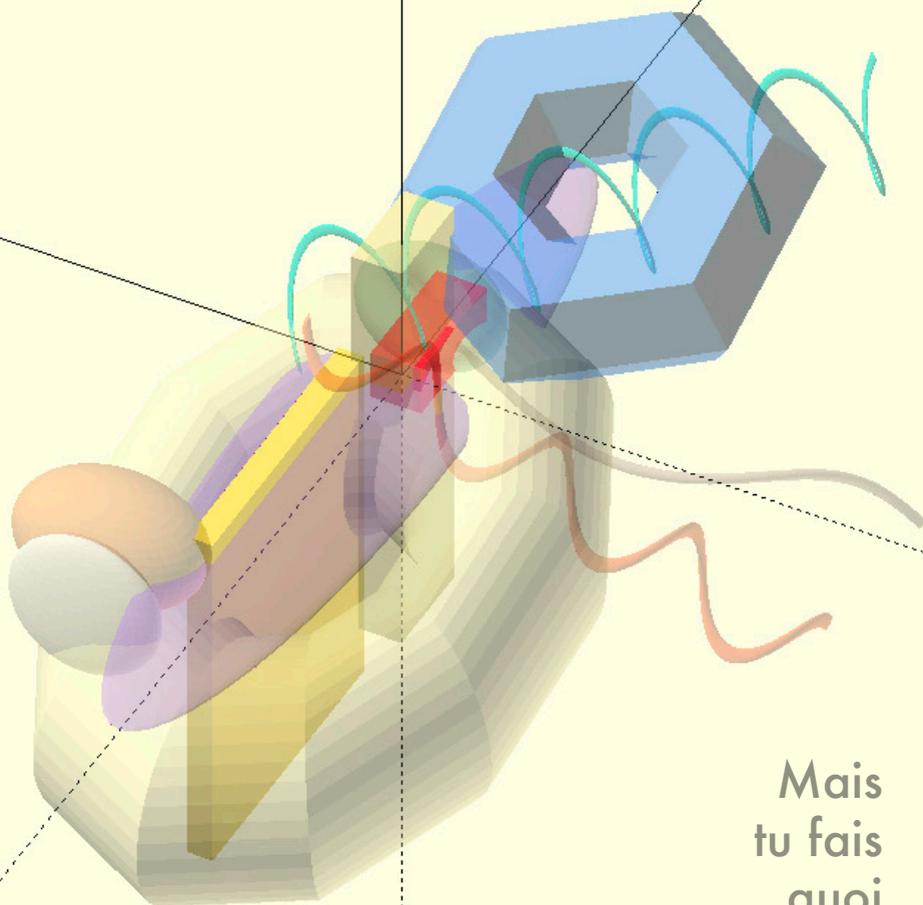


Serge Payen



Mais
tu fais
quoi
au juste ?

Serge Payen

Mais tu fais
quoi
au juste ?

Étude écrite
Mastère CTC, Ensci - Les ateliers
2018

Sommaire

Préambule	-----	p. 9
Introduction	-----	p.13
Note n° 1 :		
Idee, projet, problèmes, résolutions, connaissances		p.19
Note n° 2 :		
Recherche de savoir-faire : Premier choc, la photographie		p.21
Note n° 3 :		
L'archéologie		p.27
Note n° 4 :		
La position d' « artiste » : un statut inconfortable		p.31
Note n° 5 :		
Le « bouclier » de la justification documentaire		p.33
Note n° 6 :		
Art, recherche, archétypes et sémantique des objets		p.37
Note n° 7 :		
Fond idéologique, pessimisme généralisé et autoproduction		p.41
Note n° 8 :		
Recherche de savoir-faire : Deuxième choc, l'impression 3D FDM		p.45
Note n° 9 :		
Contraintes financières et solutions open-source : Le projet RepRap		p.49
Note n° 10 :		
Une technologie transparente		p.53
Note n° 11 :		
Quand on peut on veut		p.59

