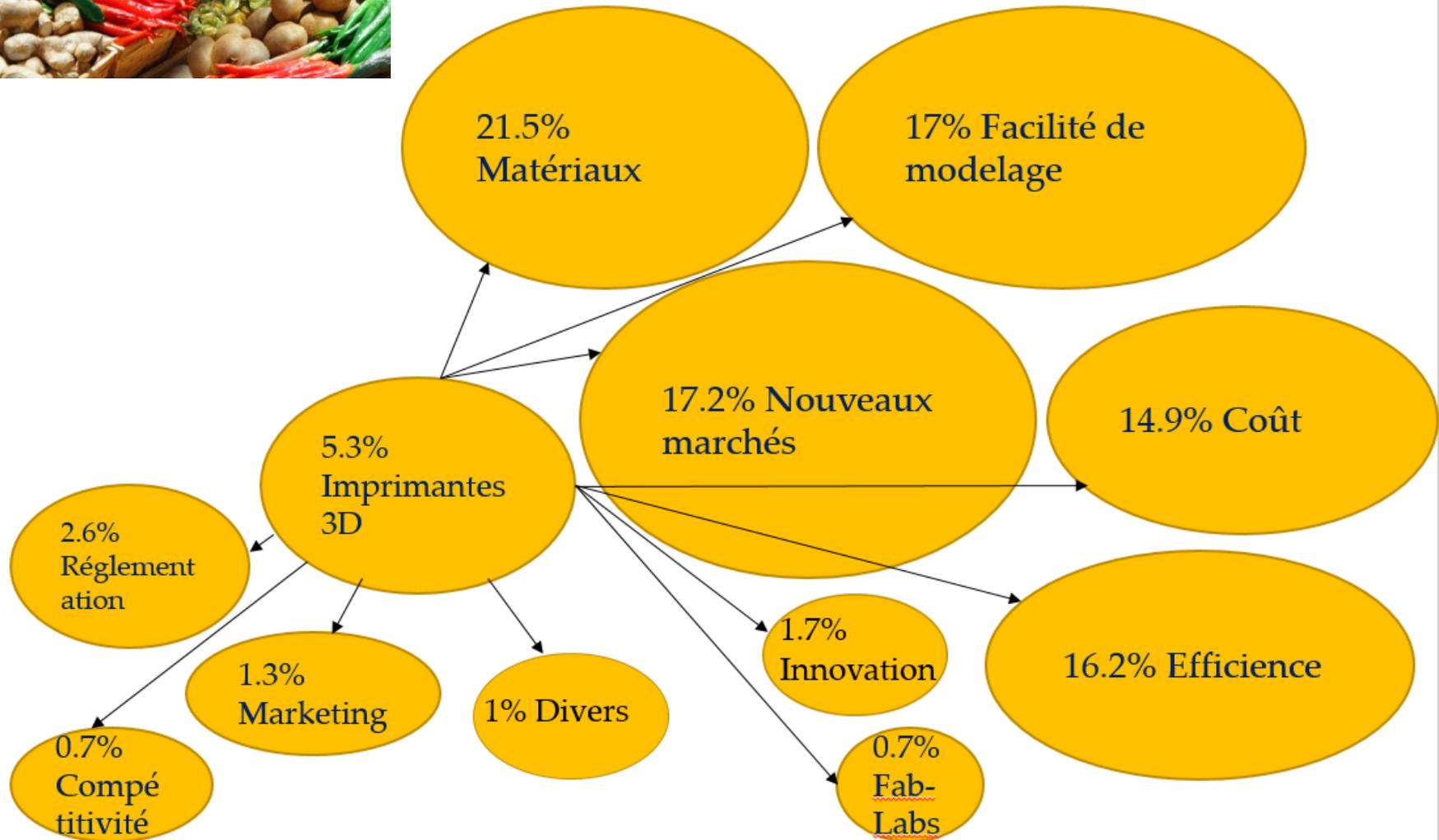


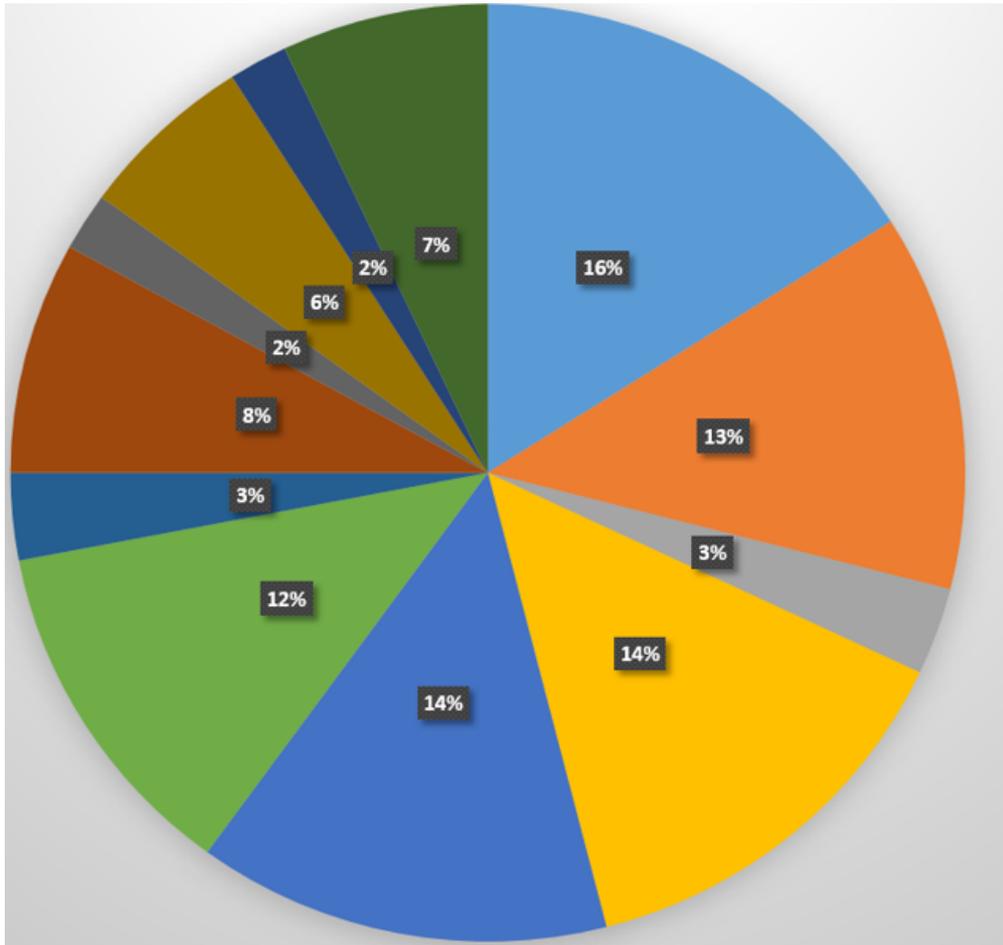
Publications



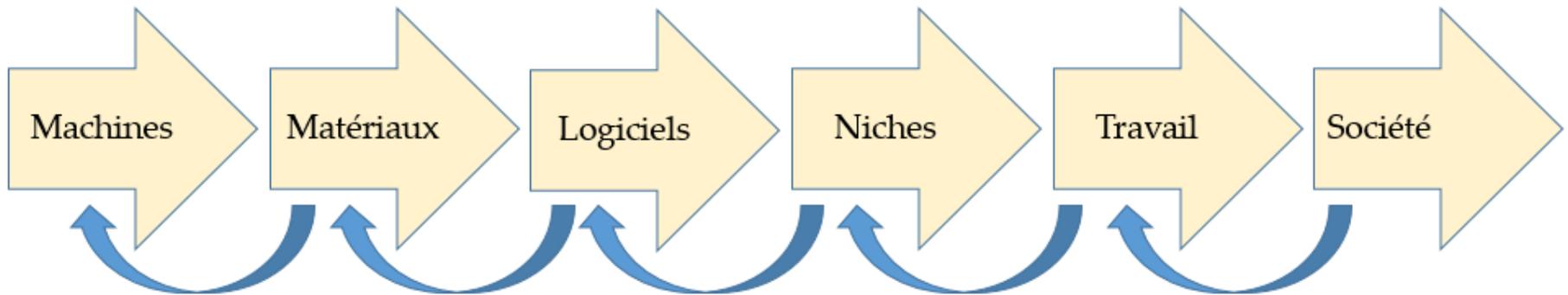
Matières







1	Aérospatial
2	Automobile
3	Armée
4	Métallurgie + Machines + chimie + électronique
5	Médecine + dentaire
6	Produits de détail
7	Energie
8	Secteur tertiaire
9	Bâtiment et architecture
10	Secteur académique
11	Luxe, textile, alimentation
12	Divers



Conception de nouvelles machines et de nouveaux procédés

Conception de nouveaux matériaux dont beaucoup sont à inventer

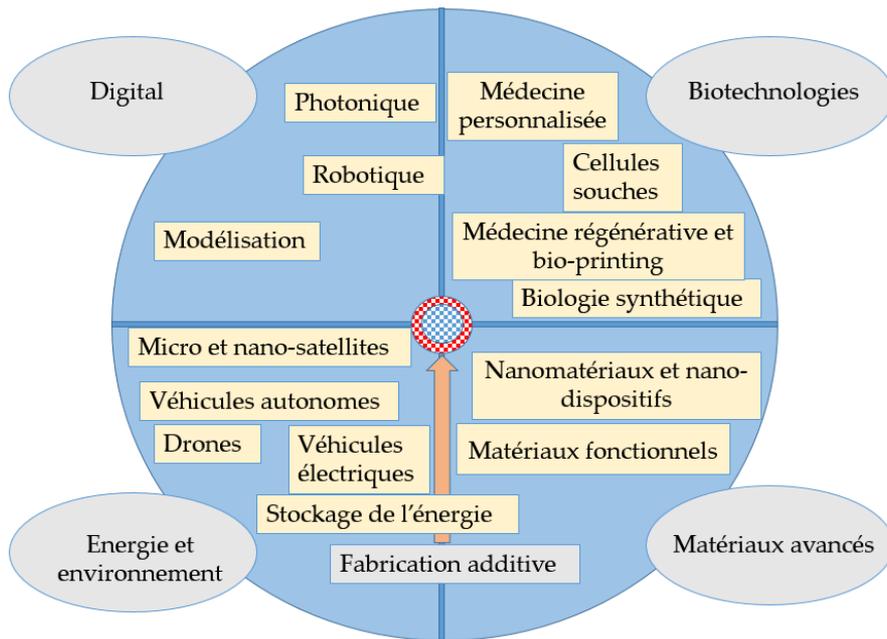
Ergonomie, facilité d'usage ; intégration dans les logiciels de CAO ; reverse engineering

Nouveaux marchés ; anticipation des effets sur les « business models »

