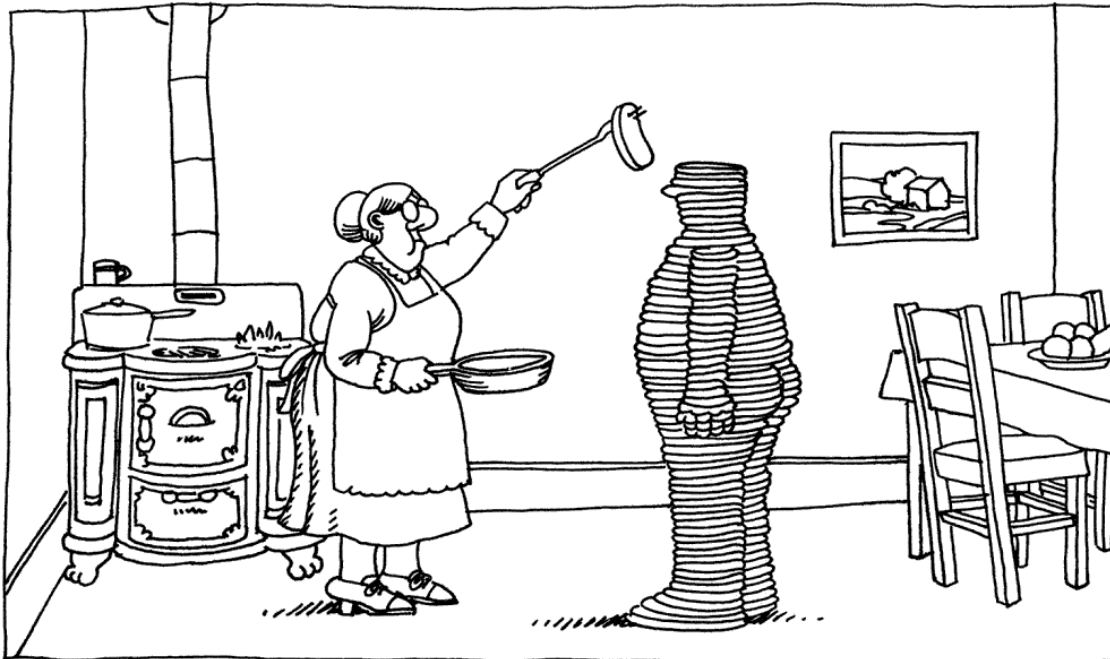


Les différentes technologies d'impression 3D ; leurs forces et leurs faiblesses

MAKING A FLAPJACK PERSON



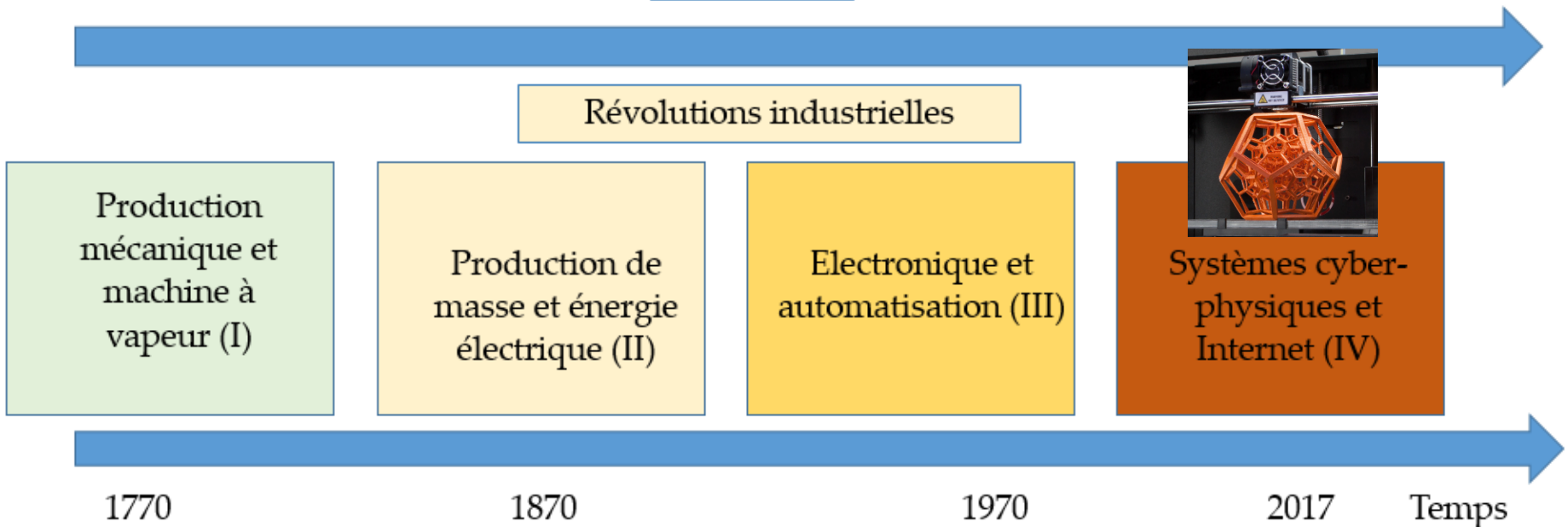
André Jean-Claude

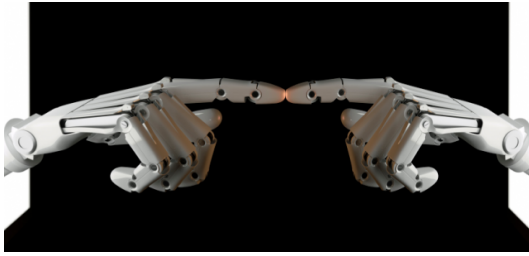
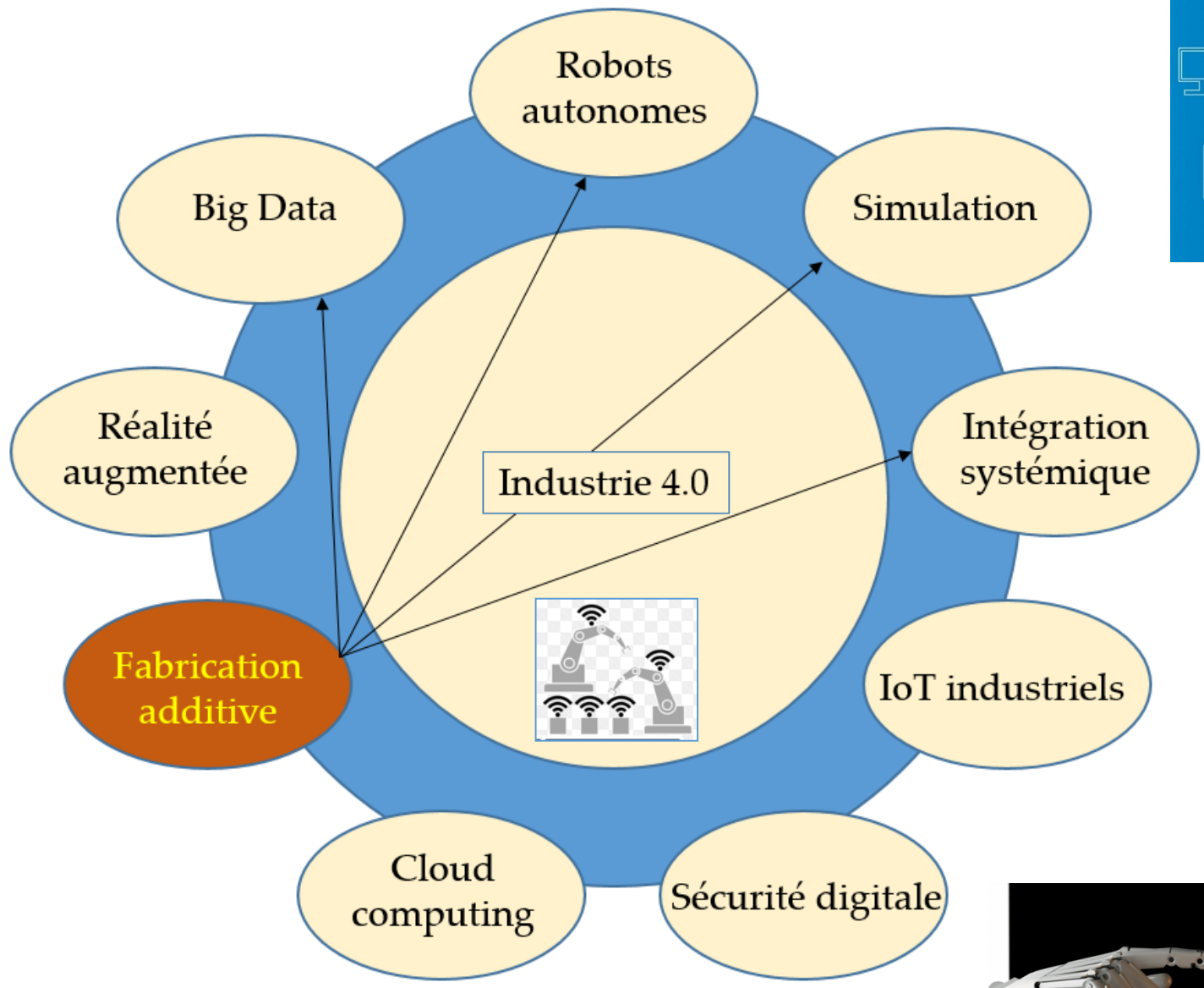
UMR 7274 CNRS-UL Nancy


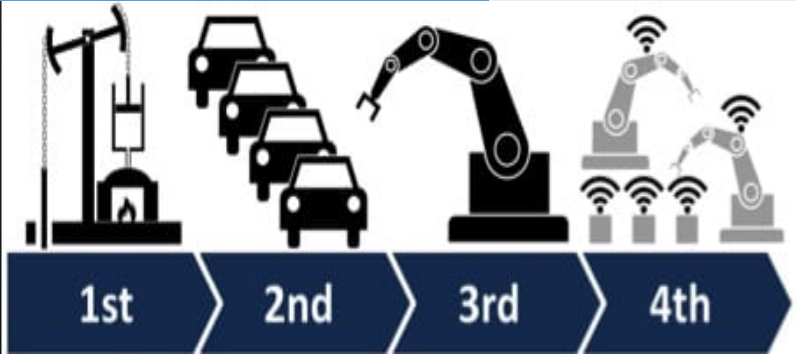
4-7 Juillet 2017 - Marseille

Fabrication additive : Généralités

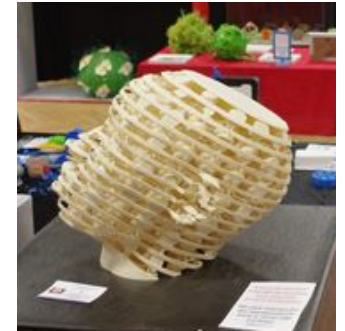
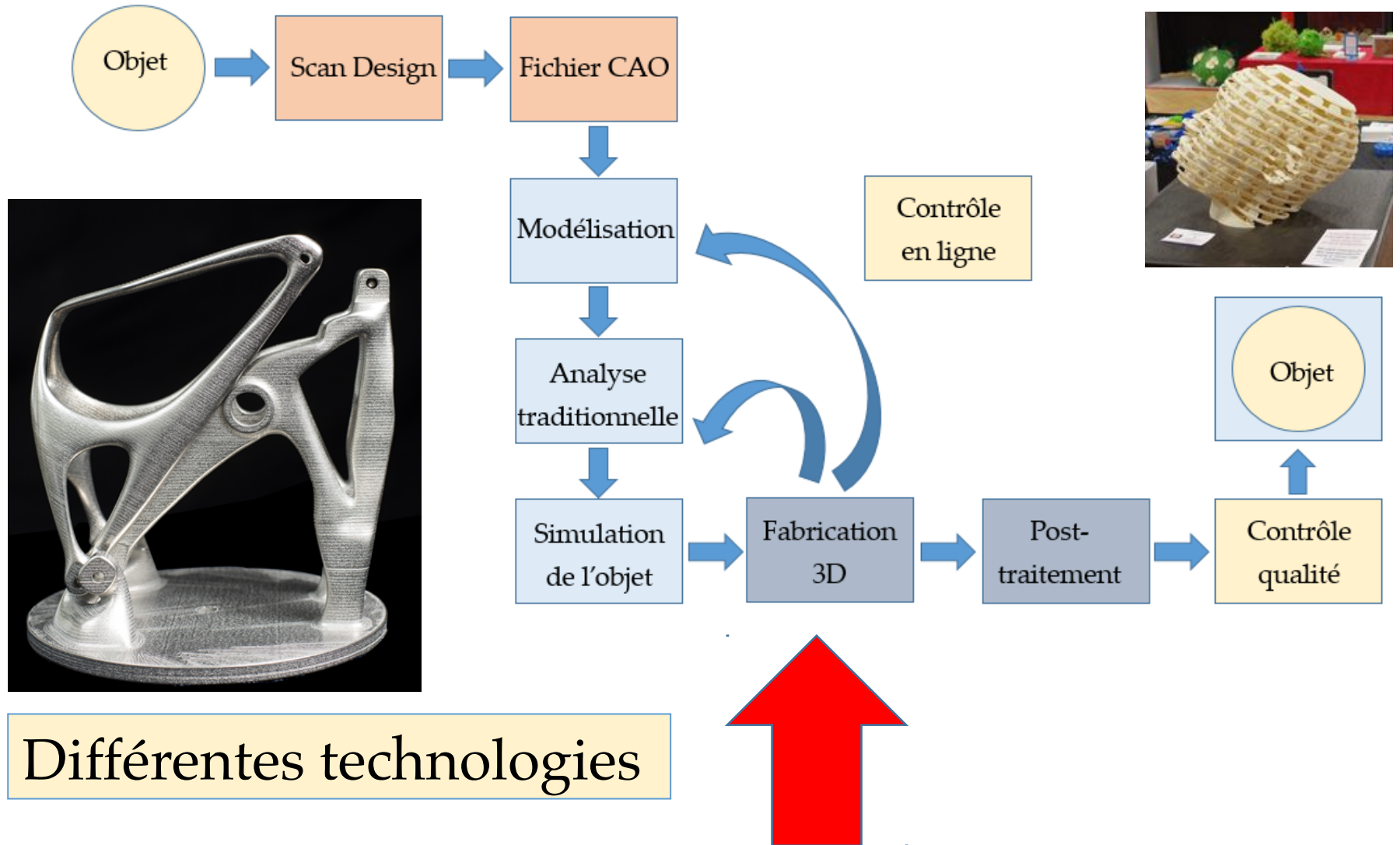
Norme NF-E 67-001 : « Ensemble de procédés permettant de fabriquer, couche par couche, par ajout de matière, un objet physique à partir d'un objet numérique ».