Note n° 12 :		
Limites et contraintes de l'impression 3D FDM :		
Premières interrogations		p.63
Note n° 13 :		
Une « révolution industrielle », l'hypothèse (trop) optimiste ?		p.67
Note n° 14 :		
Des limites fortes de l'impression 3D « personnelle » en tant que moyen de production		p.69
Note n° 15 :		
L'impression 3D « de bureau » comme un moyen de conception qui a fait ses preuves		p.73
Note n° 16 :		
Flexibilité et modèles 3D paramétriques		p.77
Note n° 17 :		
Première proposition « fonctionnelle » de ma part : un crochet paramétrique		p.81
Note n° 18 :		
Les « interfaces facilitantes » : Un enjeu des techniques de fabrication numériques		p.87
Note n° 19 :		
Paradoxe de l'interface facilitante : ouverture = fermeture		p.89
Note n° 20 :		
Interfaces brutes, portes d'entrées		p.91
Conclusion	-----	p.95
Images & citations	-----	p.99

Préambule

Jusqu'ici, si j'avais dû expliquer les « tenants et aboutissants » de mon travail lors d'une discussion au café des sports, dans un moment favorable et inspiré j'aurais pu être tenté de dire : « j'ai zigzagué autour de l'analyse et de la représentation des notions d'objet, de fonction, de leur significations respectives, en les attaquant sous des angles théoriques et pratiques, plus ou moins successivement ou simultanément ».

Cette réponse serait certainement passée pour incompréhensible ou prétentieuse à mes camarades de comptoir, qui dans leur sagesse m'aurait sans doute rétorqué « mais tu fais quoi au juste ? ».

J'aurais fini par répondre que je gagnais ma vie comme photographe de « *packshot* », c'est à dire en réalisant des images de produits commerciaux, destinées aux catalogues et sites de vente, et dont la pratique constituait à photographier des presse-agrumes, des armoires normandes et autres taies d'oreillers, en respectant des protocoles très définis : vue de trois-quart, vue de face, profil, dos, détails notables... et ainsi de suite...

À ce stade en général mes interlocuteurs sont satisfaits, ayant éclairci ce sur quoi leur bon sens s'interrogeait avant tout, à savoir « ce qui fait chauffer la casserole », comme un collègue me l'a dit un matin. Car souvent la nature d'un « travail » est largement subordonnée à cet impératif simple et puissant.

Ce rappel à l'ordre aurait donc pu être légitime, d'autant que j'ai personnellement pu consacrer une assez longue période, plus ou moins étudiante, à des activités qu'on pourrait dire au sommet des « non-débouchés professionnels ». En effet, après une licence en archéologie à l'université, je continuais par le cursus complet à l'école des Beaux-Arts, et enfin une tentative moyennement avortée de faire exister mon travail dans le monde artistique... Période qui se délita en douceur, pour des questions de casseroles à chauffer, dans l'emploi rémunéré de photographe que j'ai décrits ci-dessus.

Mais mon attention reste consacrée à des interrogations qui s'étaient dessinées dans ma démarche artistique, bien qu'avec le temps elles se soient décalées sur d'autres voies. Je reviens donc ici plus en détail sur ma réponse initiale, à savoir cette affaire de « zigzags convergents »...