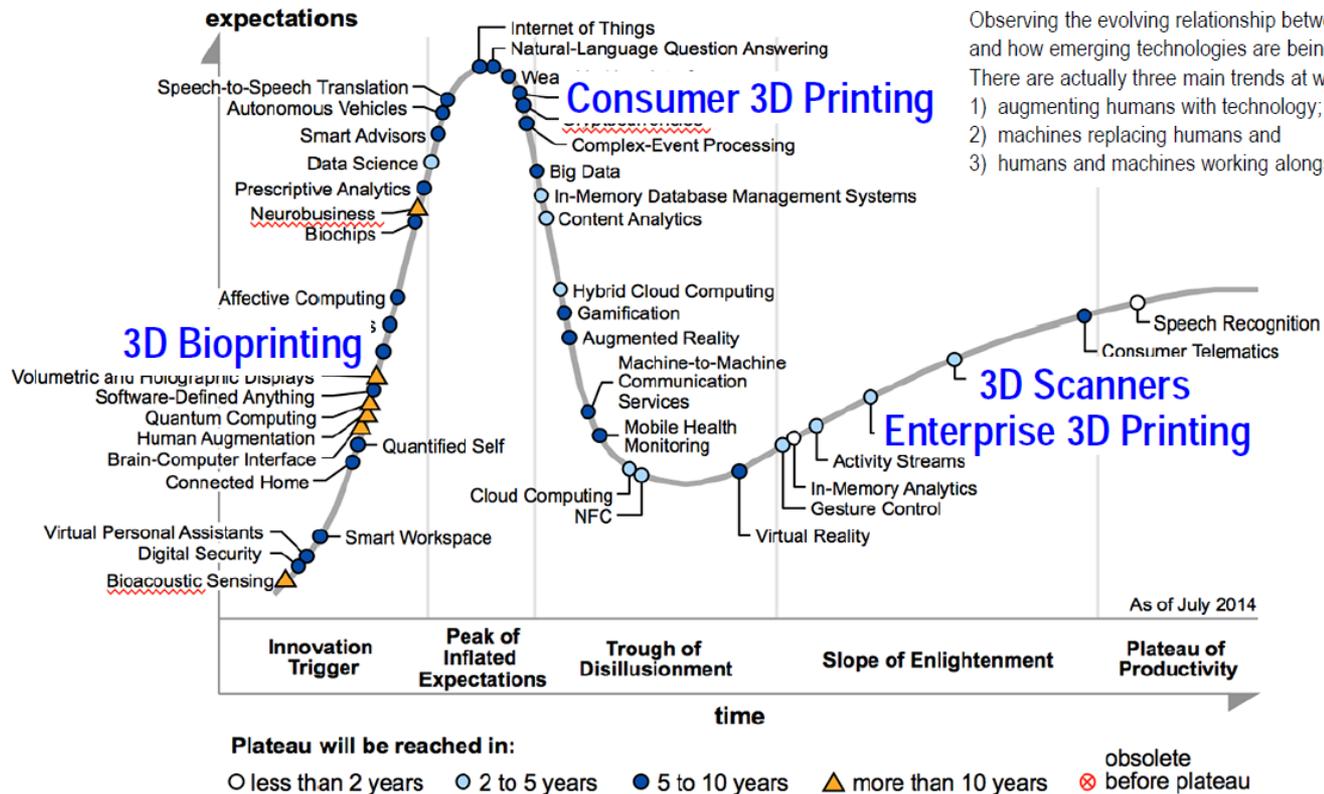
Nouveaux emplois ; formations dédiées ; unberisation ; réindustrialisation ; HSE ; développement durable

Applications domestiques, emploi, HSE, retour à l'artisanat

Prospective 1



Prospective 2



Observing the evolving relationship between humans and machines and how emerging technologies are being used by early adopters.

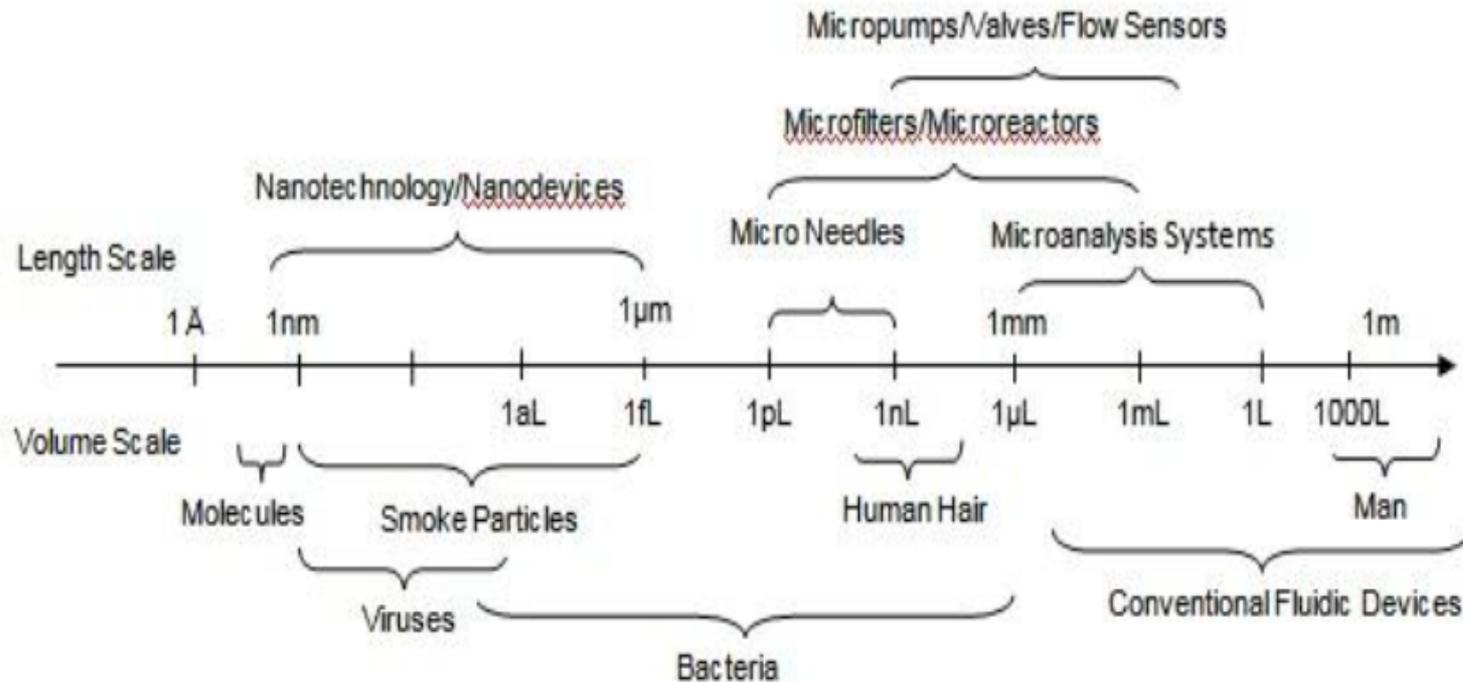
There are actually three main trends at work:

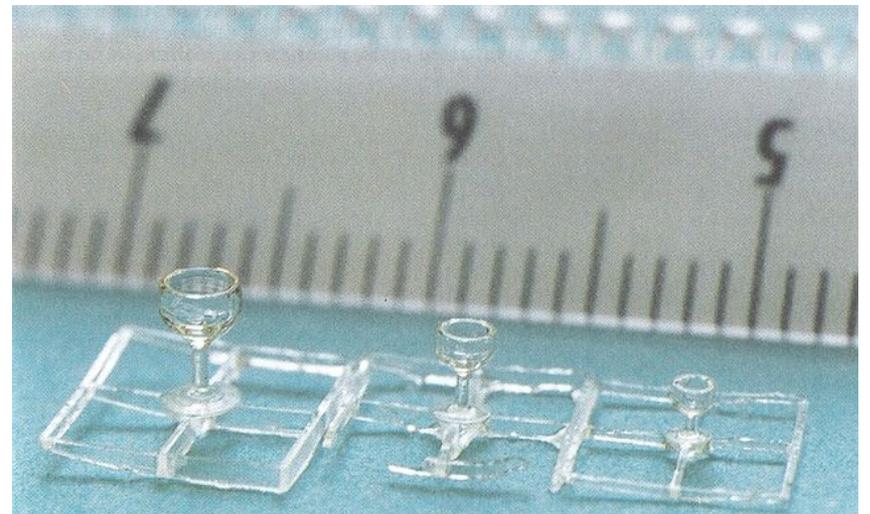
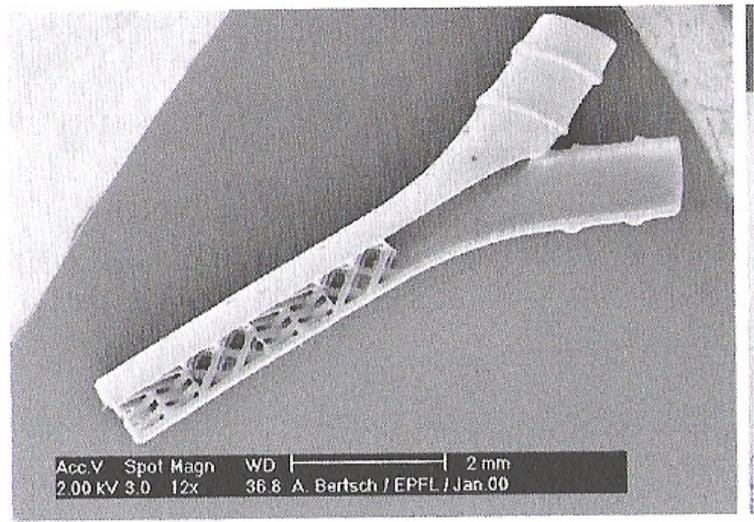
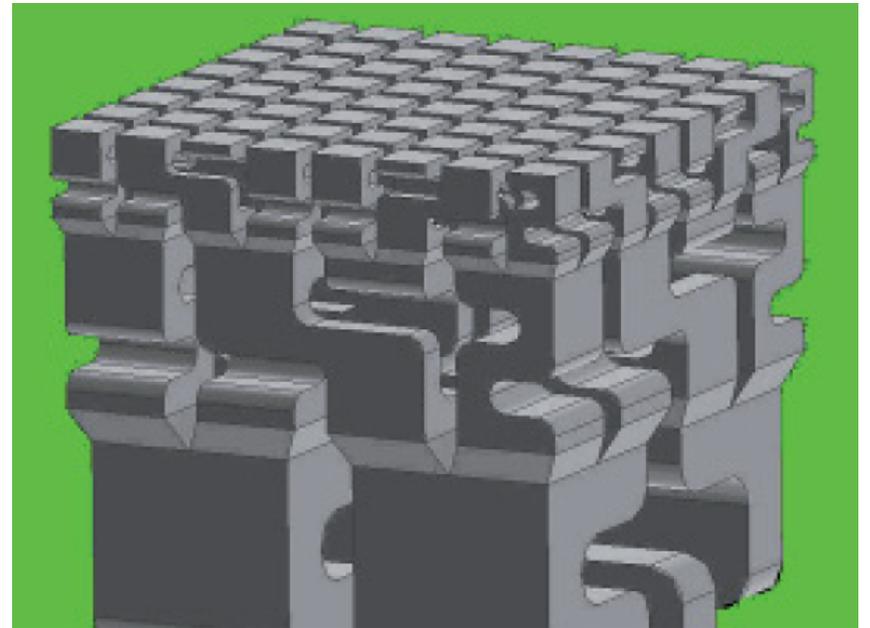
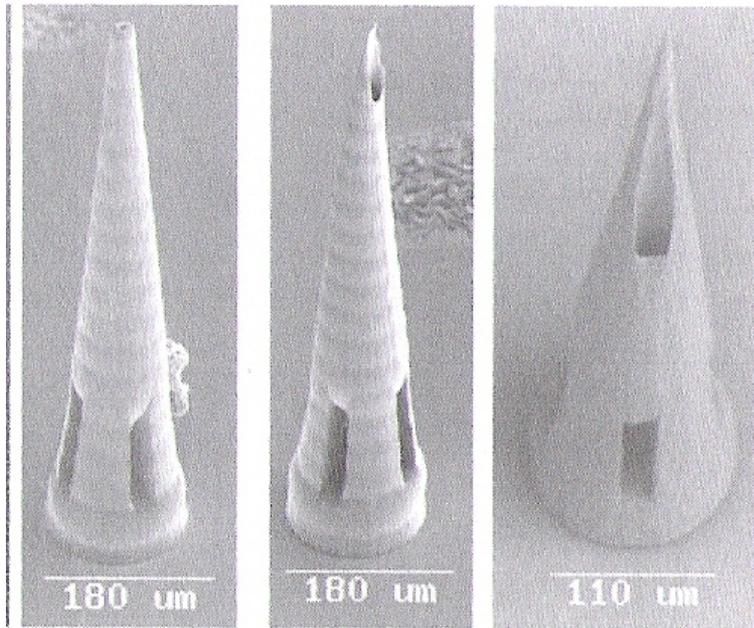
- 1) augmenting humans with technology;
- 2) machines replacing humans and
- 3) humans and machines working alongside each other.