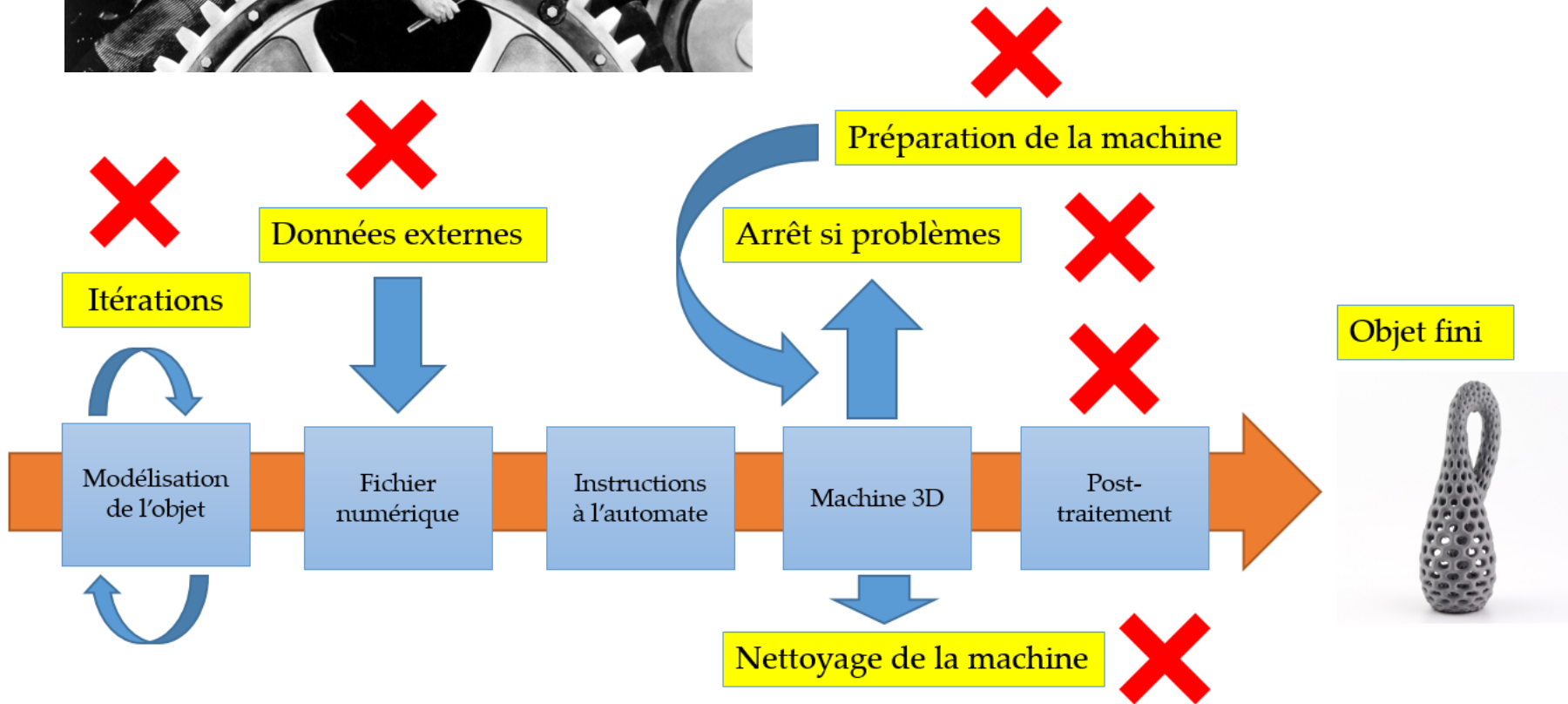
Cadre	Position de la Fabrication additive	Commentaires
<p>Concurrence technologique</p>	<p>2^{ème} / 24</p> 	<p>Situé entre robotique et systèmes autonomes et autonomisation sociale ; la composante bio-printing incluse dans les avancées médicales est au 6^{ème} rang</p>
<p>Importance de la technologie dans les activités de la société</p> 	<p>8^{ème} / 24</p>	<p>La composante bio-printing incluse dans les avancées médicales est au 3^{ème} rang ; les aspects autonomisation sociale (1^{er}) et robotique et systèmes autonomes et autonomisation sociale (2^{ème}) sont plébiscités ; ce résultat est à mettre en lien avec le chiffre d'affaire des technologies 3D encore modeste.</p> <p>En remarque, l'éducation, dans cette enquête est placée en dernière position...</p>

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

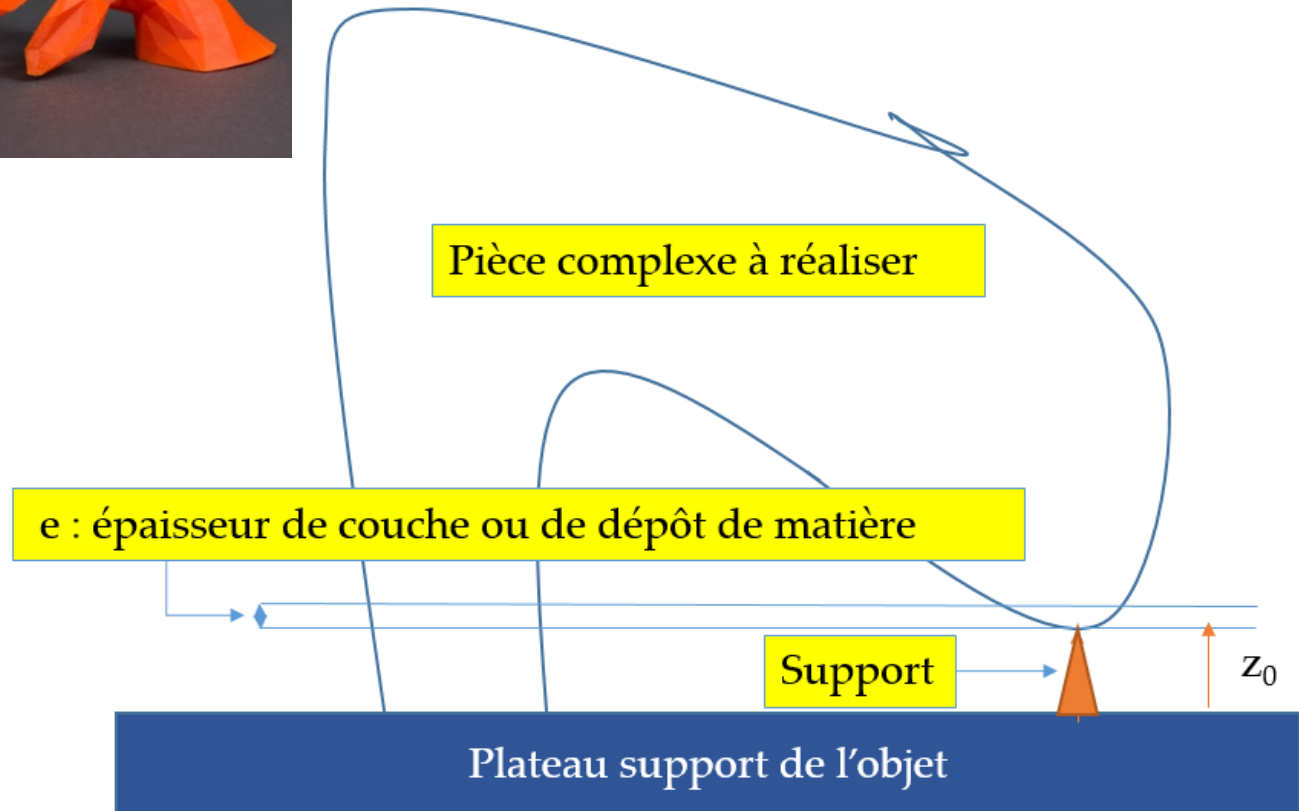
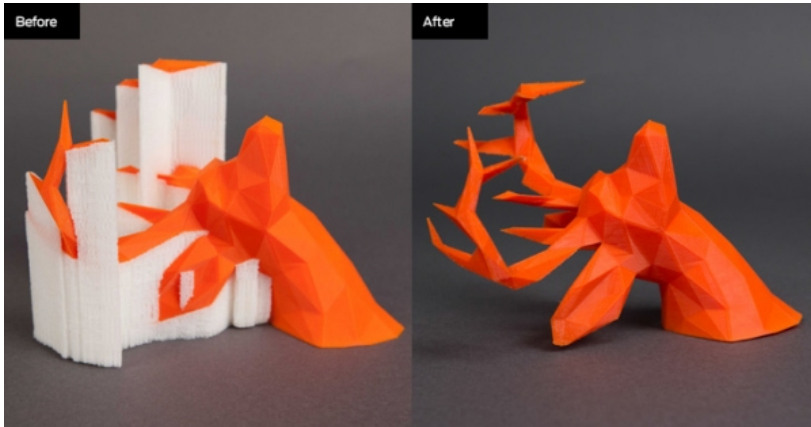


Domaine/ Critères spécifiques	Espace Armée	Transports terrestres	Fonderie	Micro- techniques	Médical	Art	Applications domestiques	Recherche
« Bonne matière »	+++	+++	+++	+++	+++	++	+	+
Résolution spatiale	+++	+++	+++	+++	V	+	+	Variable
Rapidité de production	+++	+++	+	+	+	+	+	+
Ouverture aux autres technologies	+	+++	++	++	++	+	+	V
Taille des objets	< 1m	< 1-2 m	1 m	< 1 cm	10 cm	V	< 10 cm	V
CAO	Complexe	C	C	C	MC	MC	S	V
Précision	+++	+++	+++	++	++	+	+	V
Fonctionnalité des matériaux	+++	+++	+++	++	+++	+	+	V
Coût élevé	++	++	++	++	++	+	-	V
Coût matière	++	++	++	++	+++	+	-	V
Multi-matériaux	V	V	++	++	+	V	-	V
Etat de surface	++	++	++	+++	+++	+	+	V
Couleur	-	-	-	-	-	+	-	V
Biocompatibilité	-	-	-	-	+++	-	-	V
Durée de vie	++	+++	V	V	+++	V	V	V
Réglementation	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	V
Maîtrise des risques	++	+++	+++	+++	+++	++	++	++
Standardisation	++	+++	+++	+++	+++	+	=	V

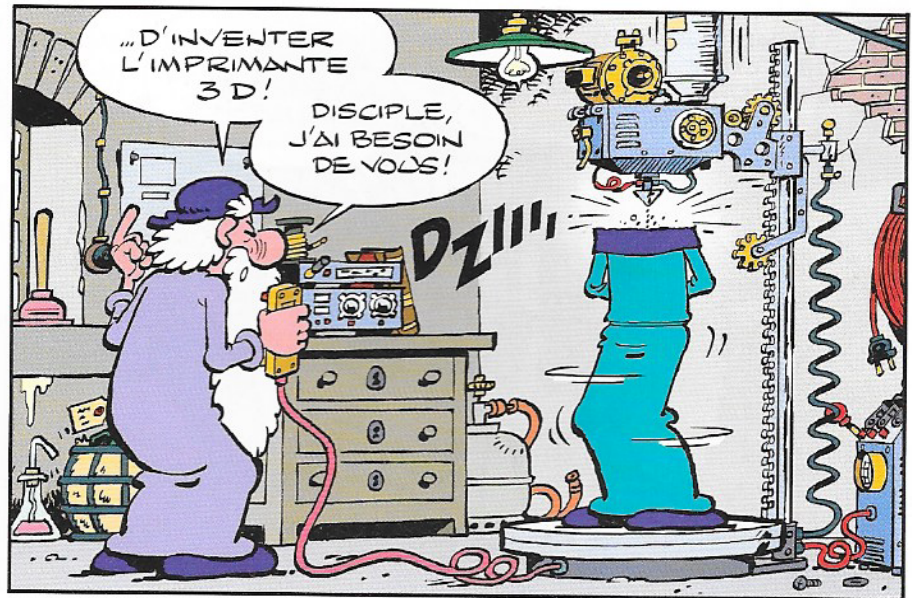
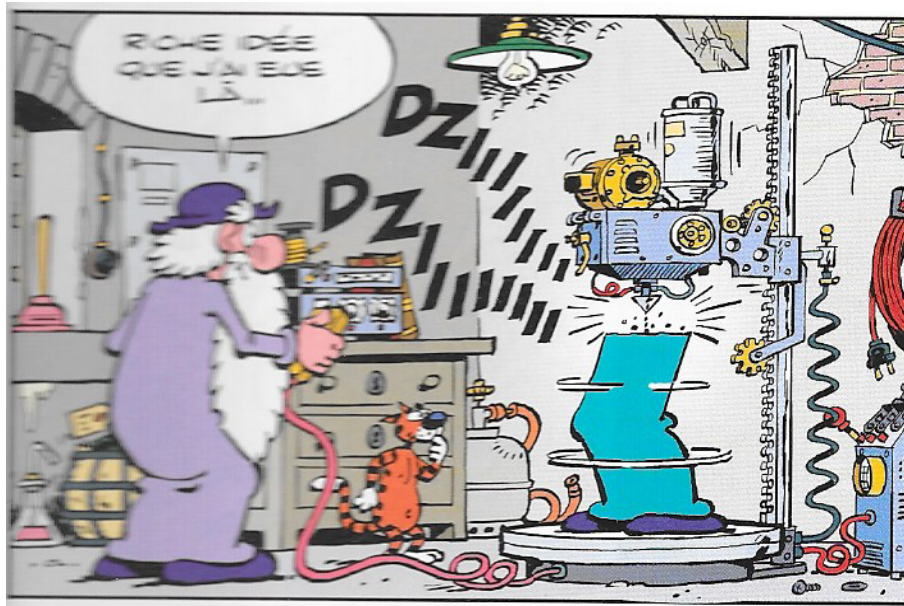
Intervention humaine



La question des supports

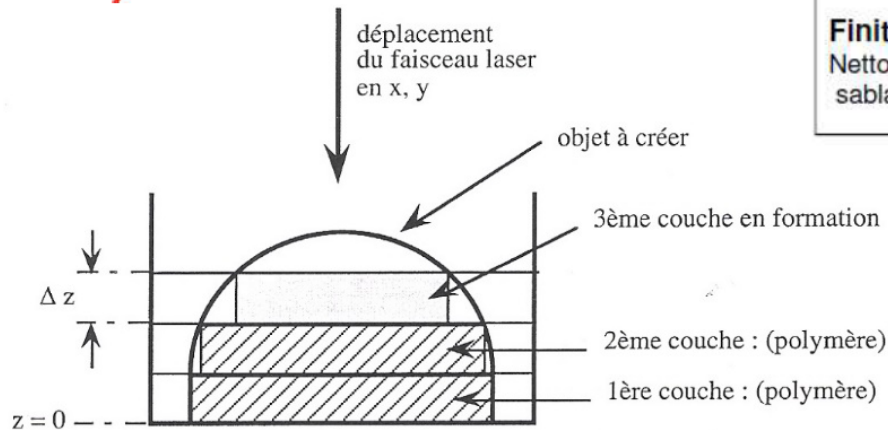
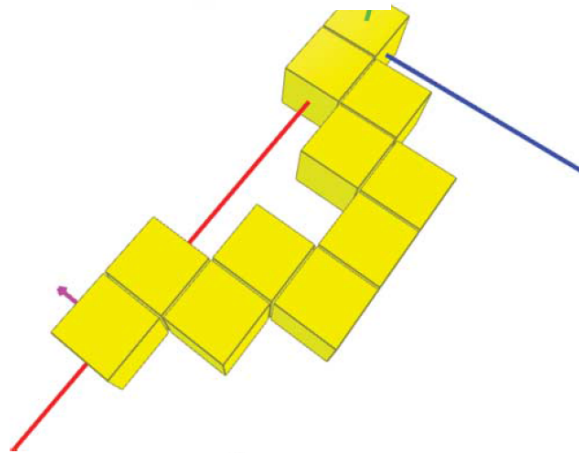