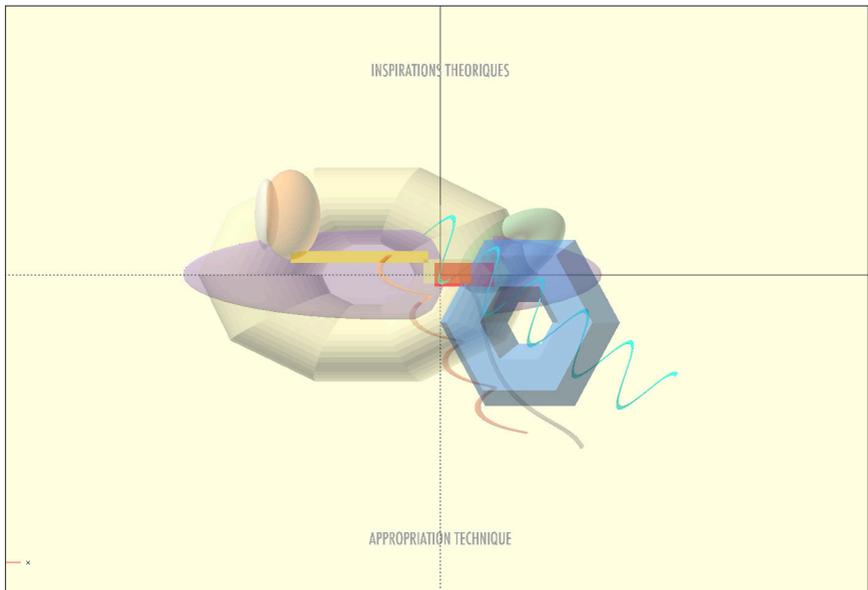
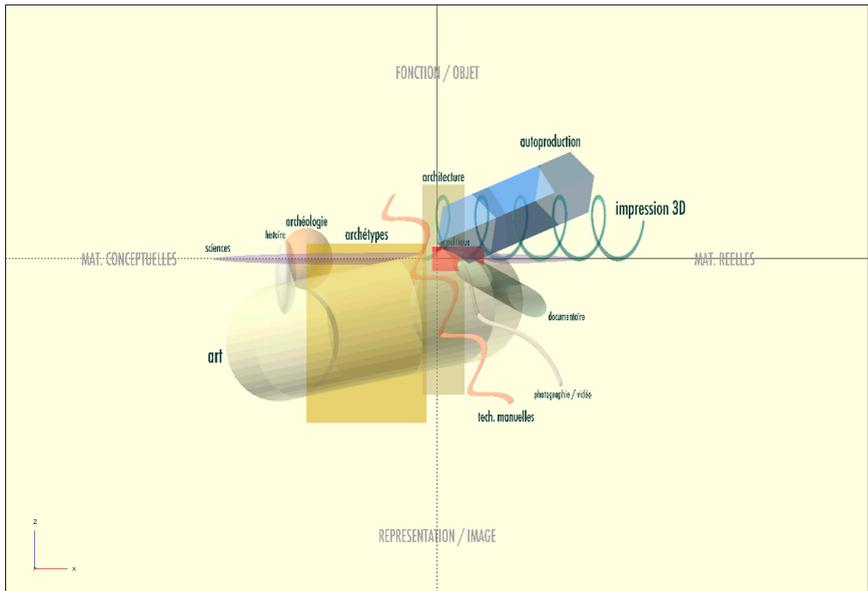
Introduction

Les écrits qui suivent partent d'une tentative d'analyser mon propre travail. Cette étude est construite sous forme de notes qui se succèdent suivant un ordre relatif aux logiques et aux articulations qui les relient.

J'ai commencé par revenir sur les « fondamentaux » que j'ai pu identifier dans ma façon de travailler par le passé, dont mon rapport à la question de l'appropriation technique, essentielle à mes yeux.

À partir de cette analyse, je m'attache à décortiquer ma vision de l'impression 3D FDM (*Fusion Déposition de Matière*), des modèles 3D paramétriques, et de leurs possibilités en tant que « technologies de rupture », sujets qui sont au cœur de mes préoccupations actuelles.

Notes



Reproduction d'un exercice préparatoire à cette étude :
 "Carte mentale", en 3D, des sujets, domaines et savoir-faire en jeu dans mon travail.

Note n°1

Idée, projet, problèmes, résolutions, connaissances

Je pars donc de l'idée que ma façon de créer quelque chose (jusqu'ici essentiellement dans mes recherches artistiques), a reposé sur des « zigzags » entre des domaines variés, permettant de résoudre les problématiques en jeu dans chaque projet.

J'entends par « résolution » qu'à partir du moment où une idée est acceptée comme projet, celui-ci revient au final à une pile de « problèmes ». Le travail est donc une succession de résolutions : certaines formelles (esthétique, choix de matériaux...), d'autres plutôt « intentionnelles » (façons d'aborder la question, de s'appesantir sur une de ses facettes plutôt qu'une autre...). Ces deux types de résolutions s'imbriquant d'ailleurs continuellement.

Au fil des projets, cette affaire de résolution a souvent été synonyme de nouveaux apprentissages, aussi bien pratiques que théoriques.



Entrée du labo photo de la résidence universitaire d'Antony, où j'ai longtemps travaillé.
Détail en négatif d'une image tirée de mon livre *RUA*, 2006

Note n°2

Recherche de savoir-faire : premier choc, la photographie

Chercher à acquérir plus de « savoir-faire » semble être une constante qui provient à mes yeux d'une identification originelle entre appropriation technique, savoir, et ce qui en découle : un « pouvoir de faire ».