Evolutions technologiques



Micro-fluidique

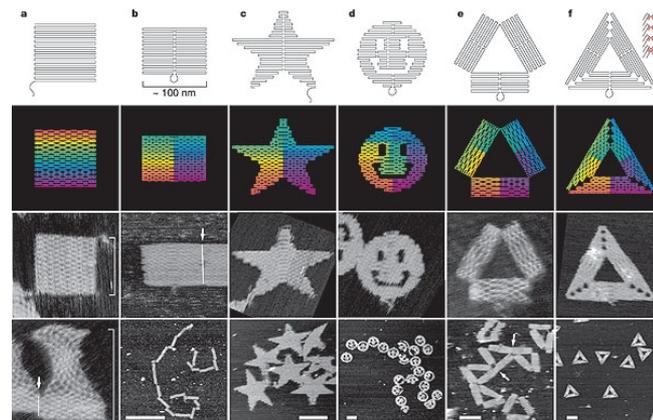
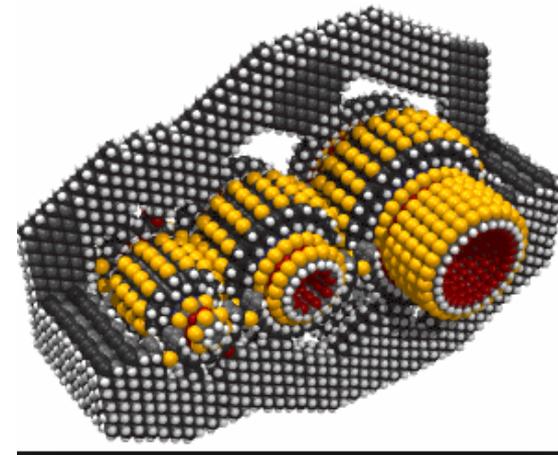
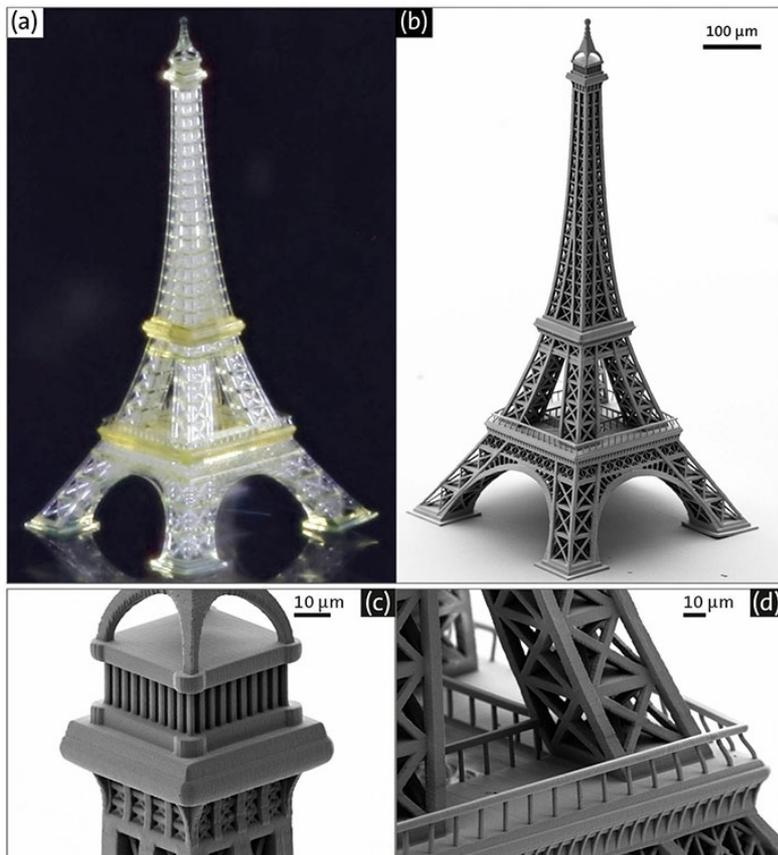




Aujourd'hui avec Fresnel...