Les différentes technologies

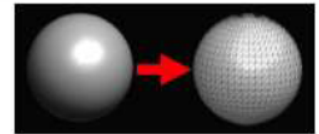




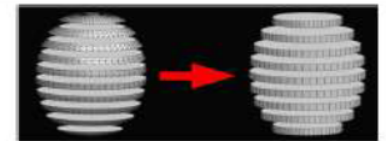
Idée



Données numériques
Fichier CAO 3D - STL



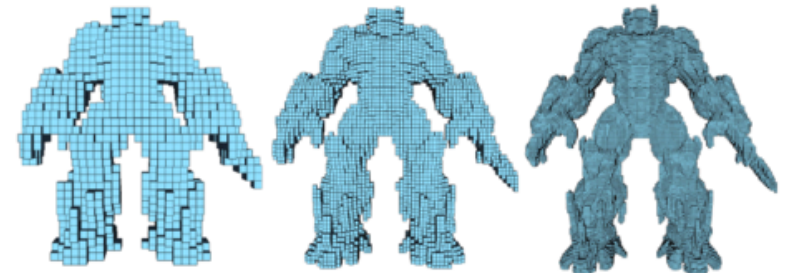
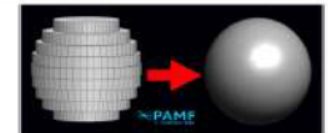
Préparation des fichiers
Correction fichiers, orientation,
placement pièces, support, tranchage

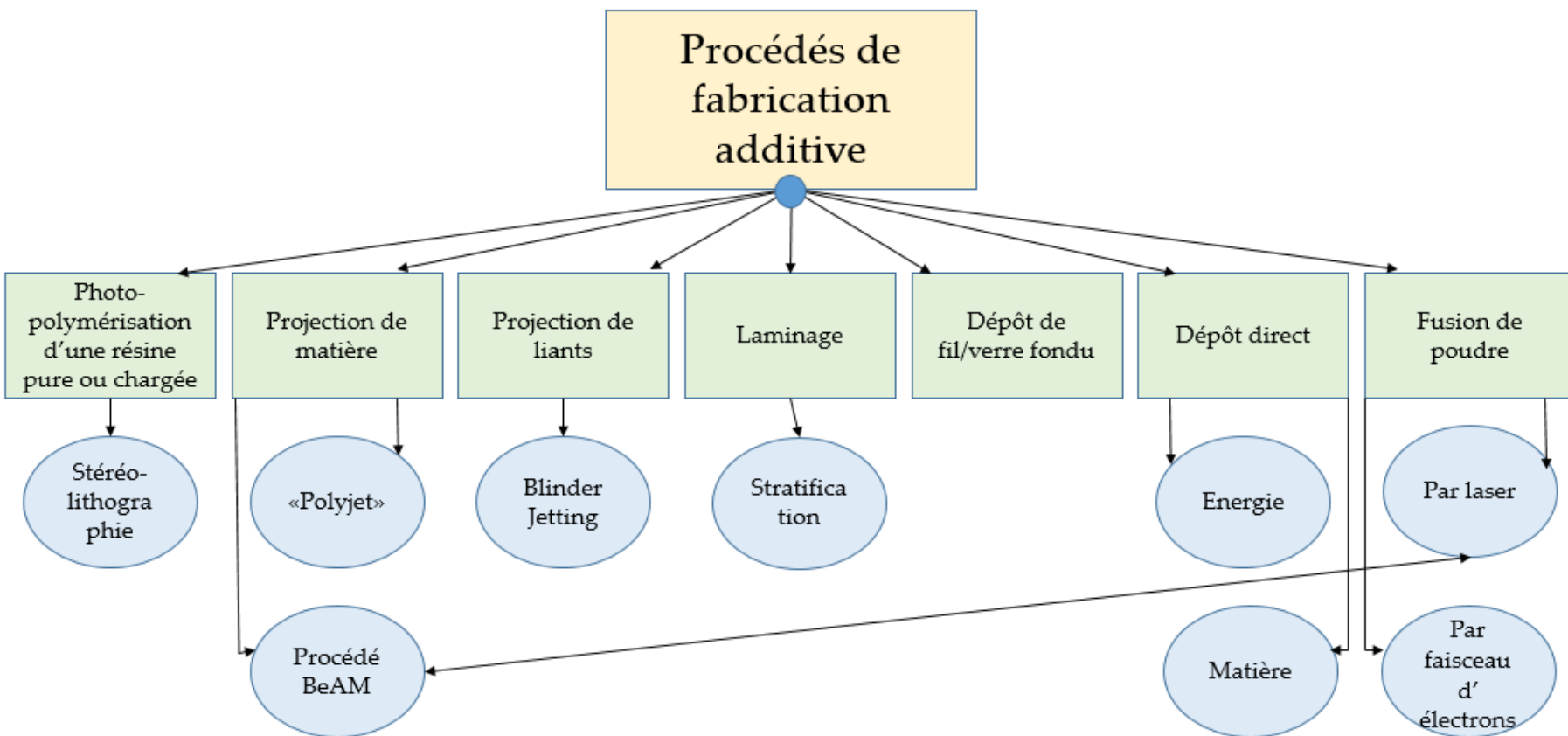
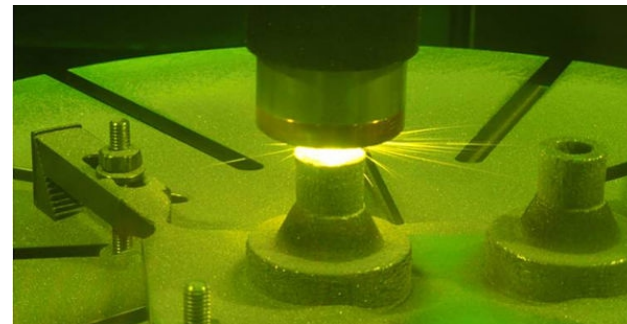
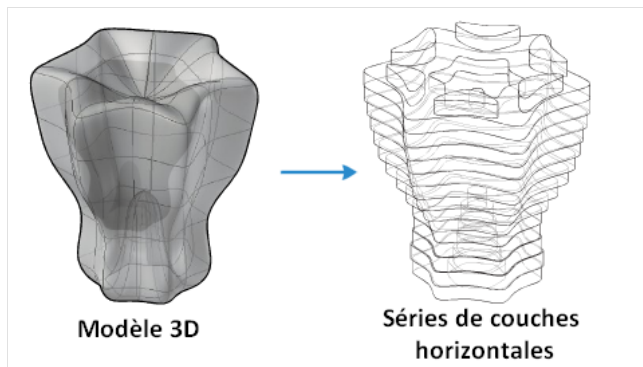


Fabrication



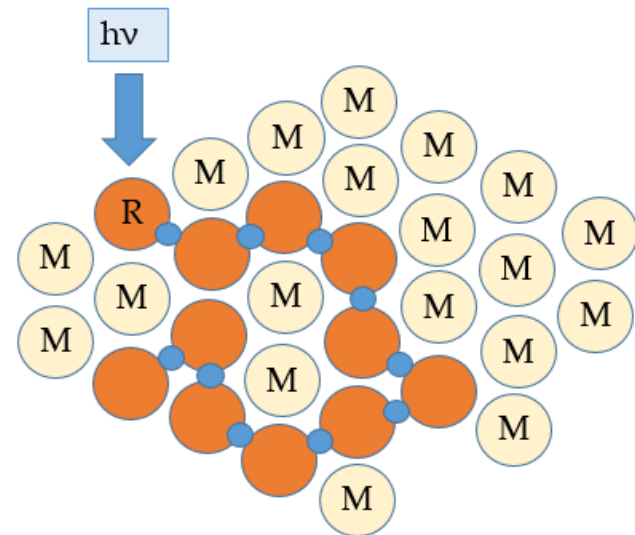
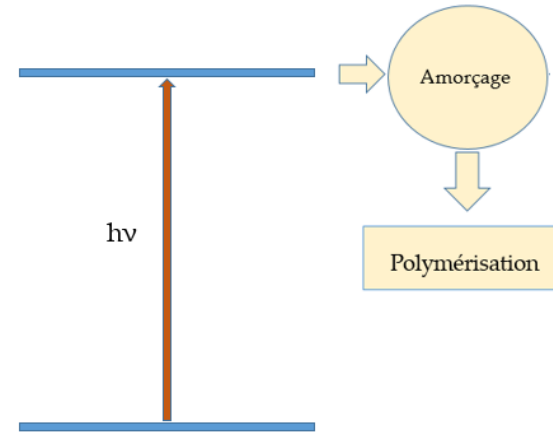
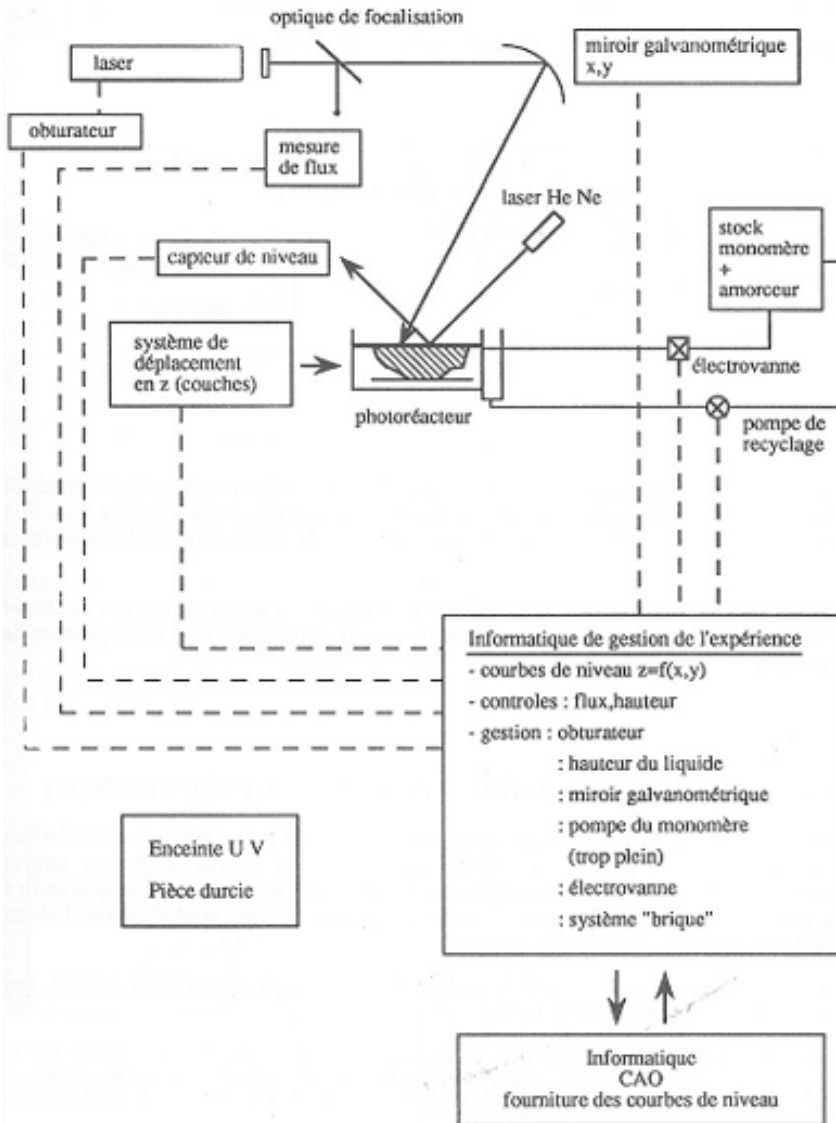
Finitions
Nettoyage, enlèvement des supports,
sablage, usinage,..

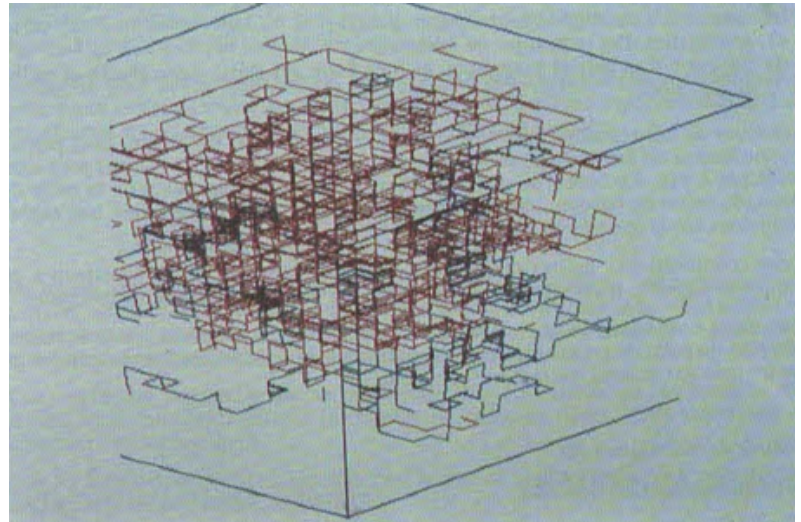
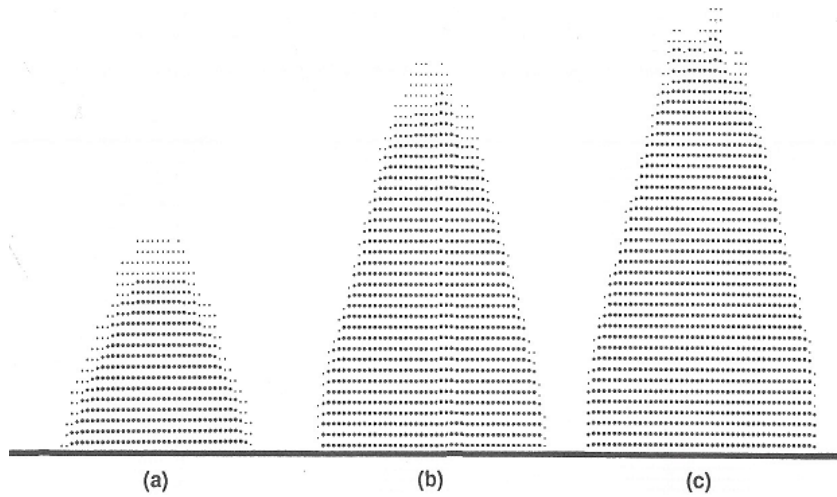
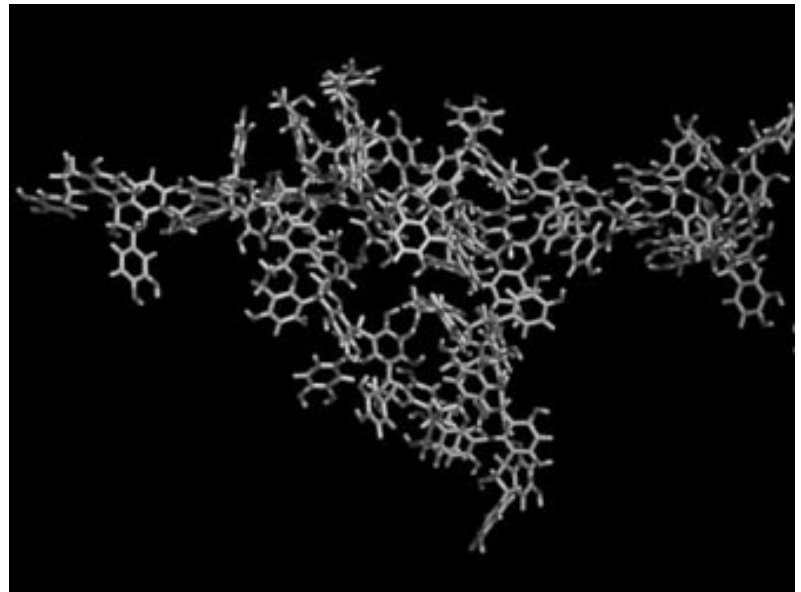
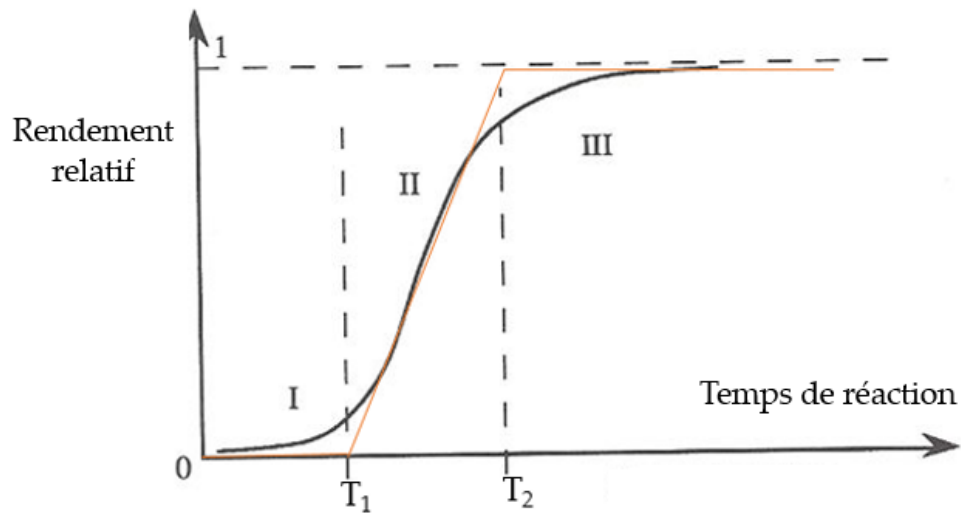