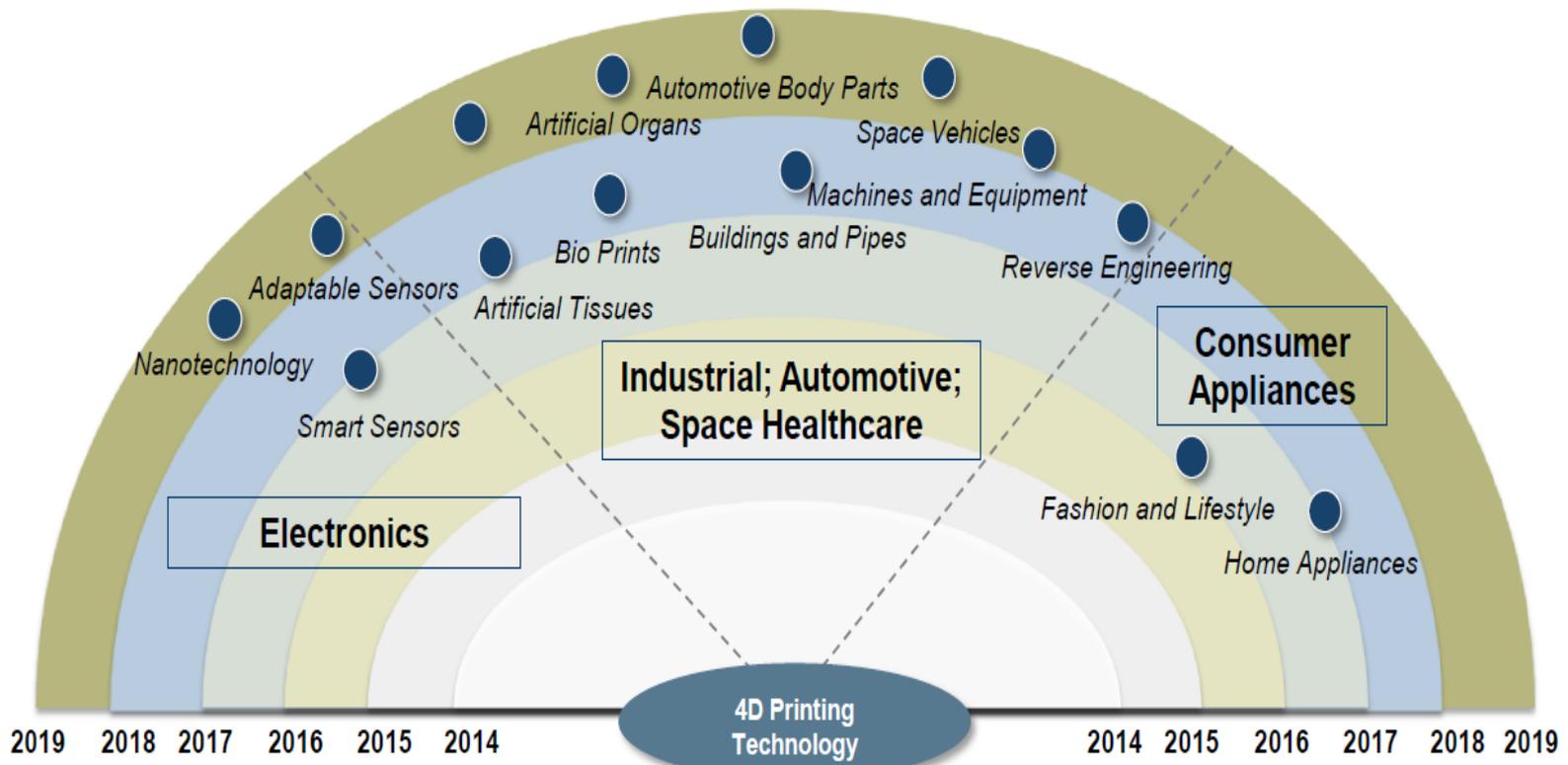
Nano-fabrication



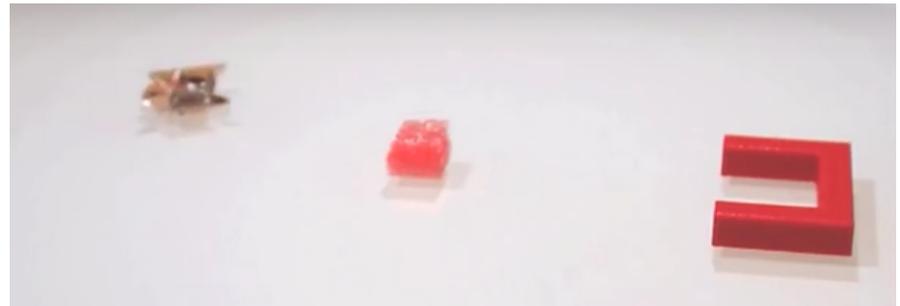
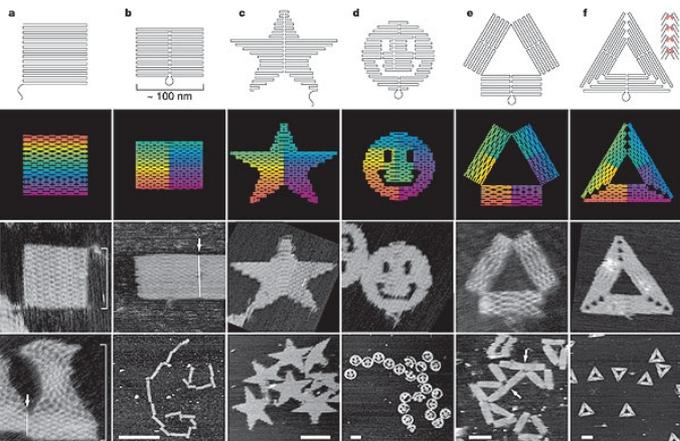
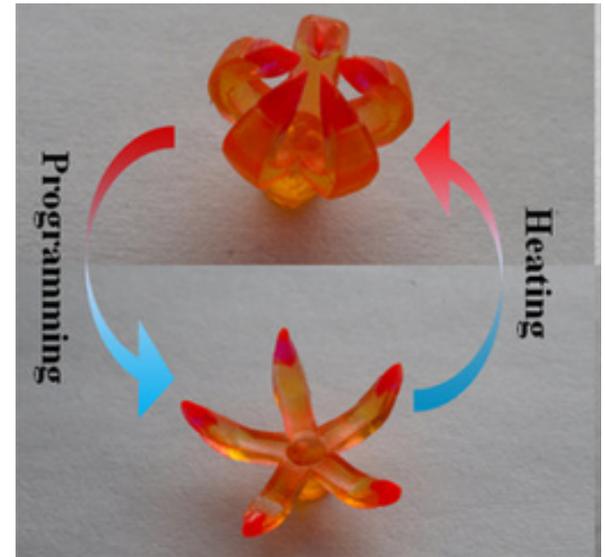
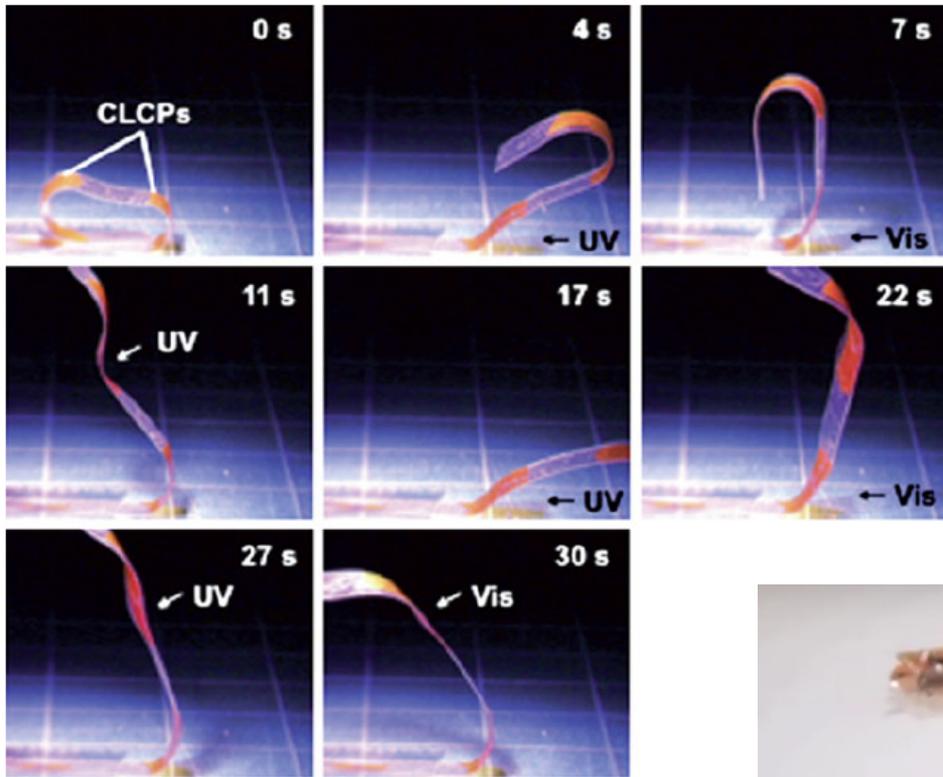
Cinq composantes-clés seront nécessaires. La première est analytique : pouvoir traiter les données recueillies sur l'internet et les réseaux sociaux. La deuxième est la capacité à enrichir ces données. La troisième est le marketing digital : les offres personnalisées proposées à partir des données enrichies. La quatrième – le Graal! – est la technologie mobile, mais elle est encore relativement peu sollicitée. La cinquième, ce sont les réseaux sociaux, qui influencent fortement les comportements d'achat.



4D printing...

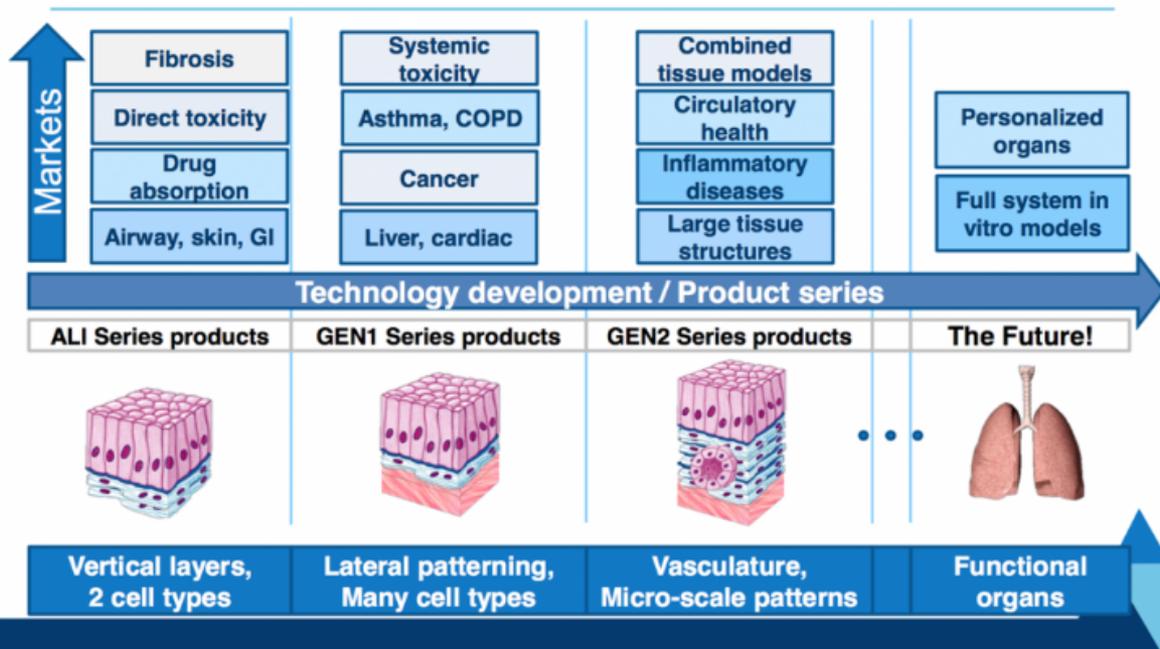


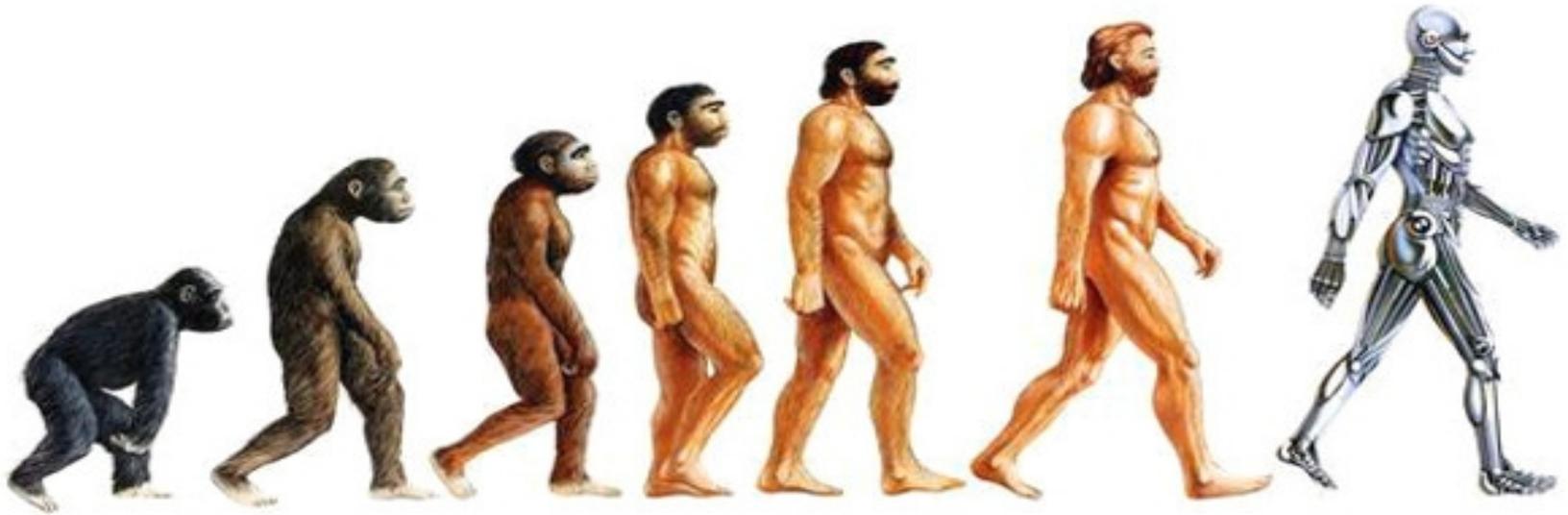
Source: Frost & Sullivan analysis



Bio-printing

Tissue development strategy





Human
Enhancement
Technologies

Dr. M. Loh 09/3/08

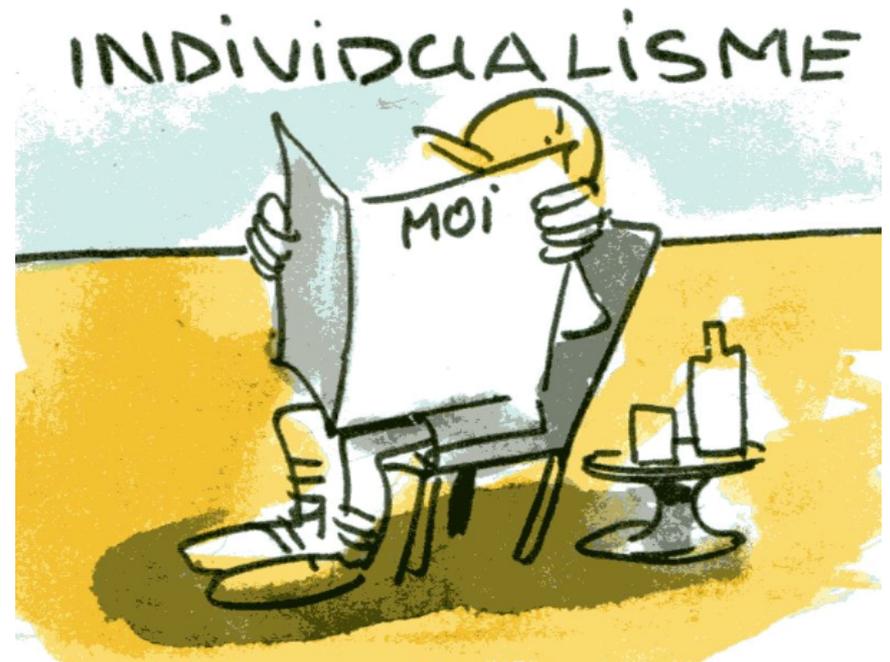
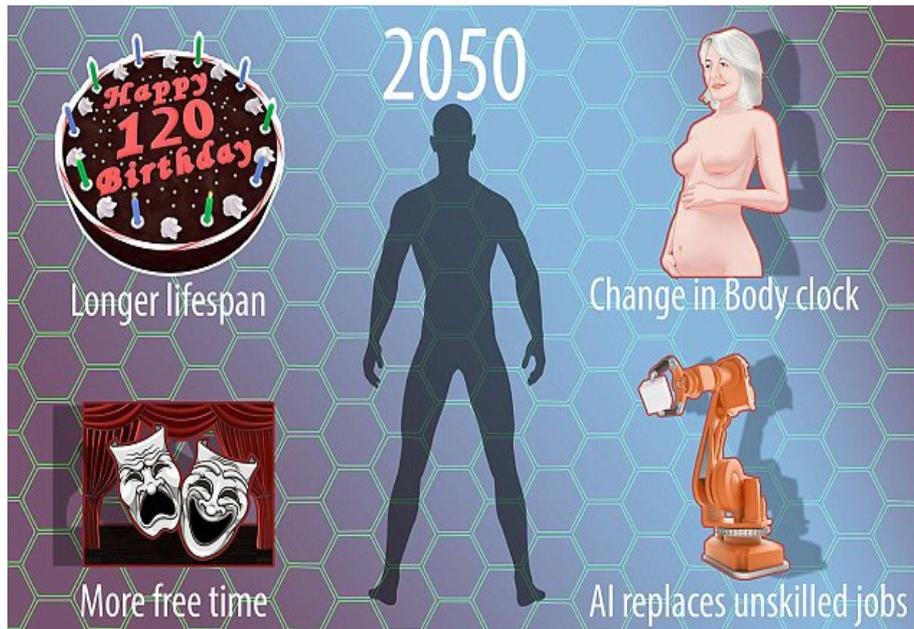


Démarche prospective

- Internationalisation des processus de production (et dématérialisation avec des frais de transport faibles) ;
- Demande permanente du public pour le nouveau, malgré l'épuisement des réserves ; la santé et le bien-être sont plébiscités ;
- Demande sociale exigeant de plus en plus le risque « zéro » ; Individualisation ; personnalisation de masse ;
- Marginalisation des activités de production matérielle au profit du virtuel (et, en tout cas, avec des évolutions notables) ; passage de la production aux services ;
- Omniprésence de la technologie « numérique (avec ses conséquences en termes de consommation électrique) ;
- Faiblesse de la perception par le public de l'importance (et des effets) des processus de transformation de la matière et de l'énergie ;
- Détérioration de la relation d'emploi standard, regard nouveau sur la formation et sur la responsabilisation des Hommes ;
- Décroissance obligée... Possibilité de définir d'autres critères de croissance s'appuyant sur d'autres bases ;
- Mondialisation de la recherche scientifique et de l'attractivité des relations avec l'économie ;
- Relations ambivalentes entre innovation industrielle et recherche « académique », entre formation conceptuelle et pratique.

Autres tendances lourdes : accès à l'énergie, à l'eau, à la nourriture, réchauffement climatique, demande d'une meilleure vie en bonne santé, bien-être matériel, épuisement des réserves, économie circulaire, éthique, pouvoirs délégués aux entreprises et à la finance, temporalités de plus en plus courtes, faiblesse du politique, etc.

Le citoyen, le travailleur, le chercheur...

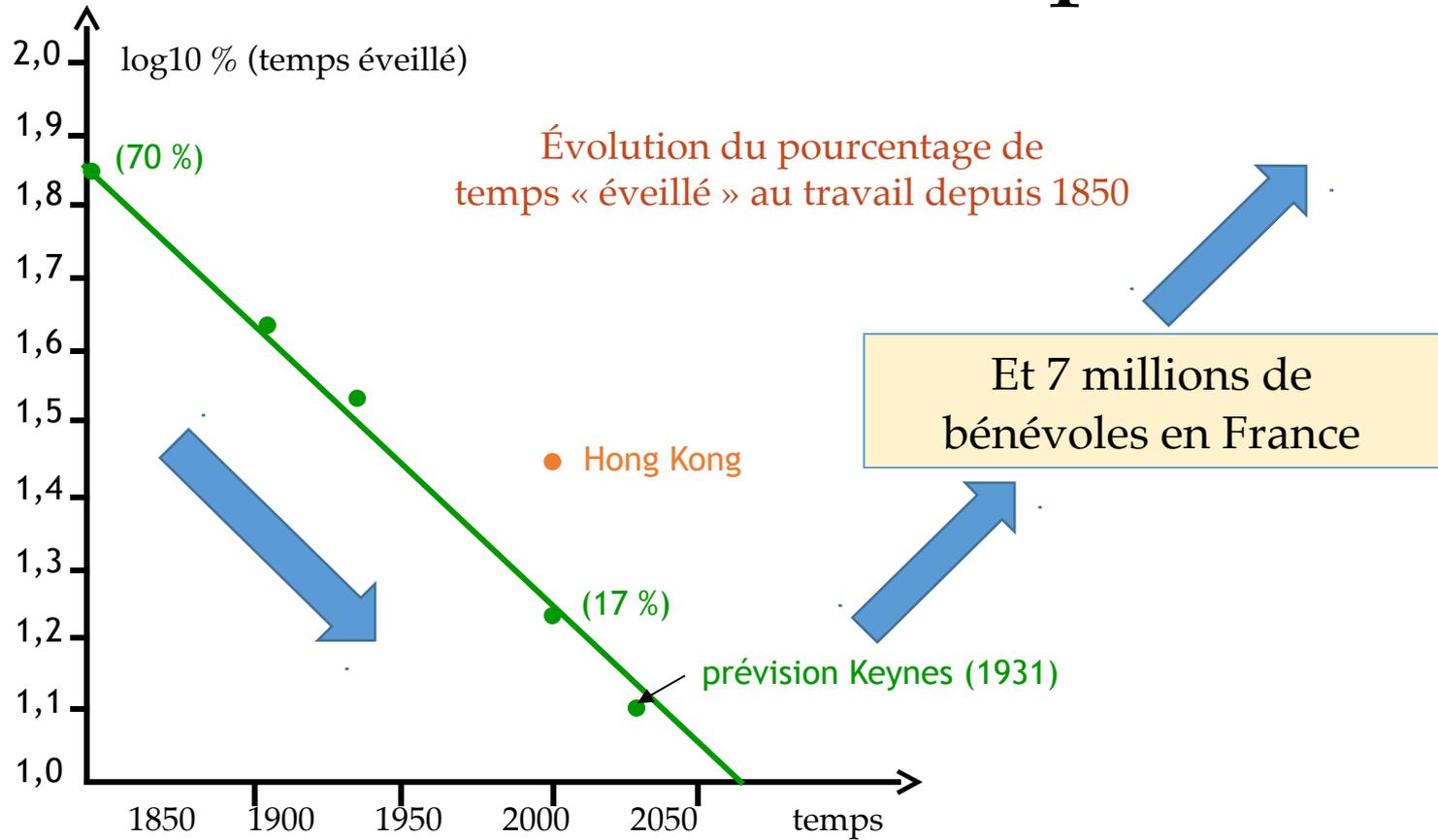


Mais encore...

**JE SUIS
CHARLIE**

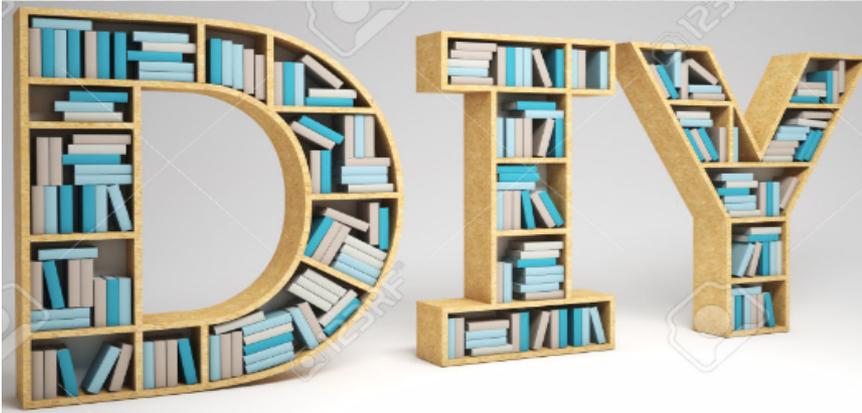
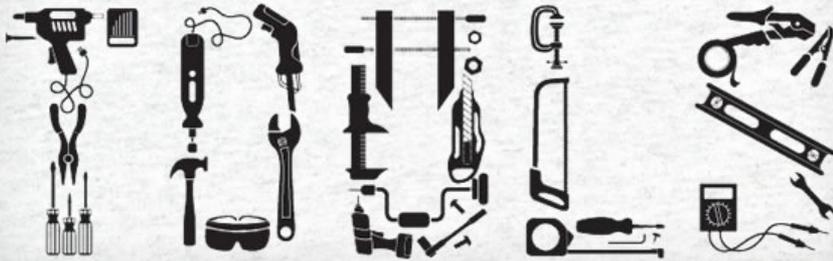


Mais en même temps...