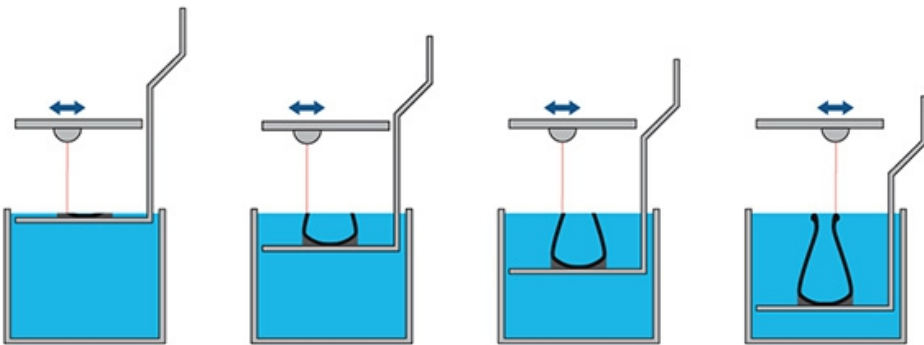
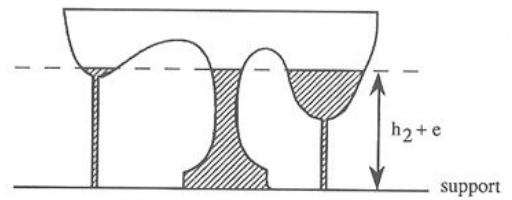
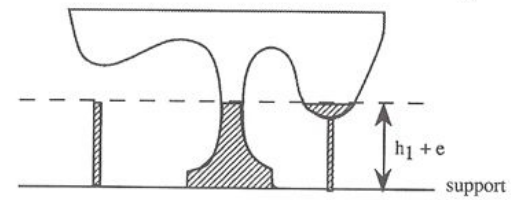
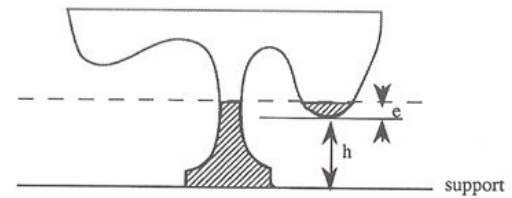
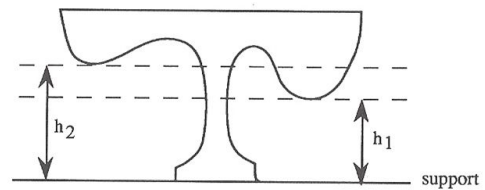
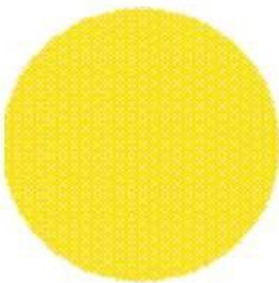
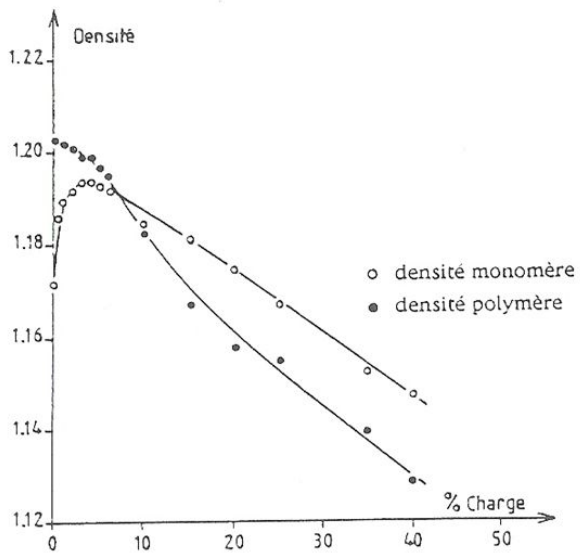


Procédé	Energie	Matière	Principe	Nature des liaisons	Post-traitement	Spécificités
Stéréolithographie	Lumière 	Monomère	Réaction chimique	Photo-polymérisation résolue dans l'espace	Post-polymérisation Nettoyage Elimination des supports	Absorption mono et bi-photonique Supports Du μm au m Problèmes de vieillissement et de retrait Possibilité de travailler avec des matériaux chargés
Projection de matière (1)	Lumière	Goutte de monomère liquide ; de poudre fusible	Réaction chimique	Photo-polymérisation Fusion de poudre	Ebarbage Post-polymérisation	Grand choix de matières
Projection de matière (2)	Sans	Goutte d'un matériau fondu	Solidification	Collage résolu en surface	Cf. supra	Cf. supra
Projection de liants	Agent de liaison	Matériau pulvérulent	Réaction de collage	Collage résolu en surface	Elimination de la poudre en excès	Pas de supports Couleurs multiples Fragilité des objets
Laminage	Collage soudure	Feuille	Découpe résolue en surface	Collage	Séparation des feuilles	Objet anisotrope Peu coûteux
Dépôt de verre/fil fondu	Sans	Matière fondue	Solidification	Collage résolu en surface	Elimination des supports	Précision Qualité de surface Peu coûteux
Dépôt direct Fusion de poudre (1)	Laser	Matériau pulvérulent	Solidification	Collage résolu en surface	Elimination de la poudre en excès	Etat de surface améliorable Grand choix de matériaux
Dépôt direct Fusion de poudre (2)	Source électronique	Matériau pulvérulent	Solidification	Collage résolu en surface	Elimination de la poudre en excès	Cf. supra
Dépôt direct Fusion de poudre (3)	IR + Masque	Matériau pulvérulent	Solidification	Collage résolu en surface	Elimination de la poudre en excès	Cf. supra

Stéréo-lithographie







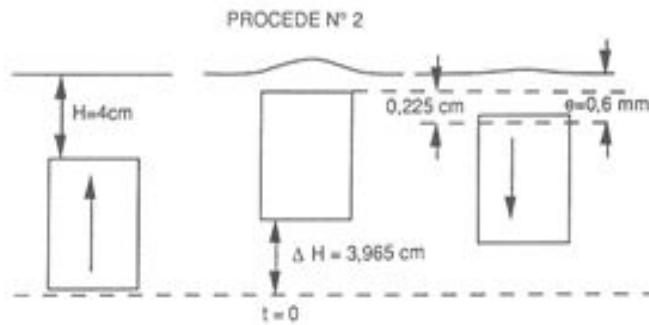
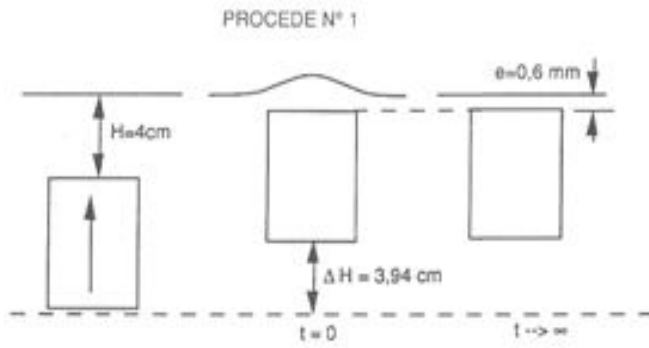


Figure 12 – Deux méthodes de mise en place des couches.

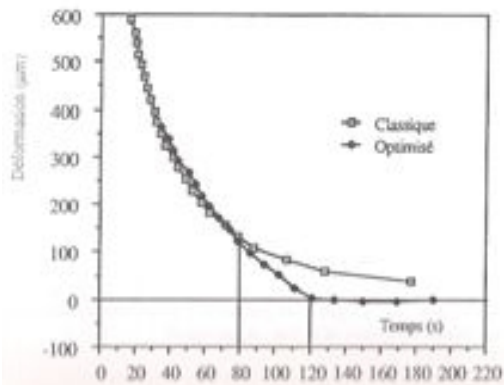
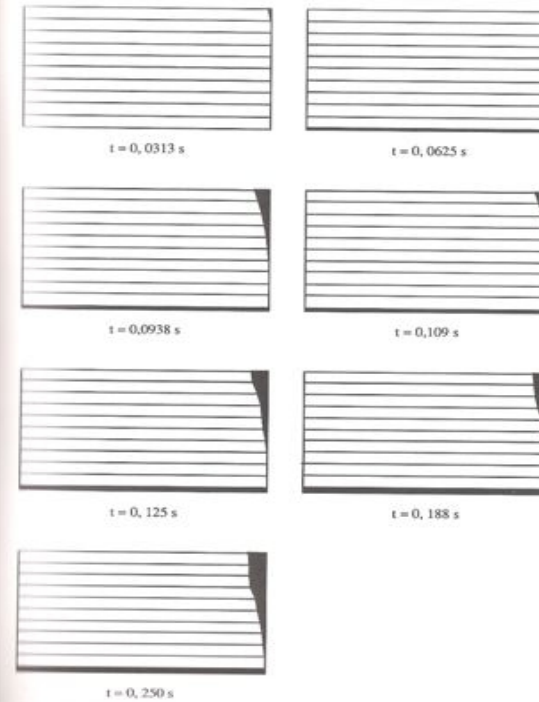
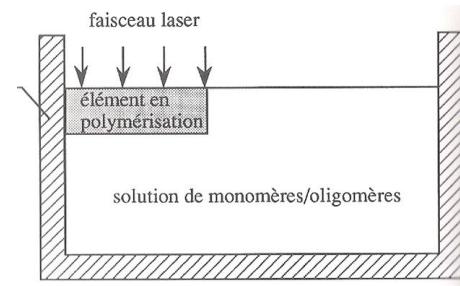
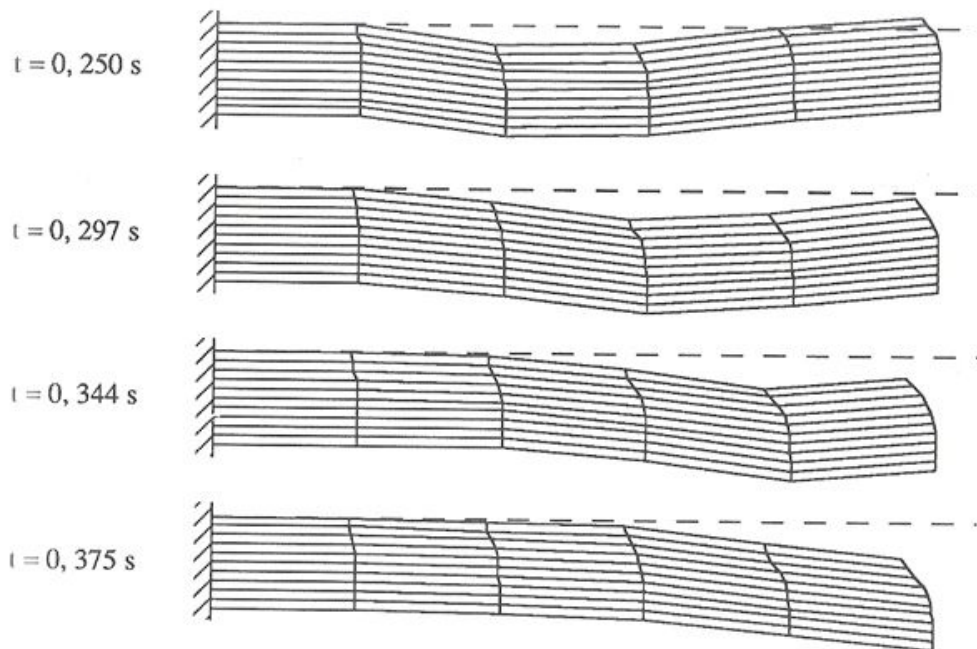
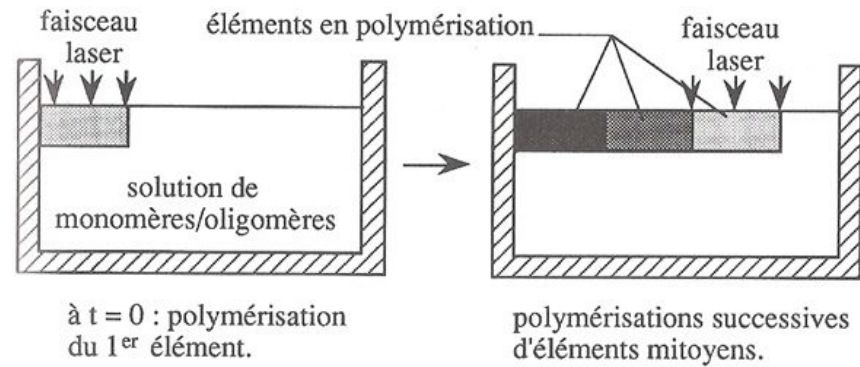
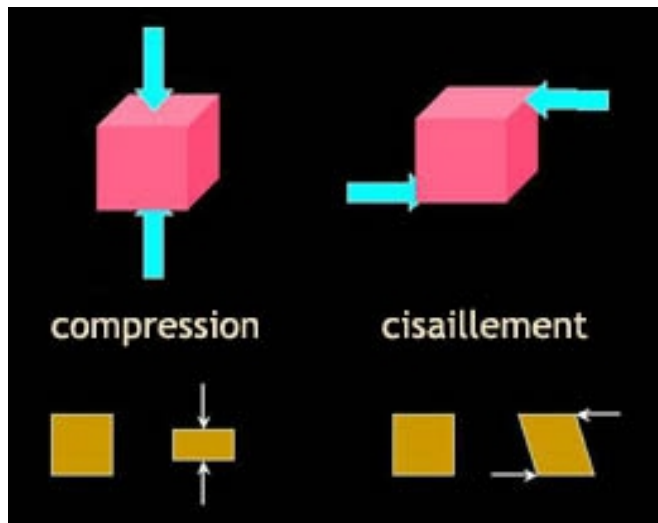


Figure 13
Comparaison des deux procédés.