MAKERS

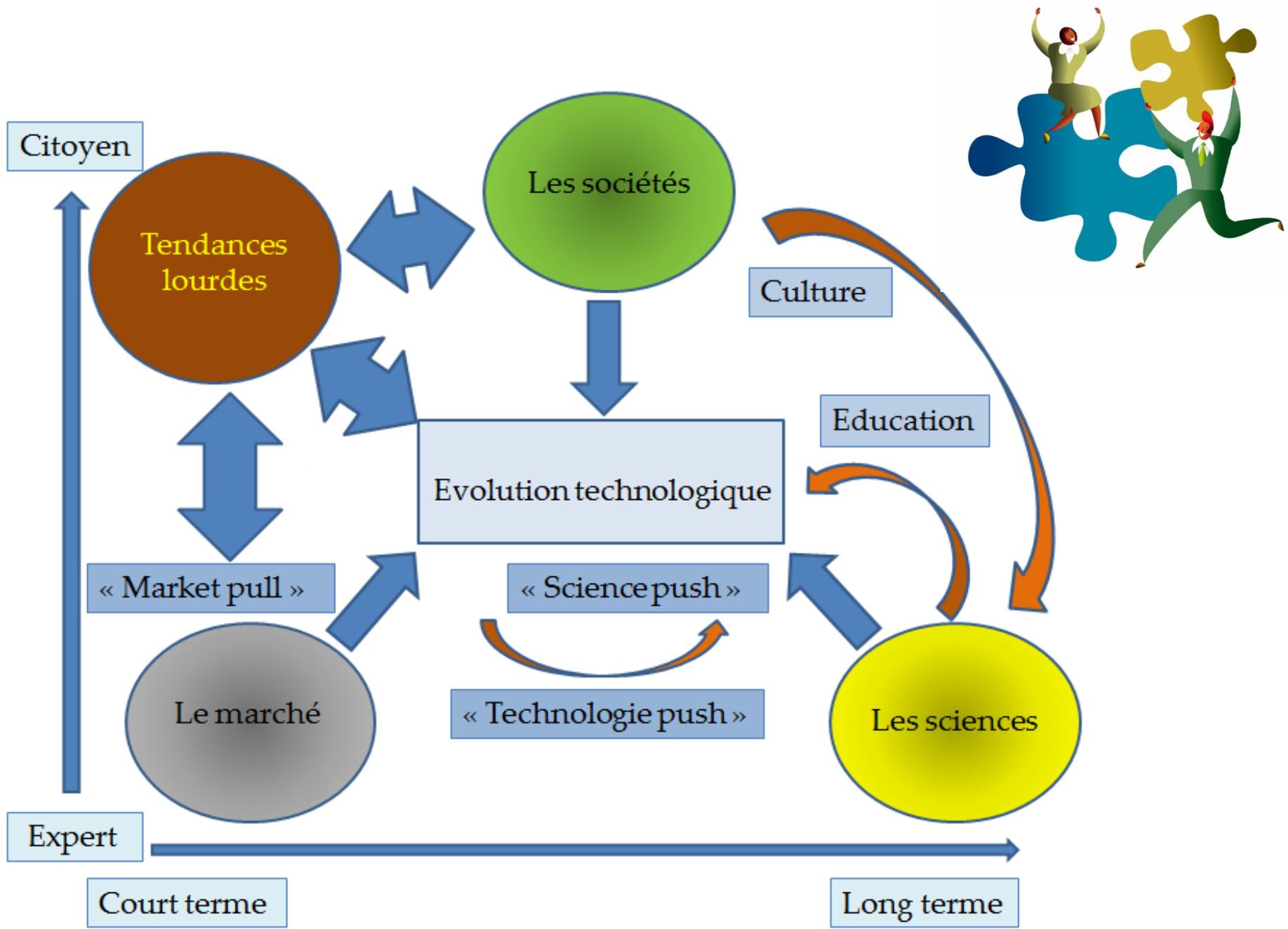
DO IT WITH



4 scénarios pour le futur

- **Scénario 1 « inertiel »** inscrit dans la continuité, dans le « Business As Usual »
- **Scénario 2 « société enclavée »** associée à un accroissement des tensions entre nations et à l'intérieur des pays
- **Scénario 3 « société sobre »** et développement durable « doux »
- **Scénario 4 « société « écologiste intégriste » »**
...

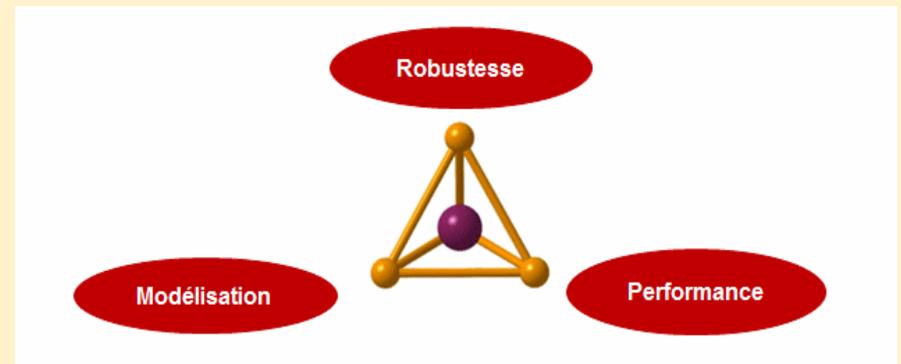
	3D Printing « classique »	4D printing ; Matière programmable ; Bio-printing (BP)
Marché actuel	5-10 milliards €/y	Moins de 1 milliard €/y (cosmétiques, toxicologie)
Marché possible dans 10 ans	20-40 milliards €/y (taux de croissance supérieur à 20%/an)	En cas de succès effectif du BP > 1000 milliards €/an (prise de risque à surmonter)
Innovation	Génie des procédés Sciences des matériaux (et interactions avec les procédés) Software Hygiène, Sécurité et Environnement Sciences Humaines et Sociales : organisation, perception sociale, économie, etc.	Cf. 3D Printing « classique » + Biologie + Actions réellement interdisciplinaires
Créativité	Nouveaux procédés (i.e. élimination des couches, etc.)	Formation à la créativité et à l'approche systémique Exploration de la complexité ; épistémologie ; nouveaux matériaux « intelligents » ; etc.
Commentaires sur un support souhaitable de l'UE	Modeste car la plupart des procédés sont issus de sociétés extérieures à l'Union, sauf sur l'exploration de niches applicatives et sur la créativité (reprise en main du futur industriel en UE)	Engagement dans des projets à risques pour retrouver un esprit pionnier relié à un marché économique considérable Changement des modes de penser et d'agir et meilleure relation entre formation et recherche créative Sortir de l'état de suivisme : moins de 2000 articles scientifiques dans le monde avec moins de 1-2 % issus de Pays de l'EU... Nécessité d'une réelle intégration européenne sur un thème original et d'intérêt social



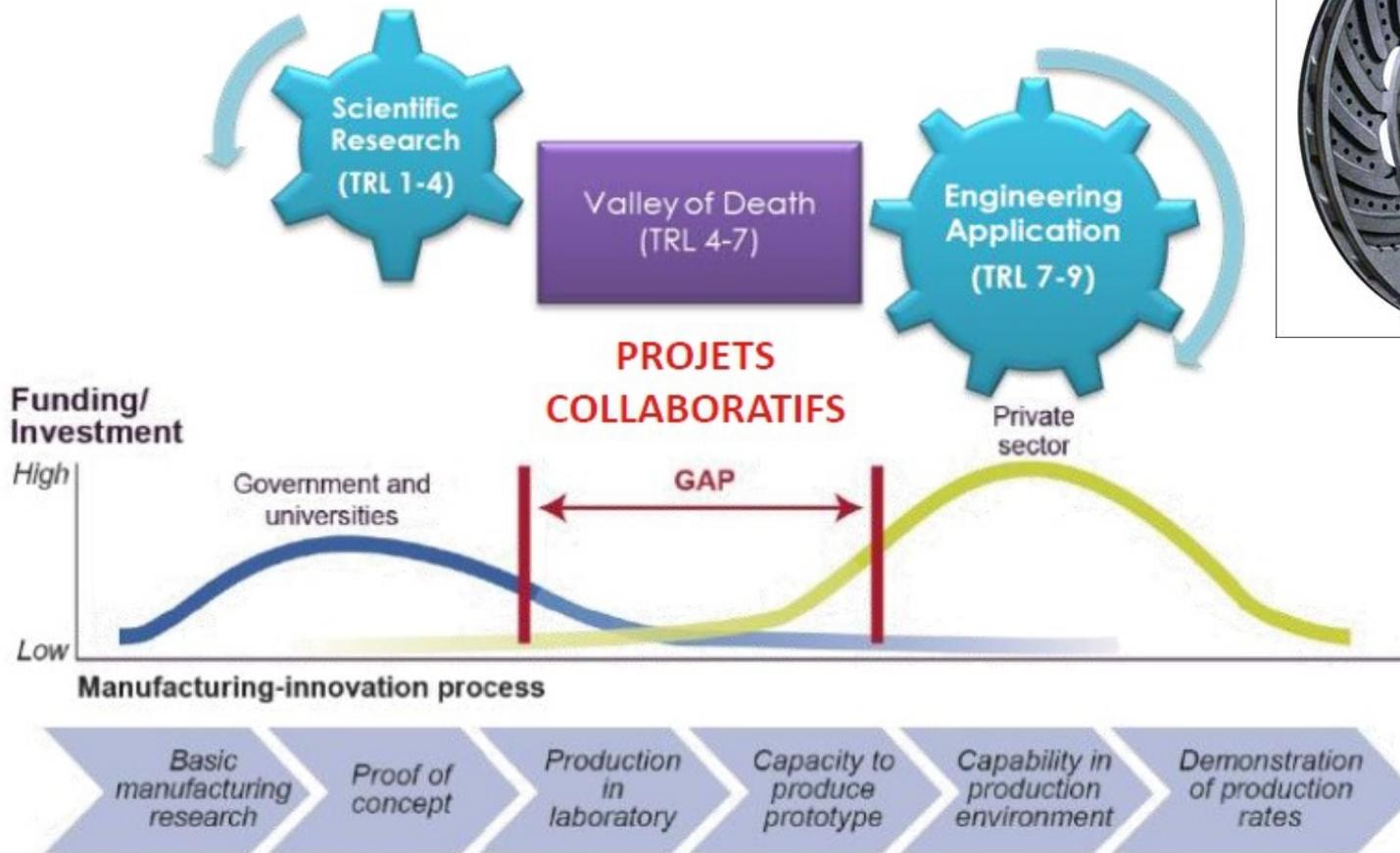
Domaine	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Impression 3D				
Innovation (nouveaux procédés, temps de réalisation, voxels de taille variable, réalisation sans couches, multi-matériaux etc.)				?
Matériaux				
Recyclage				
Economies d'énergie				
Niches applicatives				
Mécanique (métal, céramique, multi-matériaux)				
Réparation				
Spatial		?	?	?
Militaire et systèmes confinés				
Robotique				?
Nano et micro-applications				?
Electronique				?
Médical 3D				
Ruptures en fabrication additive				
4D printing et matière programmable				
Bio-printing				

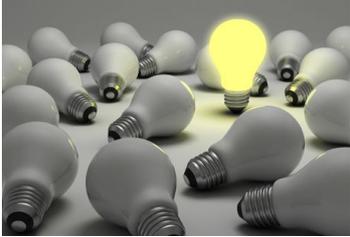
Verrous technologiques actuels

- Temps de fabrication
- Bonne matière
- Multi-matériaux
- Multi-voxels
- Couplage additif soustractif
- Fabrication collective
- Matière informée
- Nouveaux procédés (4D)
- Bio-printing

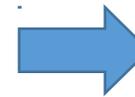
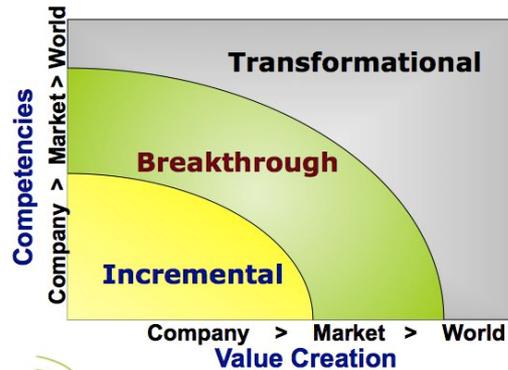