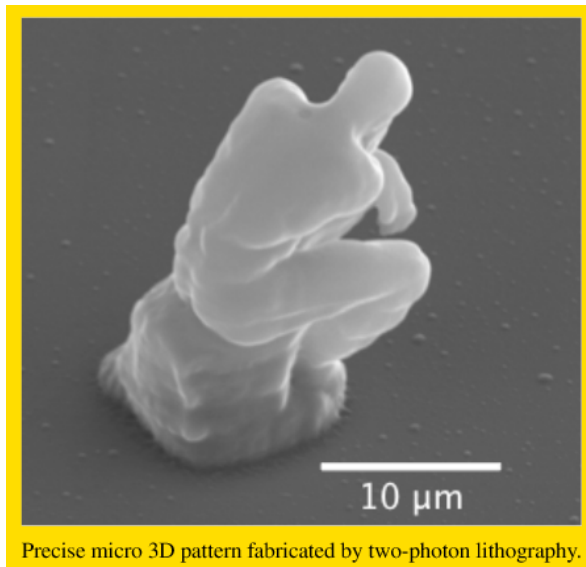
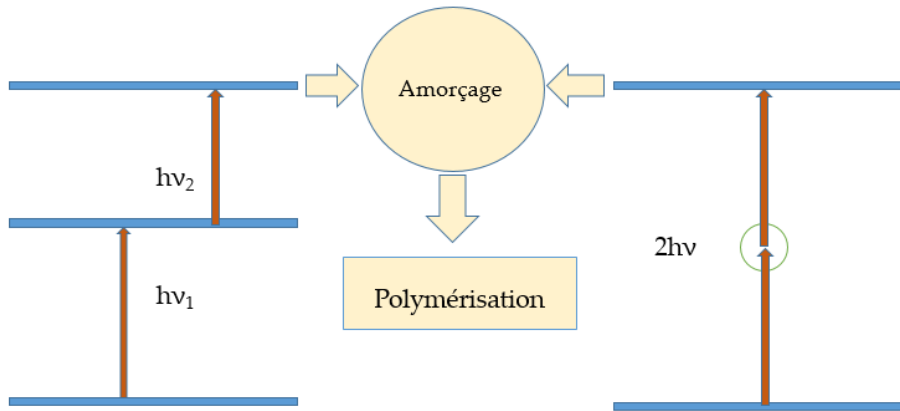


Stéréo-lithographie : conclusion

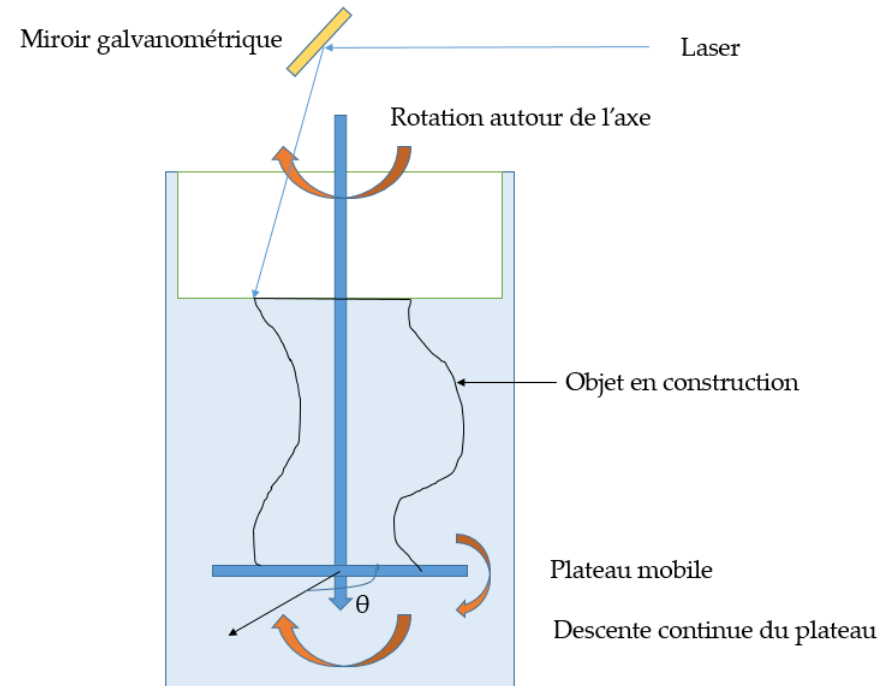
- Méthode historique...
- Environ $100\ \mu\text{m}$ de résolution R
- Voxels uniques \rightarrow Temps proportionnel à (R^{-3})
- Polymères éventuellement chargés (céramiques)
- Mono-matière
- Pas de fabrication collective
- Nombre de résines très grand
- Retrait ; état de surface
- Etalement des couches
- Podisation (supports)
- Chemin optimisé du déplacement de la lumière

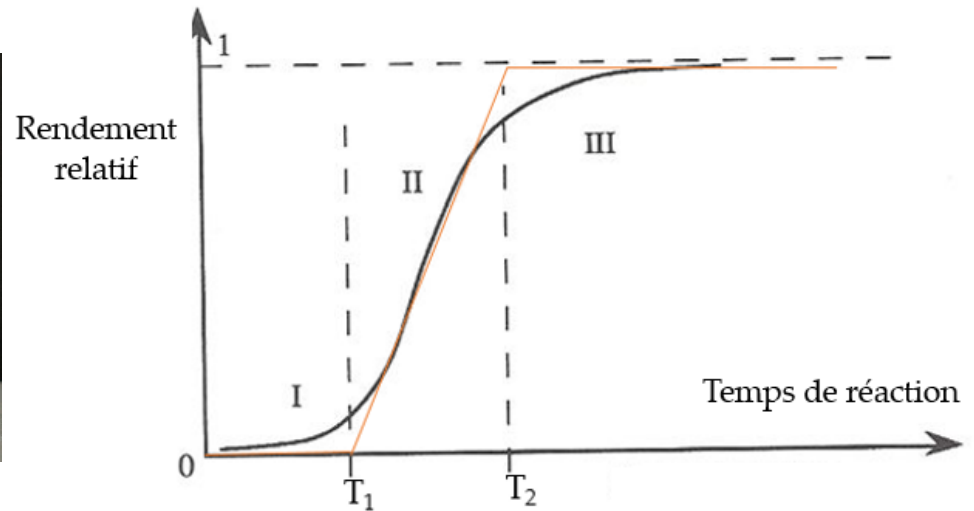
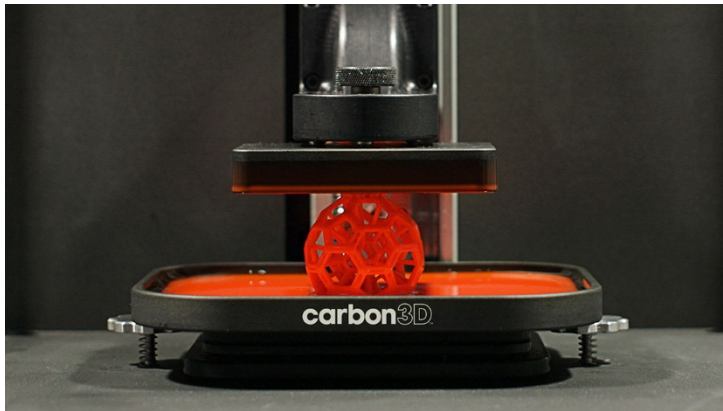
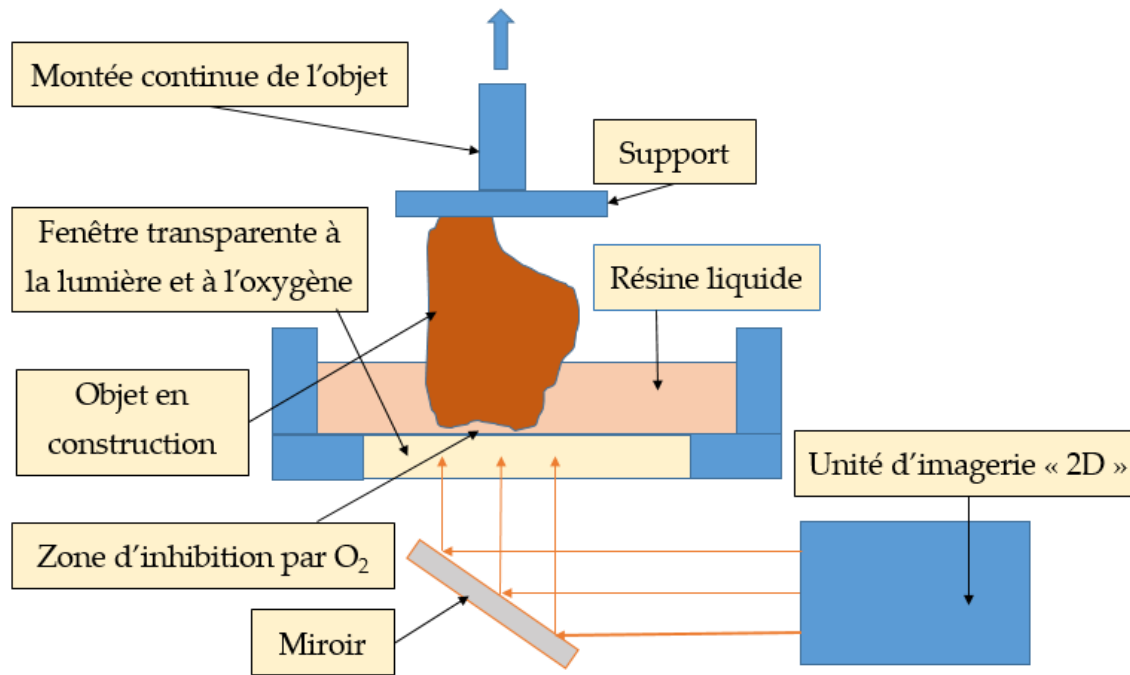


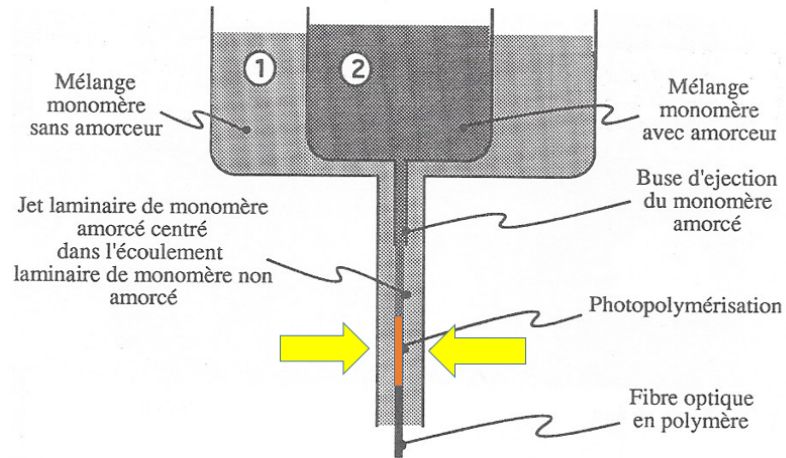
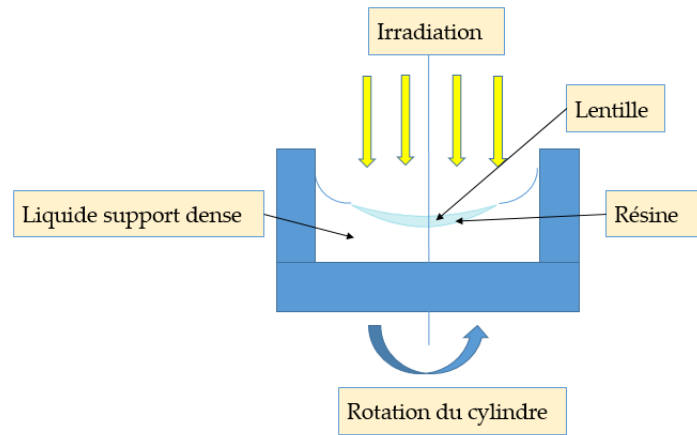
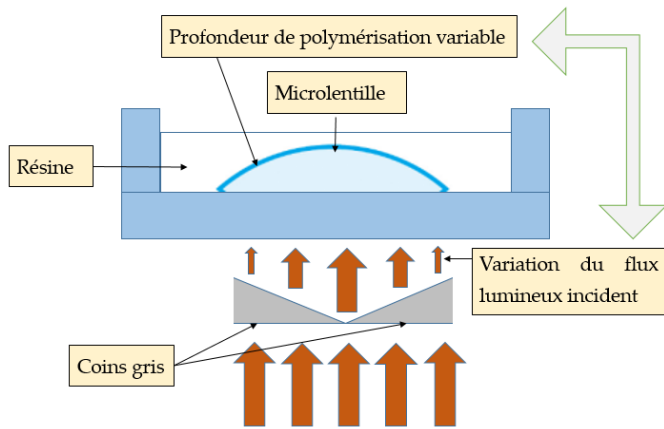
Autres méthodes photoniques



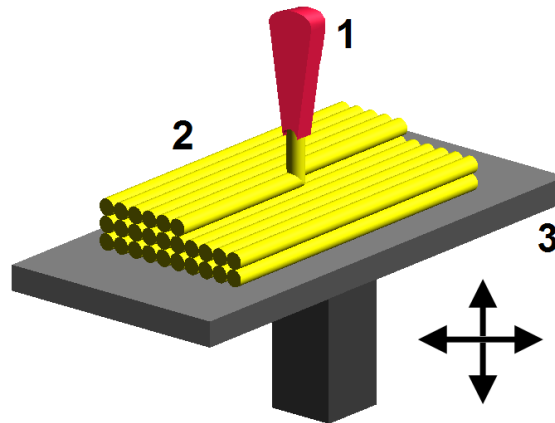
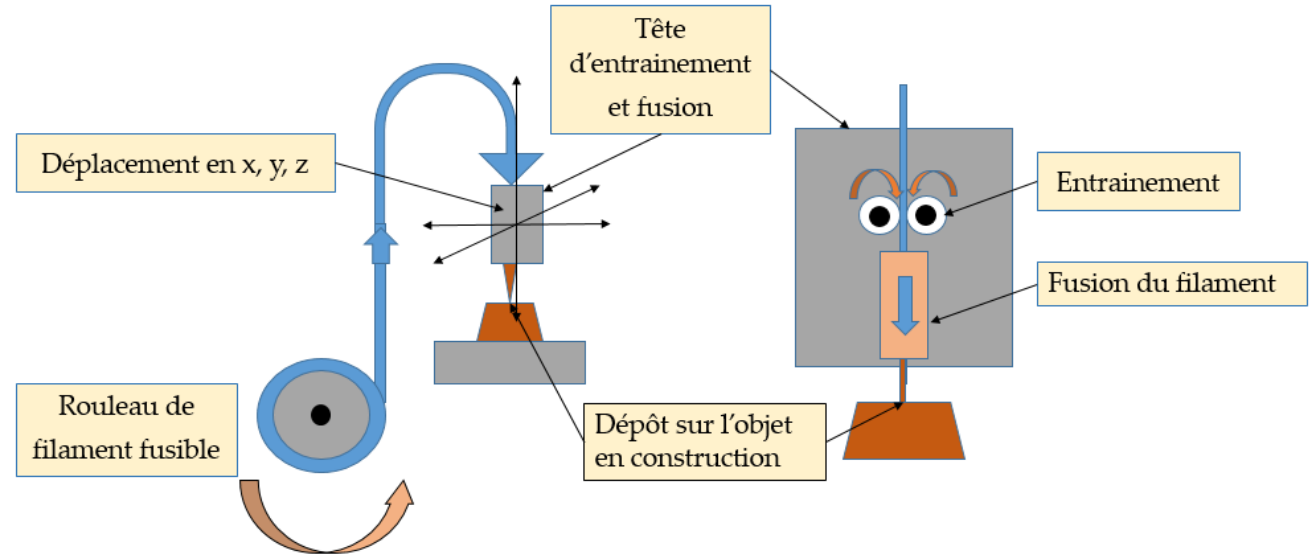
Precise micro 3D pattern fabricated by two-photon lithography.







Procédé par fusion de fil

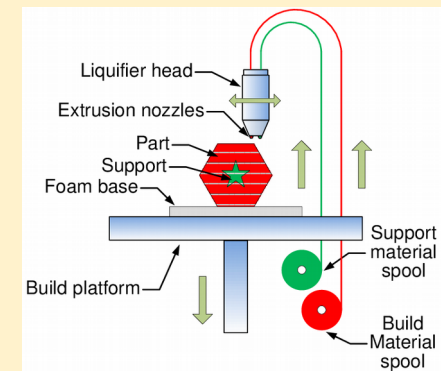


Extension

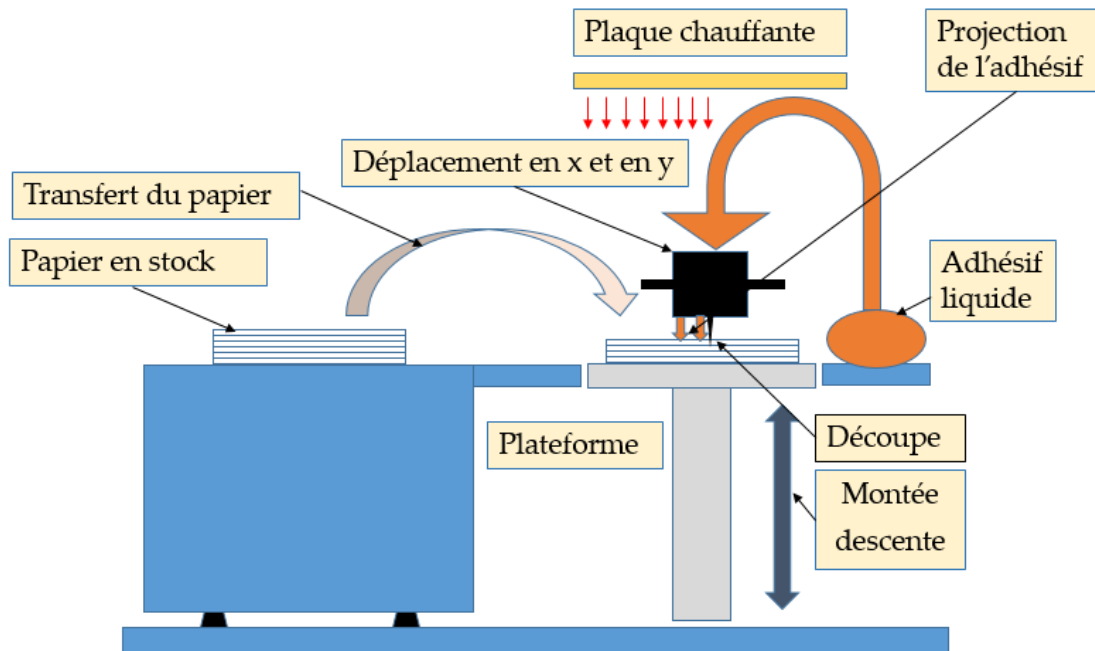
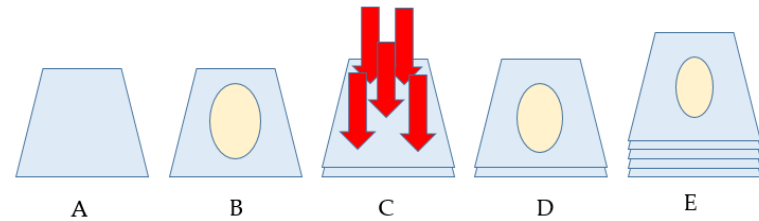


Conclusion

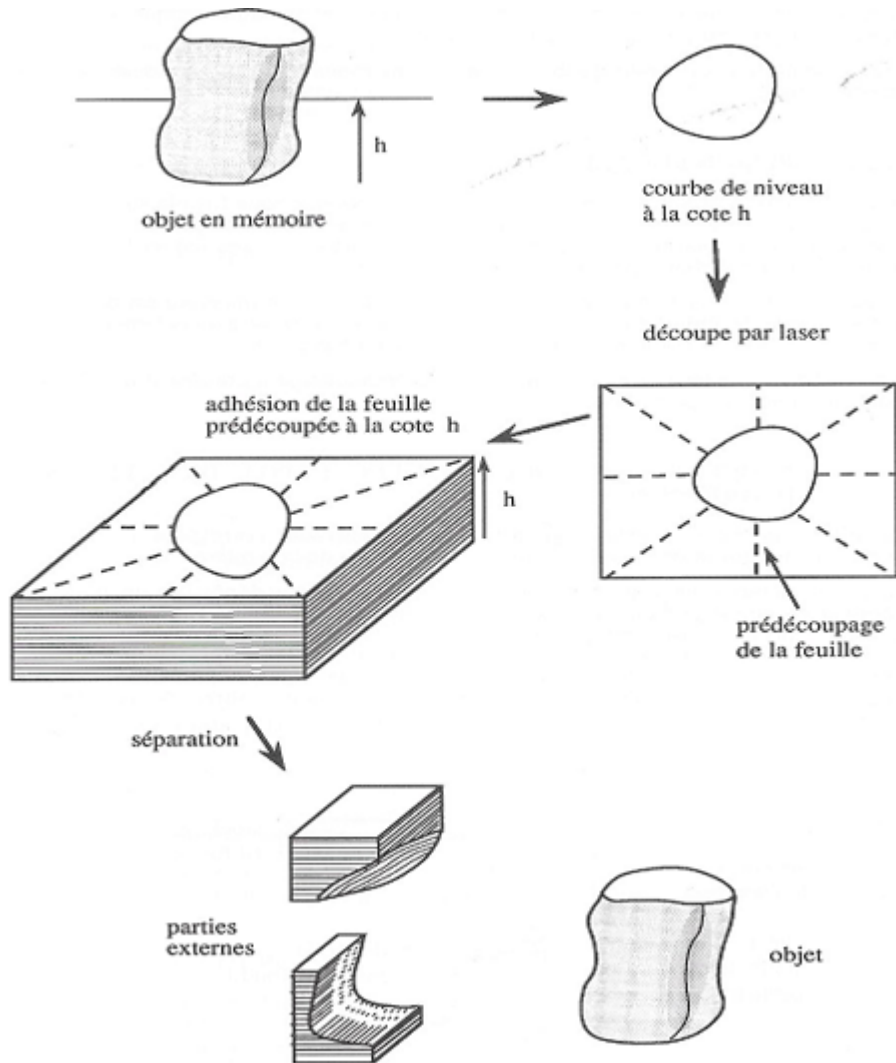
- Procédé peu coûteux (voire inférieur à 400 €)
- Matériaux fusibles (dont métaux) et en extension de pâtes
- Plusieurs têtes possibles
- Pas de fabrication collective
- Supports avec des matériaux solubles
- Résolution moyenne ; état de surface
- Tenue mécanique moyenne ; adhésion entre « couches »
- HSE
- Matériaux polymères disponibles
- Domaine Fab-Lab et domestique



Procédé par collage de feuilles ou de poudres



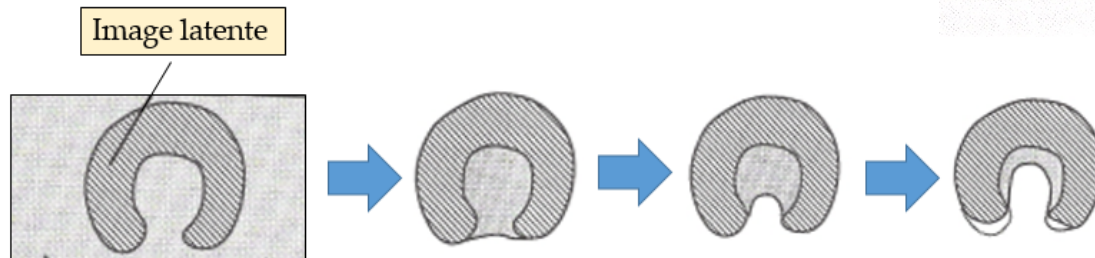
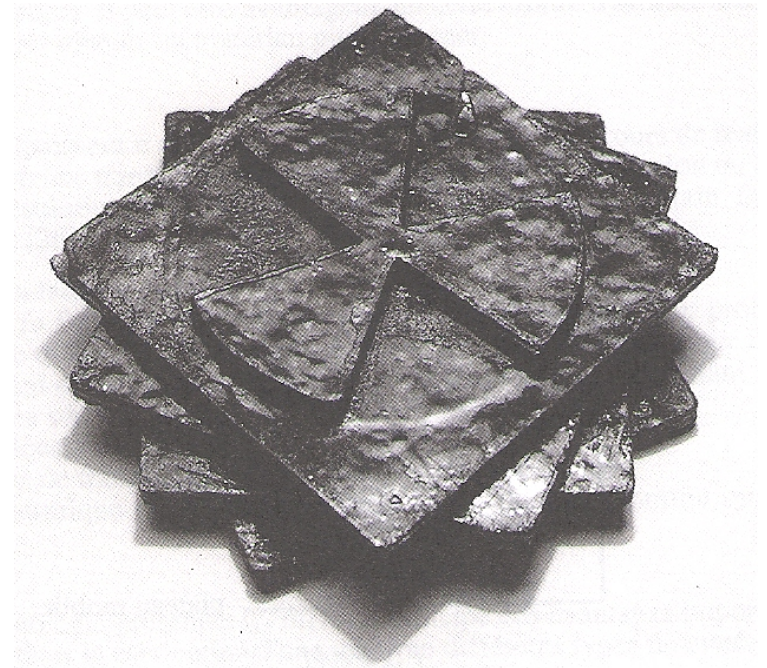
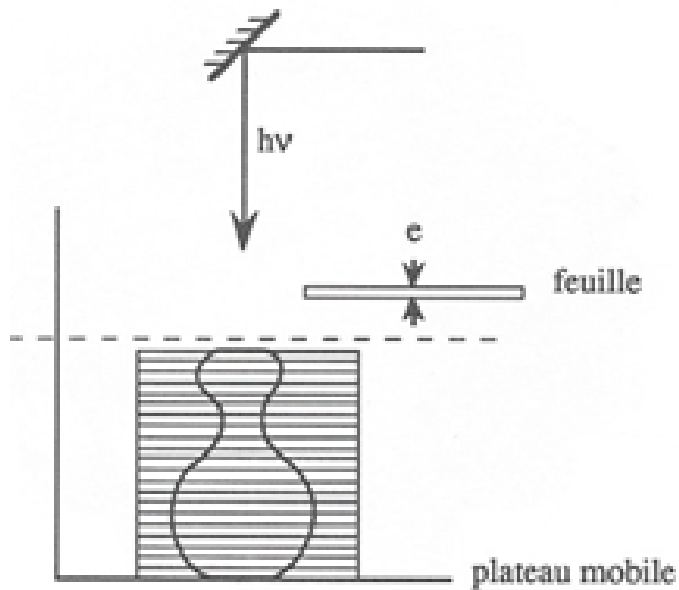
Strato-conception



Variante utilisant des poudres : Procédé 3DP



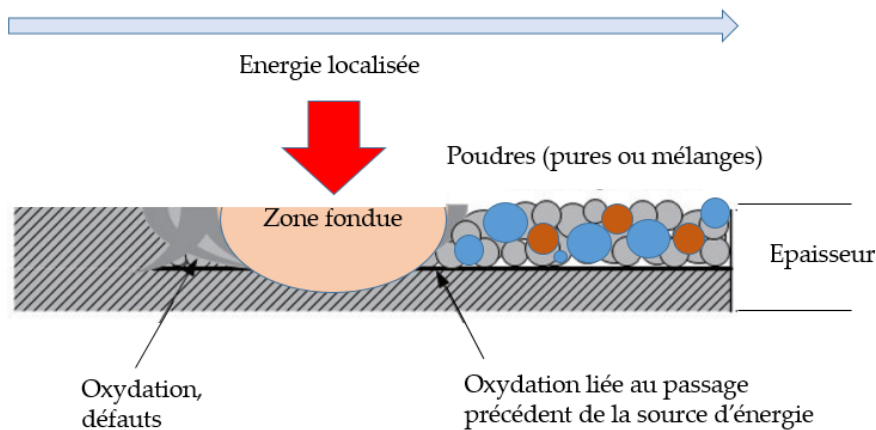
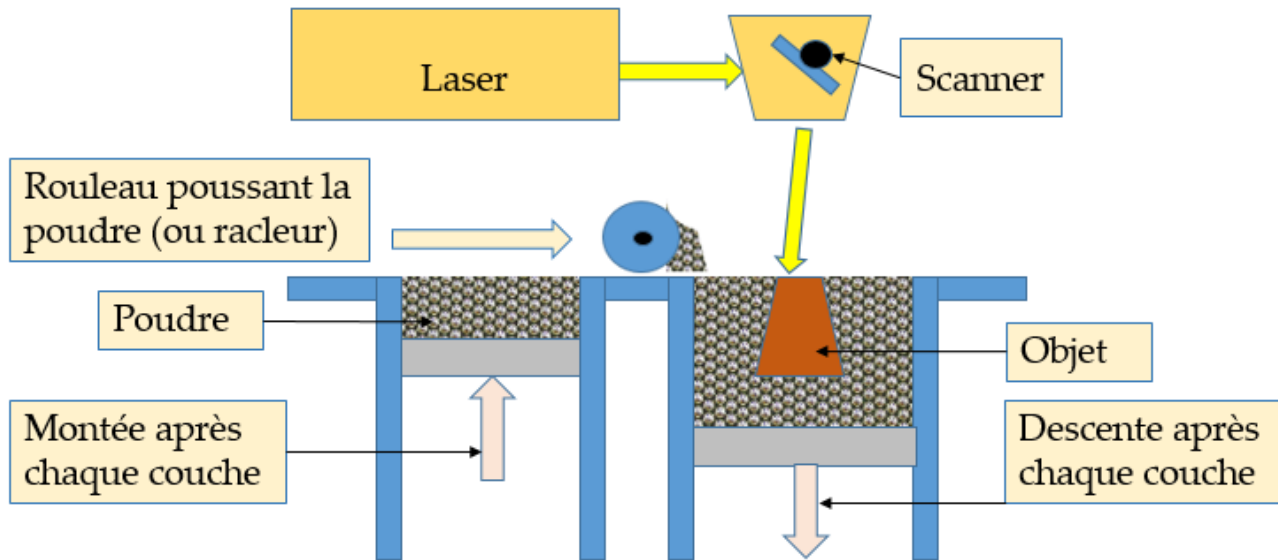
Procédé utilisant un polymère réticulable