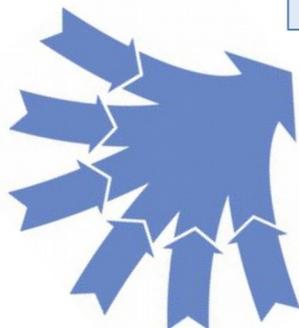
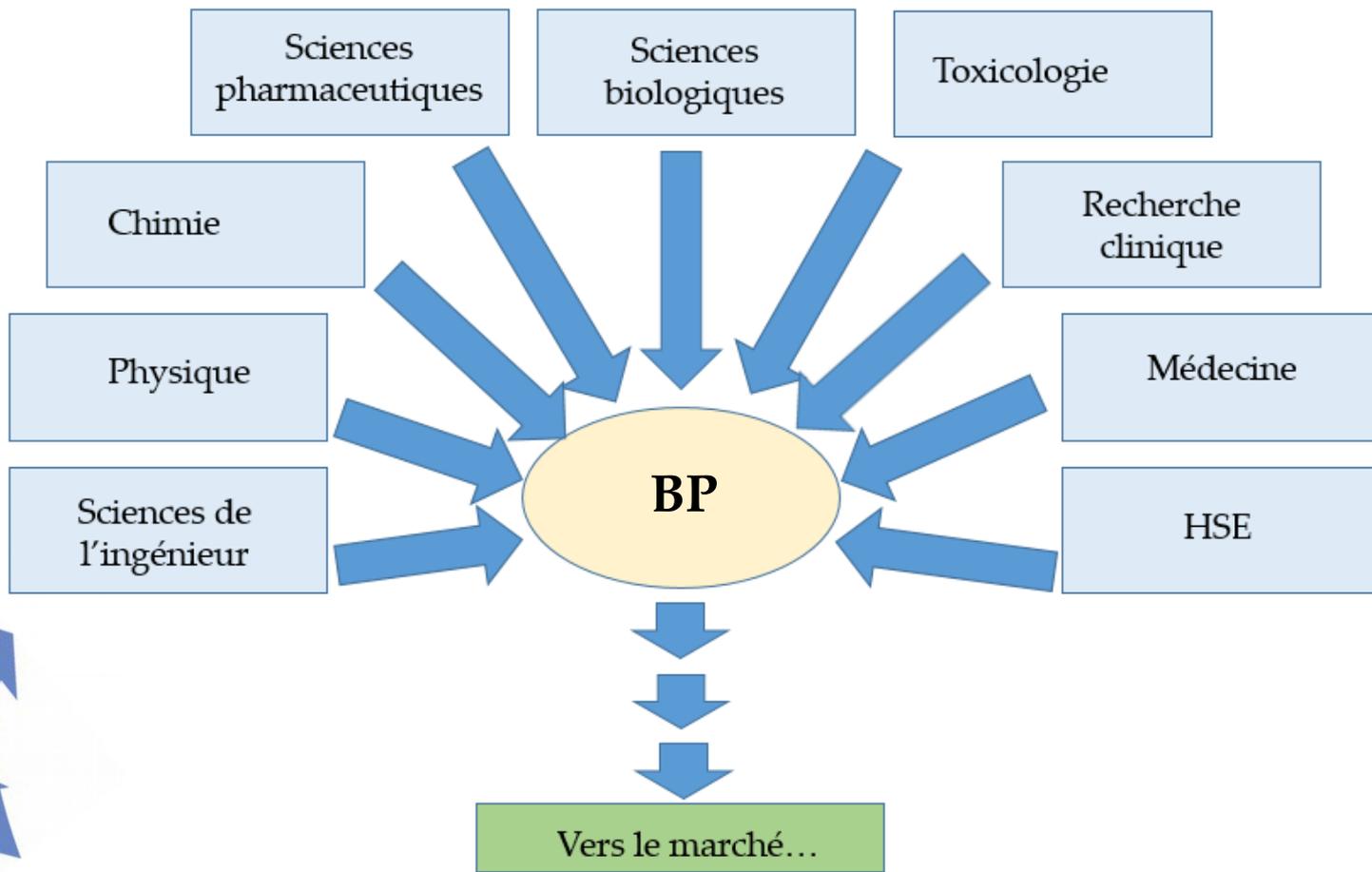
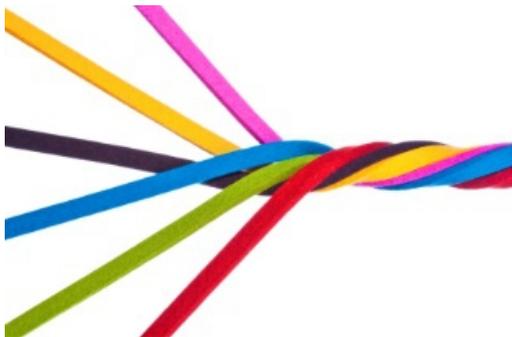
Freins aux développements



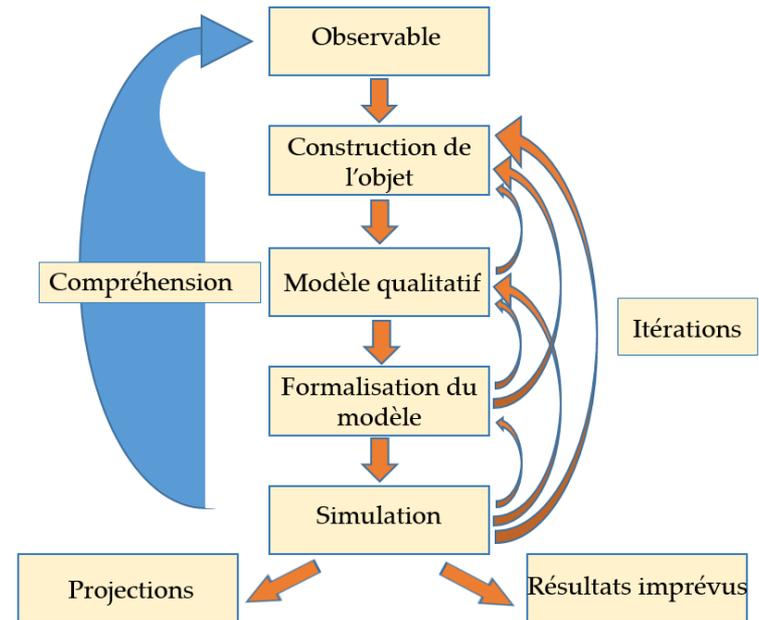
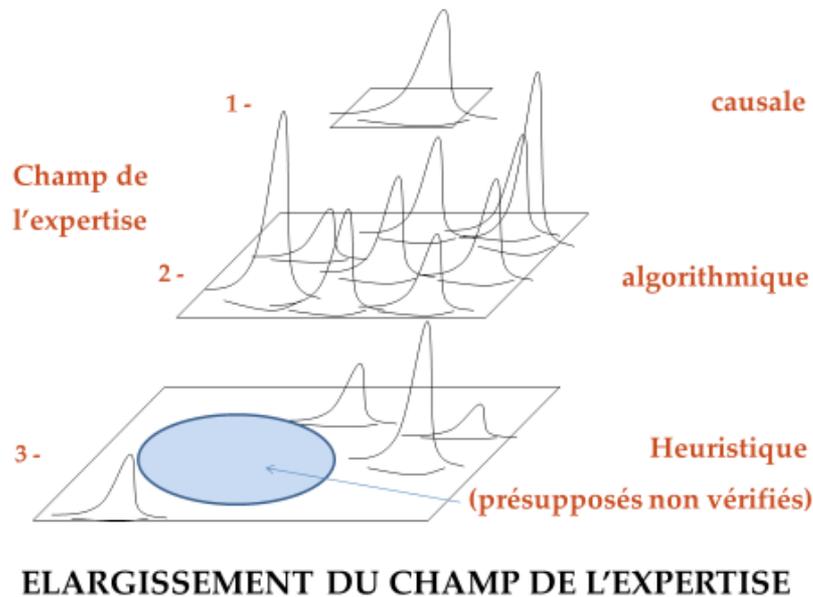
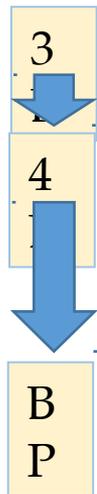


Succès	Innovation incrémentale
	Personnels formés engagés dans ce qui fait le succès
Conformisme	Au mieux, technologies poussées à leurs limites