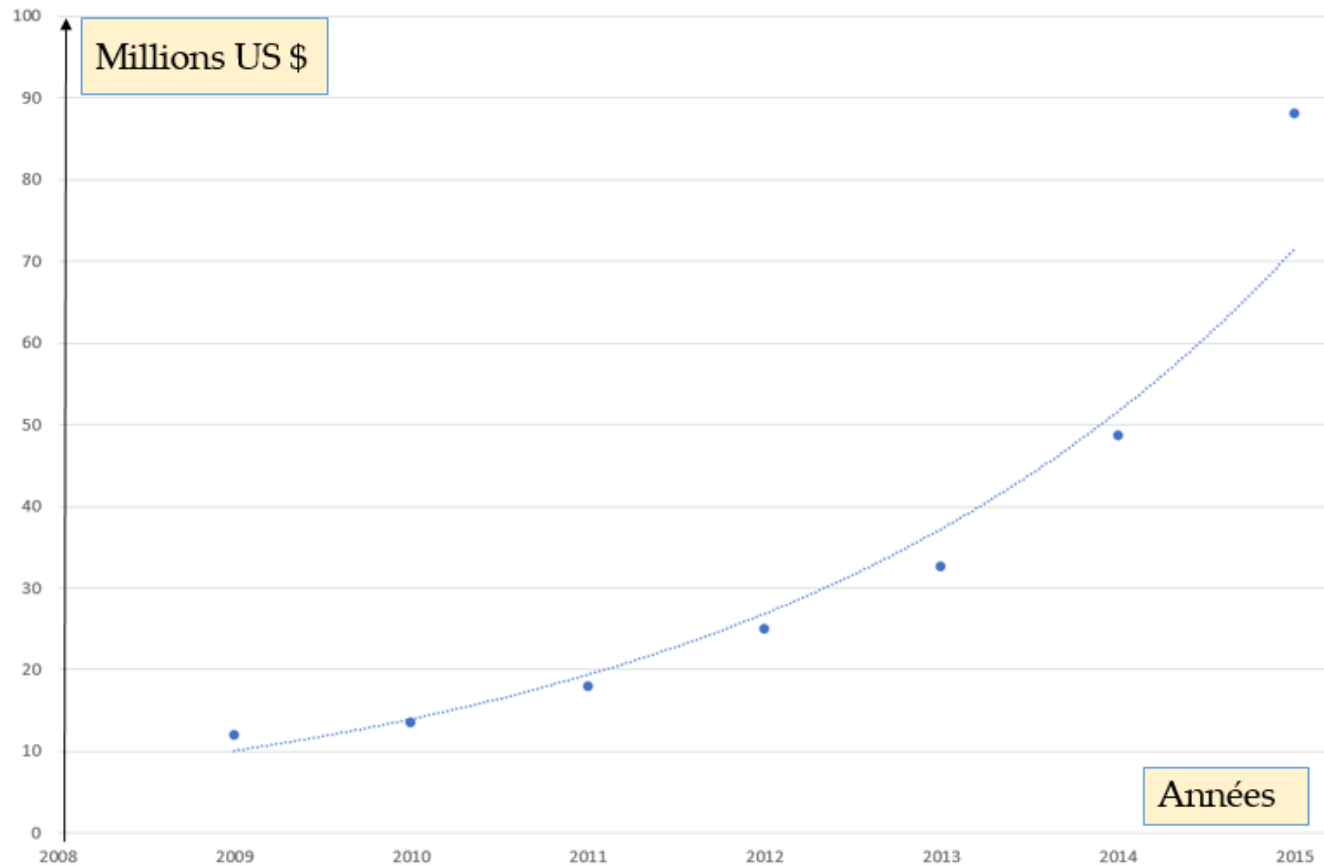
Conclusion

- Plusieurs types de matériaux utilisables
- Recyclage des matières utilisées
- Pas de supports
- Pas de fabrication collective
- Possibilité de multi-matériaux
- Couleur
- Tenue mécanique
- Tenue dans le temps
- HSE

Fusion / Frittage de poudres

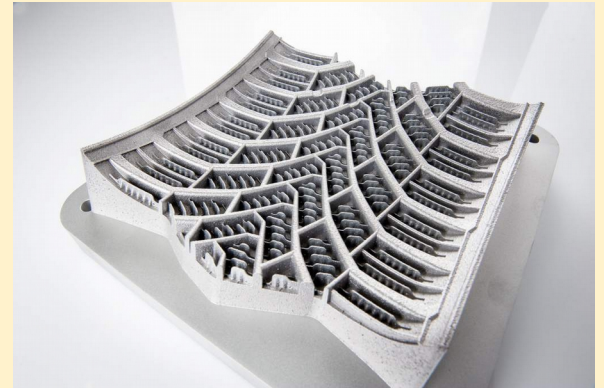
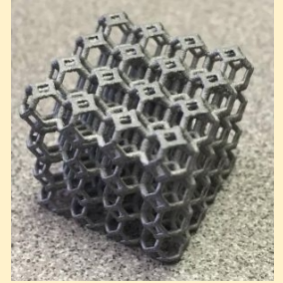


Marché des poudres métalliques

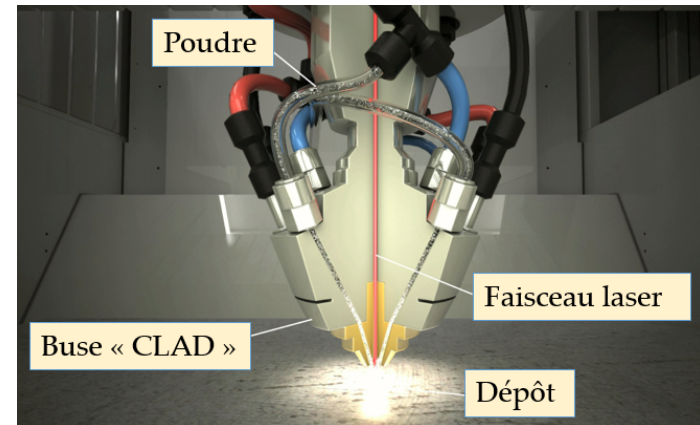
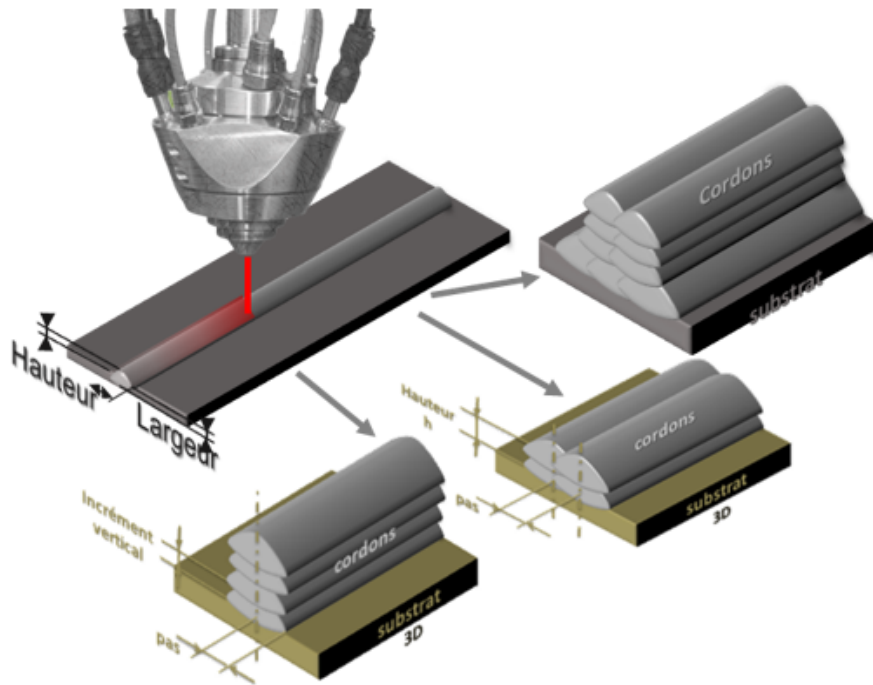


Conclusion

- Re-design des pièces
- Retraits importants
- Tensions internes (post-traitements)
- Possible oxydation (atmosphère inerte)
- Pas de multi-matériaux
- Pas de fabrication collective
- Réutilisation des poudres ?
- Nombreux matériaux utilisables
- Marché en forte progression car pièces en « bonne matière »
- HSE



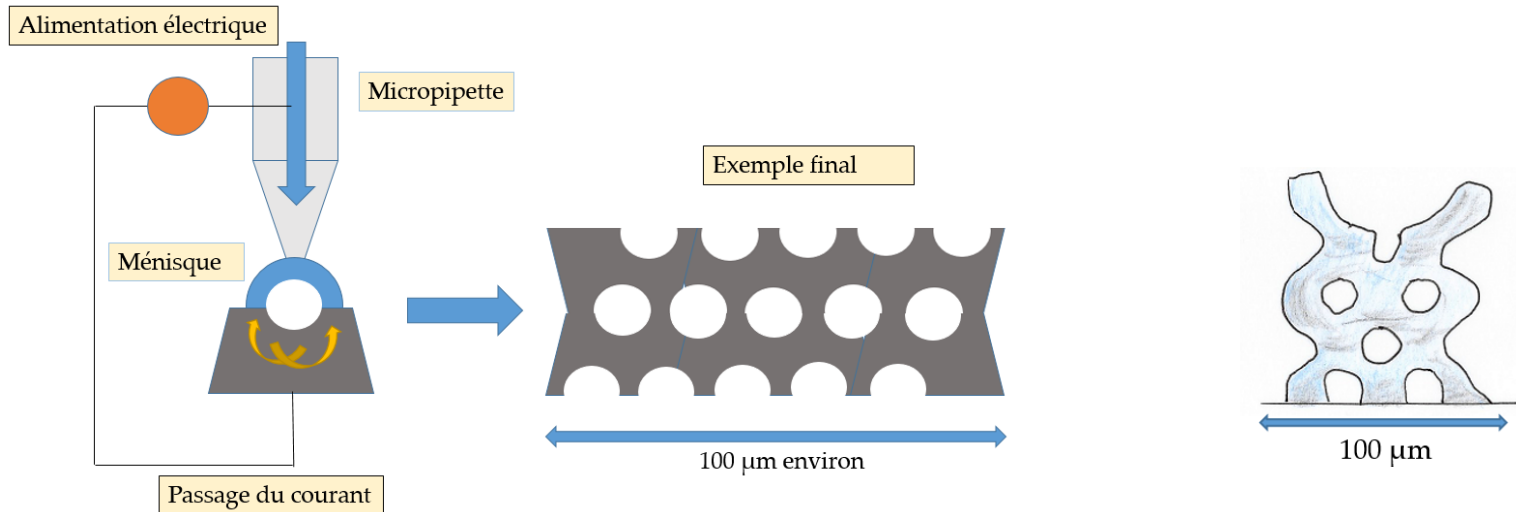
Apport simultané de matière et d'énergie



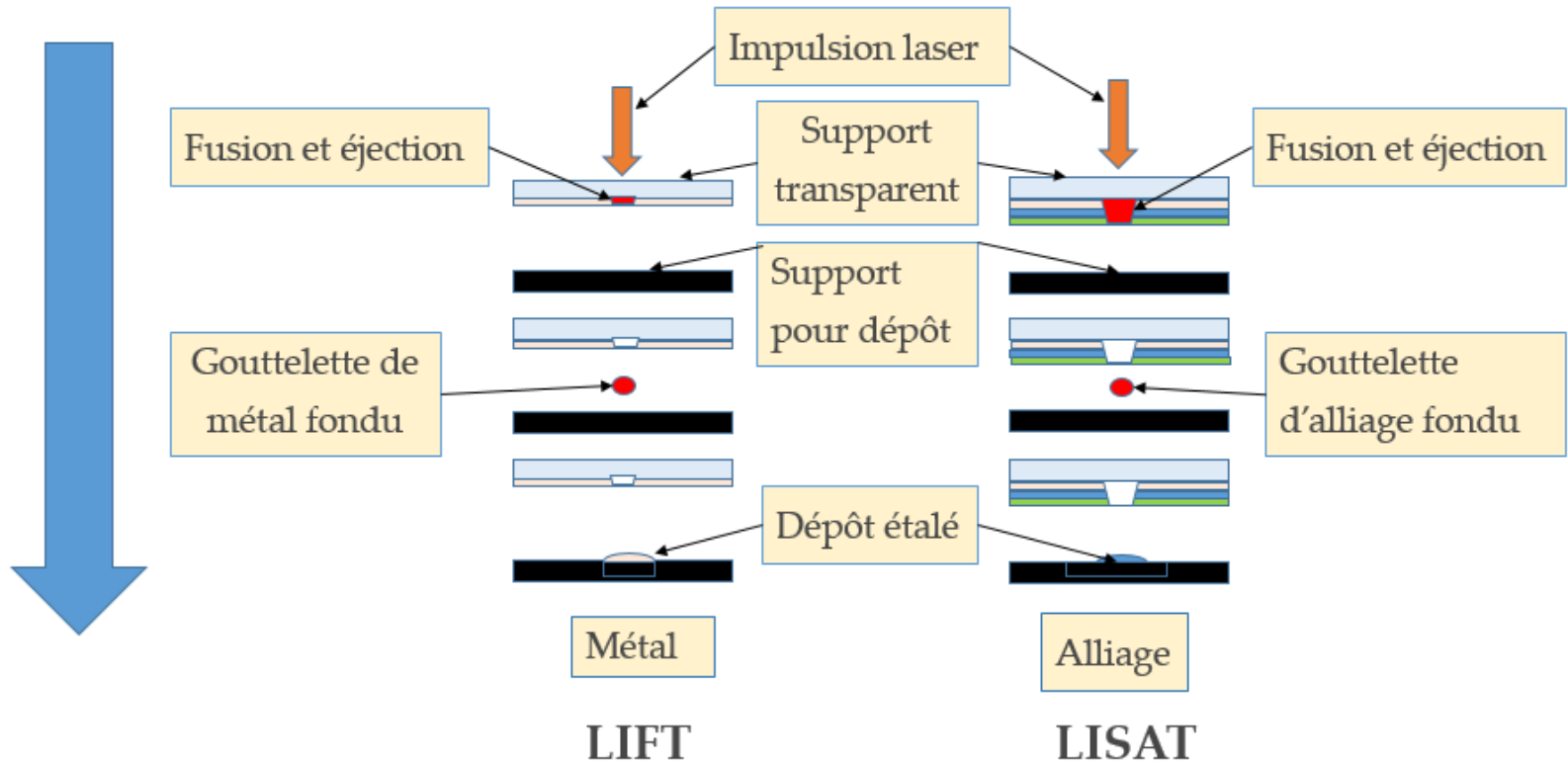
Conclusion

- Réparation 3D (soudage 3D)
- Précision
- Utilisation de supports non plans
- Arrivée de la lumière et de la matière dans la zone à traiter
- Pas de multi-matériaux
- Pas de fabrication collective
- Hydrodynamique des poudres non mono-disperses
- HSE
- Coût

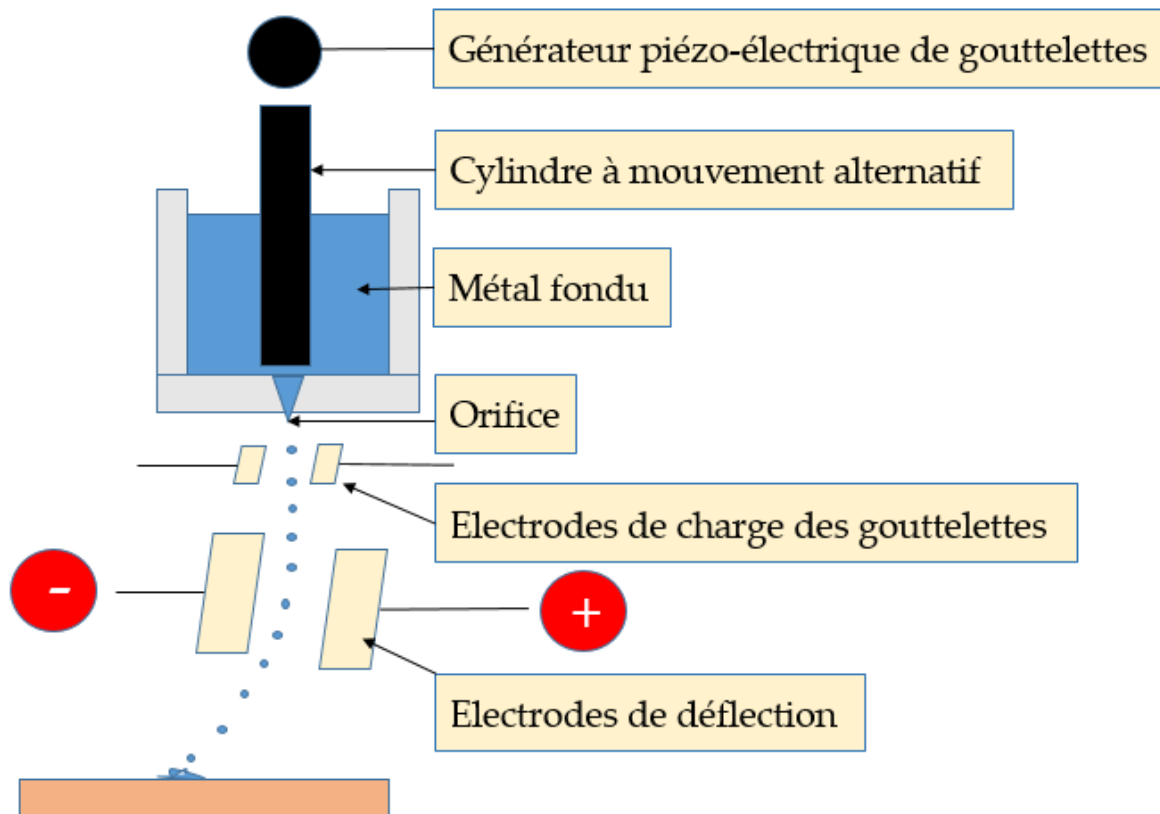
Métaux à froid : électrolyse



Procédés LIFT et LISAT



Dépôt de métal fondu par déflexion électrique résolue en surface

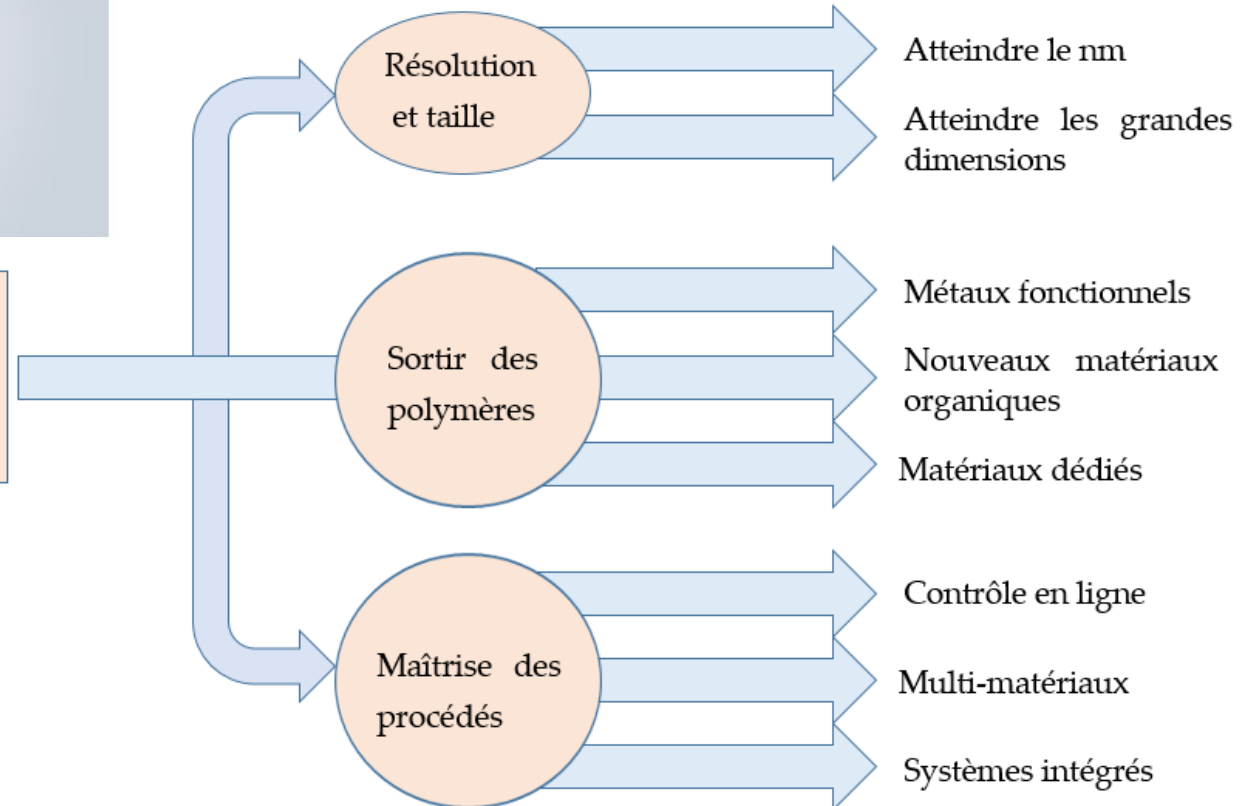


Thème évoqué dans le chapitre	Appellation du procédé	Nom anglais	Commentaires
Stéréo-lithographie	SLA	Stereo-lithography	Polymérisation d'une résine chargée ou non induite par de la lumière Différents systèmes d'irradiation
Fusion de fil	FDM	Fused deposition Modeling	Fusion de fil : dépôt strate par strate d'une fine couche de fil fondu. La matière se refroidit au contact de l'air et se solidifie Du polymère fondu aux métaux en passant par le verre
	FFF	Fused Filament Fabrication	Idem
Collage de feuilles ou de poudres	SDL	Selective Deposition Lamination	Feuilles associées à une colle activable ; utilise le système de jet d'encre (matière photosensible ou réagissant aux UV)
	SC	Strato-conception	Découpe de feuilles – assemblage « mécanique » ; à chaque couche, un laser ou un outil tranchant enlève les contours de l'objet désiré
	3DP	Three Dimensional Printing	Poudres associées à une colle ; utilise le système de jet d'encre (matière photosensible ou réagissant aux UV) ou un collage thermique
	BJ	Binder Jetting	Idem ; Des particules sont déposées sur le plateau d'impression et liées par l'ajout d'un liquide agrégateur, éventuellement coloré
	SUR	Soluble Unsoluble Reaction	Changement de solubilité d'un matériau organique
Fusion/Frittage de poudres	SLS	Selective Laser Sintering	Frittage induit par laser en surface plane
	SLM	Selective Laser Melting	Fusion induite par laser en surface plane
	EBM	Electron Beam Melting	Fusion induite par un faisceau d'électrons
	LMD	Laser Metal Deposition	Dépôt de métal simultané avec sa fusion
	CLAD	Construction Laser Additive Directe	Apport simultané de matière et d'énergie lumineuse : matière fondue lors de son dépôt par une source thermique très dirigée
	MPA	Metal Powder Application	Idem, énergie cinétique des particules

Verrous à faire sauter



Tendances en fabrication Additive



- Nouveaux matériaux
- Caractérisation
- Recyclage
- HSE

- Métallurgie
- Caractérisation
- Modélisation
- Interaction Matériaux Procédés

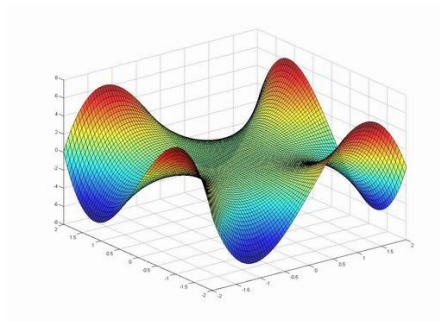
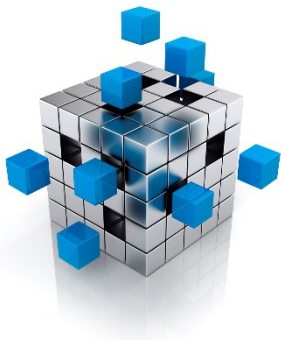
- Développement et modélisation
- Contrôle in situ
- Monitoring

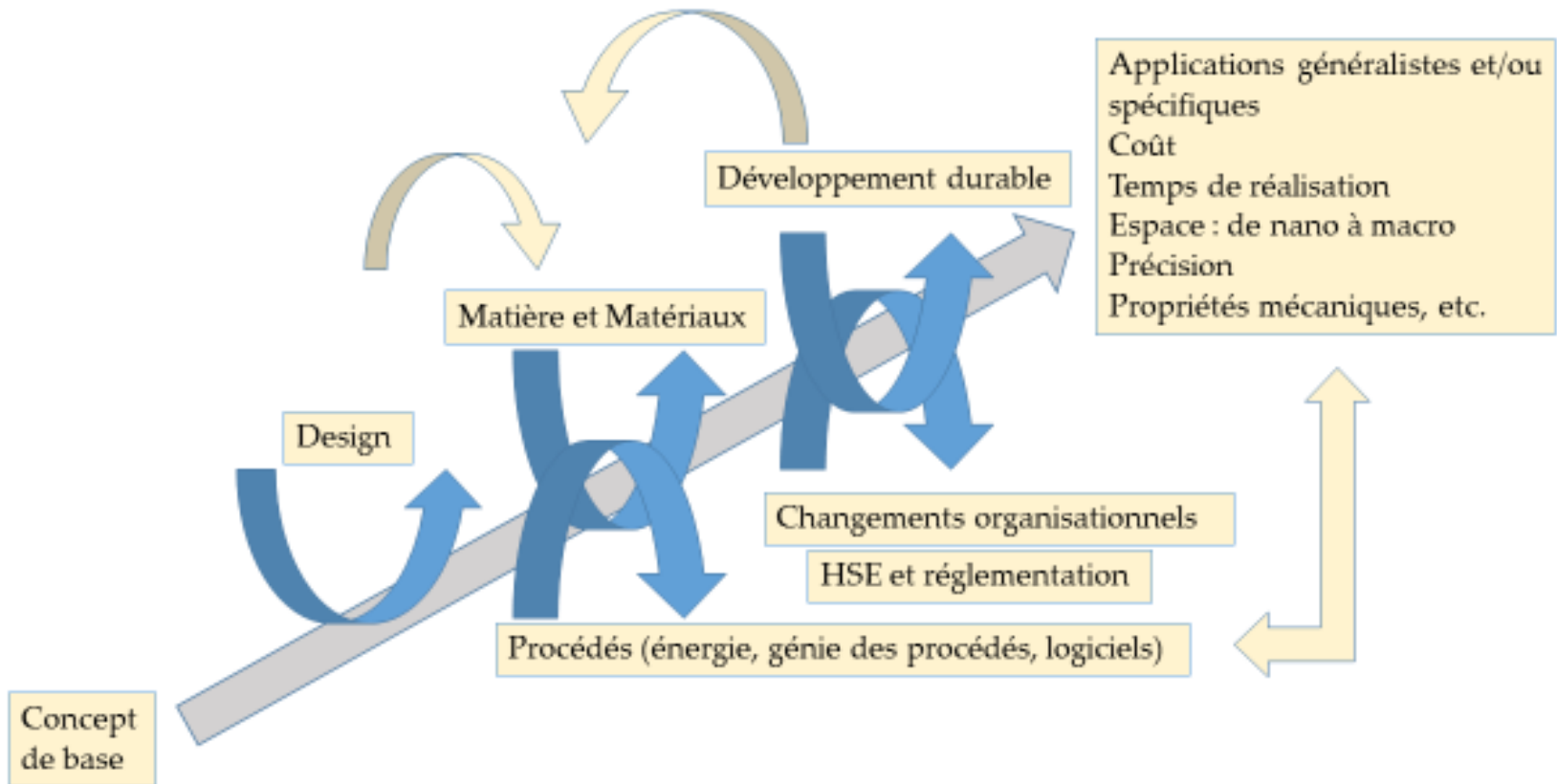


- Modélisation
- Comportements d'éléments

- Post-traitements de surface

- Vieillissement
- Durabilité





Opportunités	Limitations
La complexité des objets n'est pas un facteur limitant	Durée de fabrication relativement à la précision recherchée
Possibilité d'utiliser cette aptitude au « re-design » d'objets techniques (gain de poids par exemple)	Besoin de disposer des matériaux spécifiques, adaptés à la fonctionnalité recherchée dans l'objet
Anticipation logicielle des déformations de l'objet à réaliser en fonction des matériaux utilisés	Nécessité dans certains procédés d'introduction de supports pour permettre la construction de l'objet et leur élimination ultérieure
Technologie « ludique » attractive	Coût relativement élevé des matériaux et de leur
Maintenance modeste	mise en forme
Relation directe entre conception d'une pièce et sa fabrication sans intermédiaires	Etat de surface
Du nanomètre au décimètre...	Procédés exploitant des tailles de voxels variables en
De nombreuses applications industrielles et tertiaires sur des niches porteuses	nombre trop limité
Absence (en principe) de déchets	Peu (pas) de procédé robuste utilisant des multi-
Recyclabilité des matières non utilisées (en principe)	matériaux
Faible consommation électrique dans les procédés (à valider par des ACV (Analyses de Cycle de Vie) sur l'ensemble de la chaîne allant de la matière brute à l'objet fini)	Anisotropie lamellaire
Modifications dans le design d'une pièce facile à réaliser (à la « main » du concepteur)	Qualité des objets variable selon le procédé
Visualisation du process en temps réel (Tribot, 2015)	Etat de surface à améliorer
Domaine encore émergent avec des innovations attendues et de nouvelles niches applicatives en fortes attentes de résultats (cf. Tome 2).	Durée d'usage dans l'entreprise
Remise en cause du concept de fabrication additive	Taux d'utilisation parfois modeste
	Vieillessement des objets ; déformations
	Inadaptation à la production en série, encore moins aux fabrications collectives
	Maîtrise imparfaite des conditions d'hygiène, de sécurité et de qualité environnementale (HSE)
	Utilisation non immédiate de la technologie
	Peu de personnes formées



5 MINUTES



« La définition d'un problème tend à se figer dans la position défendue par les agences bureaucratiques et à résister ainsi à toute transformation. Cyert et March (1963), théoriciens de l'organisation, ont écrit que les organisations cherchent à contourner l'incertitude en suivant des procédures routinisées ; elles n'anticipent pas les problèmes, mais répondent aux effets en retour suscités par leur propre comportement. De ce fait, elles ont tendance à « aller d'une crise à l'autre » en s'appuyant, pour prendre des décisions, sur des procédures standardisées. Ce mode de fonctionnement des institutions privées comme publiques permet d'expliquer que lorsqu'un problème nouveau se présente, il puisse être mal compris et faire l'objet d'un traitement inapproprié » (Reich, 2010).