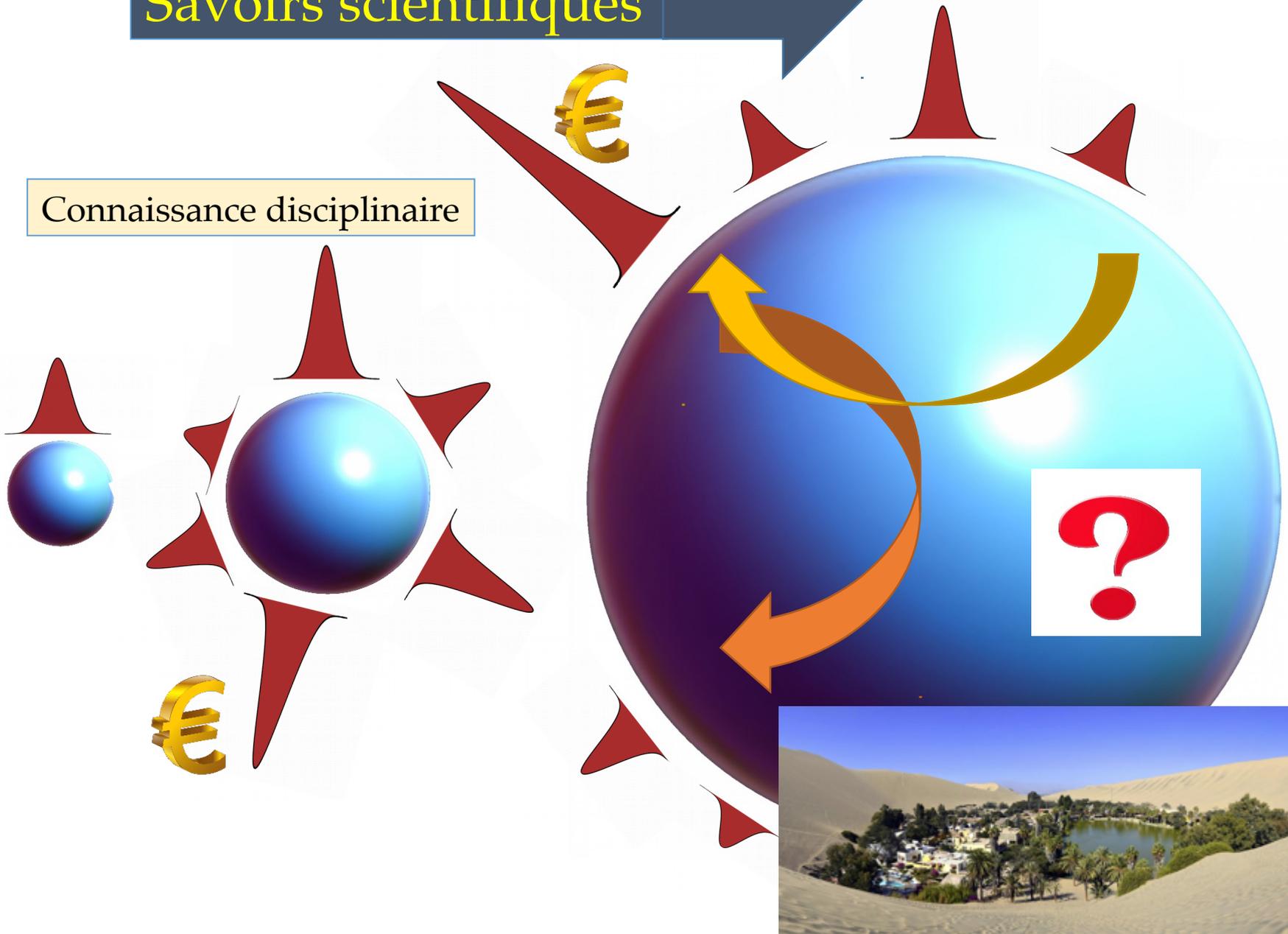


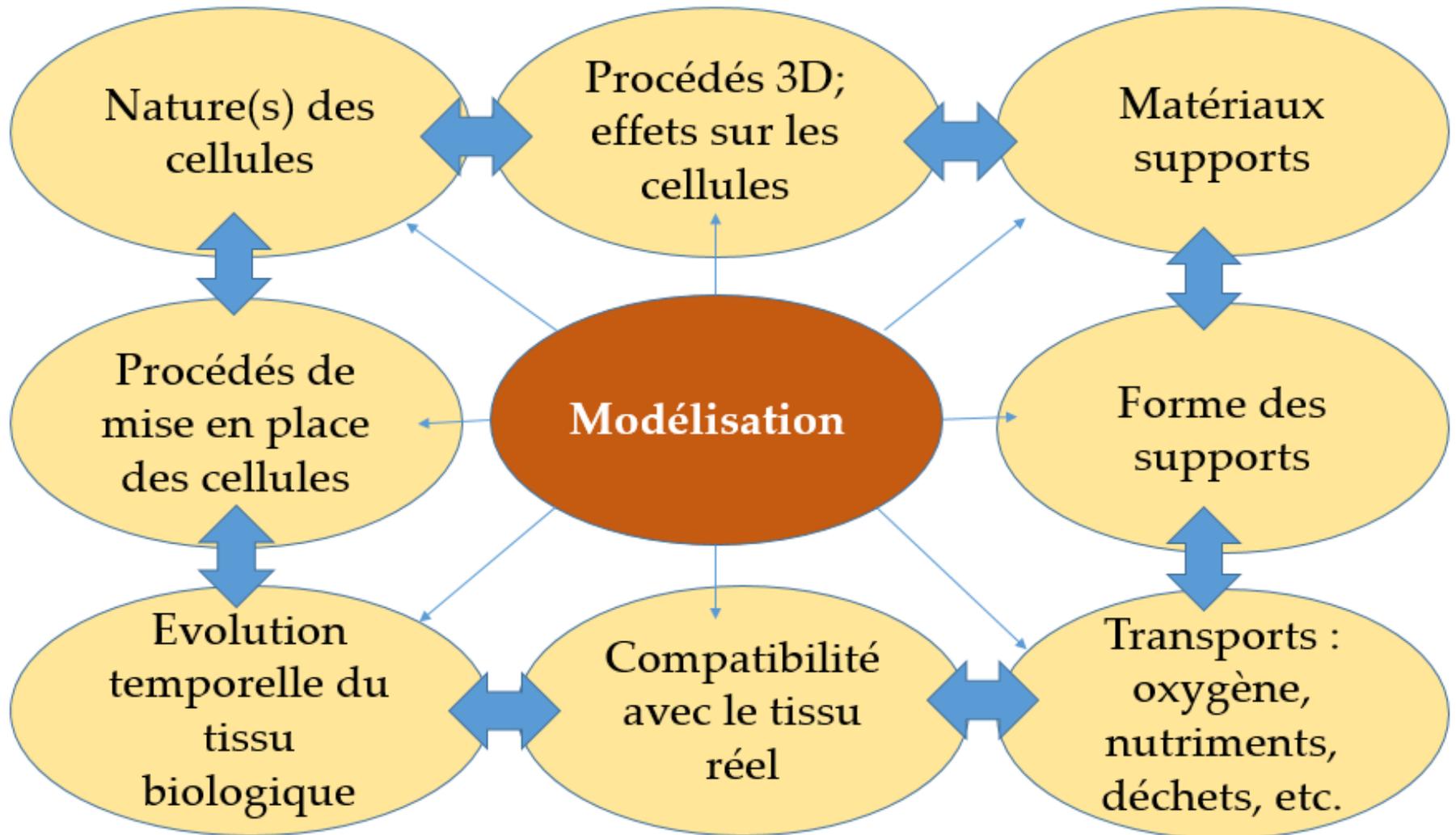
Démarches heuristique et systémique



Savoirs scientifiques

Connaissance disciplinaire







Méthodologies interdisciplinaires
Revisite de ses activités
Management de projet
Couplage expérimentation, théorisation
Plan d'actions optimisés répétabilité
Modélisation robuste
Problème inverse
Analyse des risques

« Slow Science » productive et sous
contrôle de pairs
Créativité et pensée divergente
Confiance
Recherches inscrites dans la durée
Support de la hiérarchie pour la prise
de risques

ressources

Recherche
d'idées

CENSORSHIP
PROTECTING YOU FROM REALITY

Vallée de la mort

Exécution

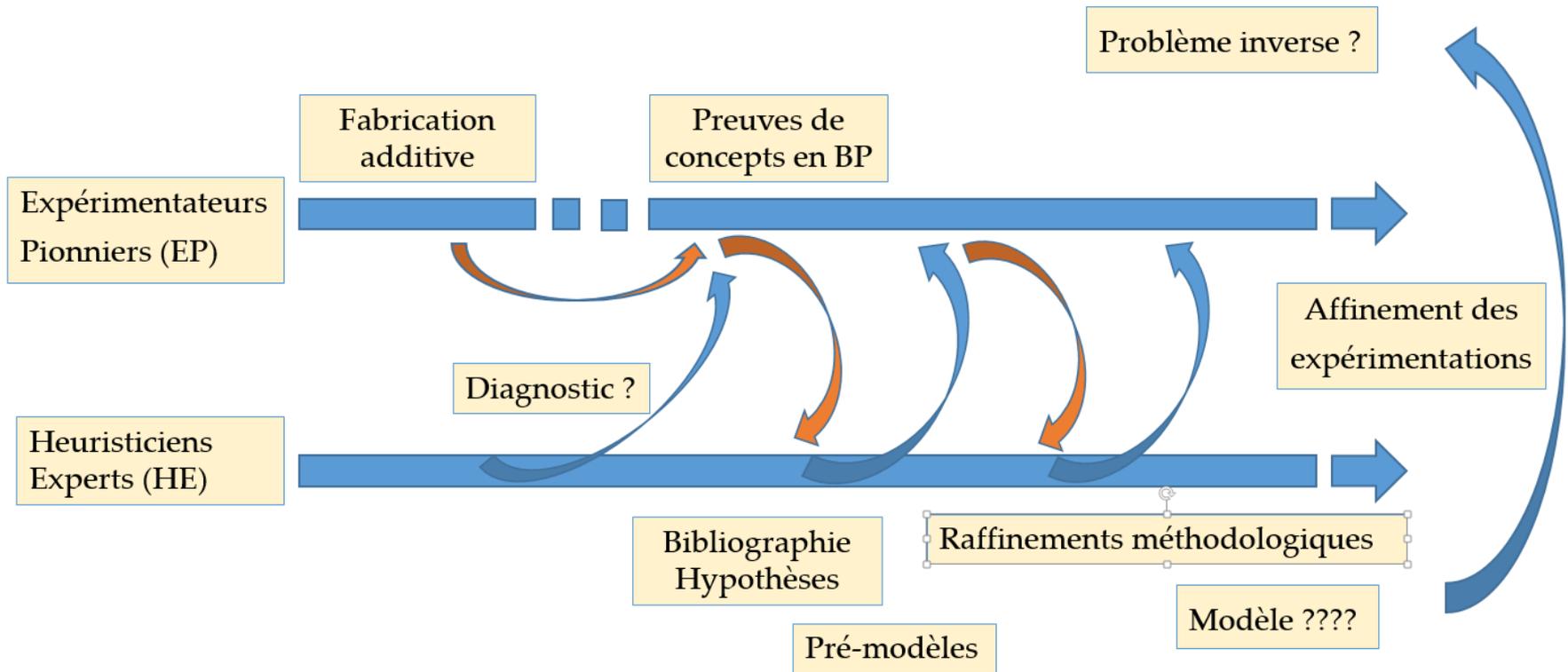
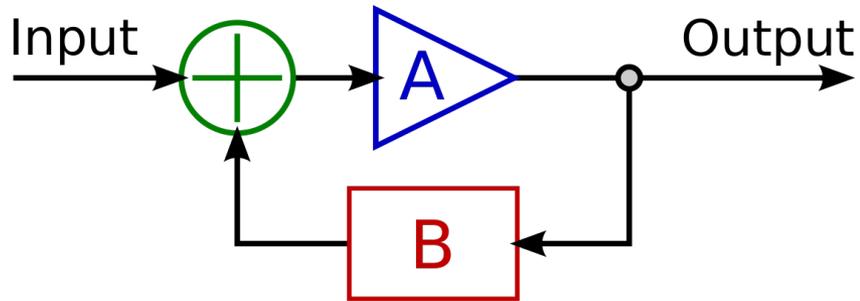
ANR
AGENCE
NATIONALE
DE LA
RECHERCHE



Horizon 2020
Programme

avancement
du processus
d'innovation





Pour conclure provisoirement

- New-Public Management
- Inertie liée au succès
- Personnels compétents en trop faible nombre
- Difficulté de soutenir la créativité (ANR, H2020, Industrie)
- Management de l'interdisciplinarité
- Exploration de la complexité
- Etc...

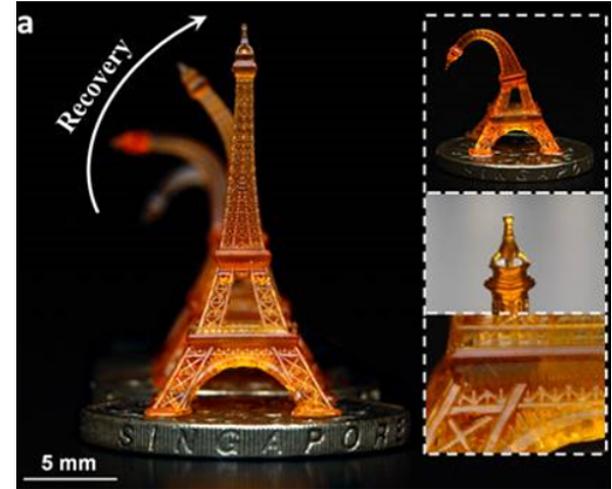
Hype



Points de réflexion généraux

- Exploration scientifique et technologique des couplages procédés-matériaux « classiques » à satisfaire, avec une communauté naissante et une demande externe forte ;
- Financements orientés vers les innovations incrémentales ayant un haut potentiel d'applications concrètes utiles et de retombées économiques ;
- Approche trop inertielle de la recherche ;
- Faible « stock » de capital intellectuel disponible à l'intérieur des milieux de la recherche ;
- Besoin de développer l'intelligence de la complexité en enseignant les bases épistémologiques et les concepts fondamentaux de la pensée complexe ;
- Emersion difficile des idées radicalement nouvelles et perturbatrices non totalement stabilisées qui entrent en compétition avec des technologies robustes avec des prises de risques difficiles à appréhender ;
- L'entreprise doit s'adapter, voire se transformer pour que le nouveau concept se développe de façon optimale (problème de la conduite du changement) ;
- Difficulté des approches interdisciplinaires et soutien à la créativité ;
- Epistémologie de la fabrication additive;
- Approche de nouvelles formes de complexité.

Thank you
for your attention !



Et
demain
?