Pour expliquer ce propos, j'ai trouvé parlant de reproduire ici le récit qui va suivre, où je retrace ma découverte des techniques de photographie argentique.

Détour :
Initiation photographique

C'est un souvenir de gamin : une après-midi, ma mère a retrouvé ses « trucs de photo » et a installé un petit labo Noir&Blanc dans la salle de bain. Ensuite, elle a organisé, pour ma sœur et moi, un petit stage de photographie argentique.

Cela a commencé par l'utilisation d'une enrouleuse, instrument mécanique avec lequel on peut fabriquer ses propres pellicules 24x36, à partir de film photographique acheté en rouleaux de 50 mètres. Ce qui permettait de substantielles économies pour cette initiation, sachant que, comme la plupart des enfants, nous avons le déclencheur facile et les réglages approximatifs.

Nous avons donc « fabriqué » nos propres pellicules, et après une séance de prise de vue, procédé au développement du film : ouvrir la pellicule dans le noir total, l'enrouler sur la spirale et la placer en cuve, toujours dans le noir total, rallumer, y faire passer les 3 bains, rincer abondamment, et enfin découvrir le négatif.

Les images révélées étaient peu compréhensibles, les trois quarts du film étaient ratés, il y avait des dizaines de centimètres de négatif parfaitement transparents, ou parfaitement opaques (c'est à dire une bonne quantité de photographies totalement blanches ou totalement noires). Et, parfois, un cliché bien exposé. En transparence, on devinait tel visage, tel moment. Pas facile à distinguer avec les valeurs de gris inversées, les blancs qui sont noirs, les noirs qui sont transparents, mais déjà c'était un spectacle impressionnant.

Et vient le tirage, l'agrandisseur, le négatif projeté sur le papier, les bacs avec de nouveau les trois bains... Et dans le premier bac, le bien nommé révélateur, la magie absolue de l'image qui arrive. Les nuances de gris de nouveau inversées pour retrouver l'ordre des choses, les blancs sont blancs, les noirs sont noirs, l'image est grande, la photographie enfin visible.

C'est un souvenir très net, c'était l'impression d'un « pouvoir » qui mettait la maîtrise technique au rang d'une sorte de sorcellerie, mais une sorcellerie parfaitement comprise, rationnelle.

Cette compréhension, dans mon souvenir, a été immédiate, j'étais sûr d'avoir complètement saisi comment cela était possible, comment exactement cela s'était passé. Voilà comment je m'étais représenté, content de moi, cet « incroyable phénomène » de la photographie :

- La lumière, c'est de l'énergie, c'est comme du feu, c'est « blanc ».
- La pellicule sensible, dans son « état de base », est bleue-noire, opaque.
- L'obturateur s'ouvre un court instant, la lumière entre et frappe le film.
- Là où cette énergie frappe, ça « brûle », la surface subit. Elle va « noircir ».
- Donc au développement, ce sera plus ou moins foncé, tandis que là où rien n'est arrivé, la chimie rendra la pellicule transparente. La transparence rend assez logiquement compte d'une « absence », en l'occurrence l'absence d'un stimulus, l'absence de lumière.
- Les objets noirs renvoient peu ou pas de lumière : donc absence de stimulus, transparence du négatif.
- Les zones claires, lumineuses, « blanches » dans la réalité, envoient un tumulte d'énergie, de stimuli sur la pellicule : là ce n'est pas transparent, il y a quelque chose, ça a réagi, c'est noirci, « marqué ».
- Voilà donc le négatif, l'image inversée où le blanc est noir, brûlé, et où le noir est transparent.
- Après, le tirage, c'est le même processus, avec comme surface sensible un papier blanc : en projetant le négatif dessus, les zones noires empêchent la lumière de passer, d'aller stimuler le papier. Donc, là, rien ne se passe, il reste blanc.
- Au contraire, là où c'était transparent sur le négatif (les objets noirs dans la réalité), la lumière passe, elle « attaque » le papier, qui noircira alors dans le premier bain de chimie.
- Et voilà l'image de la réalité : ce qui était noir est bien noir sur le papier, ce qui était blanc et lumineux est de nouveau blanc et lumineux sur le papier. Double inversion, le contraire du contraire, ça fait retour à la normale...



Haut : *Sona*, 2005

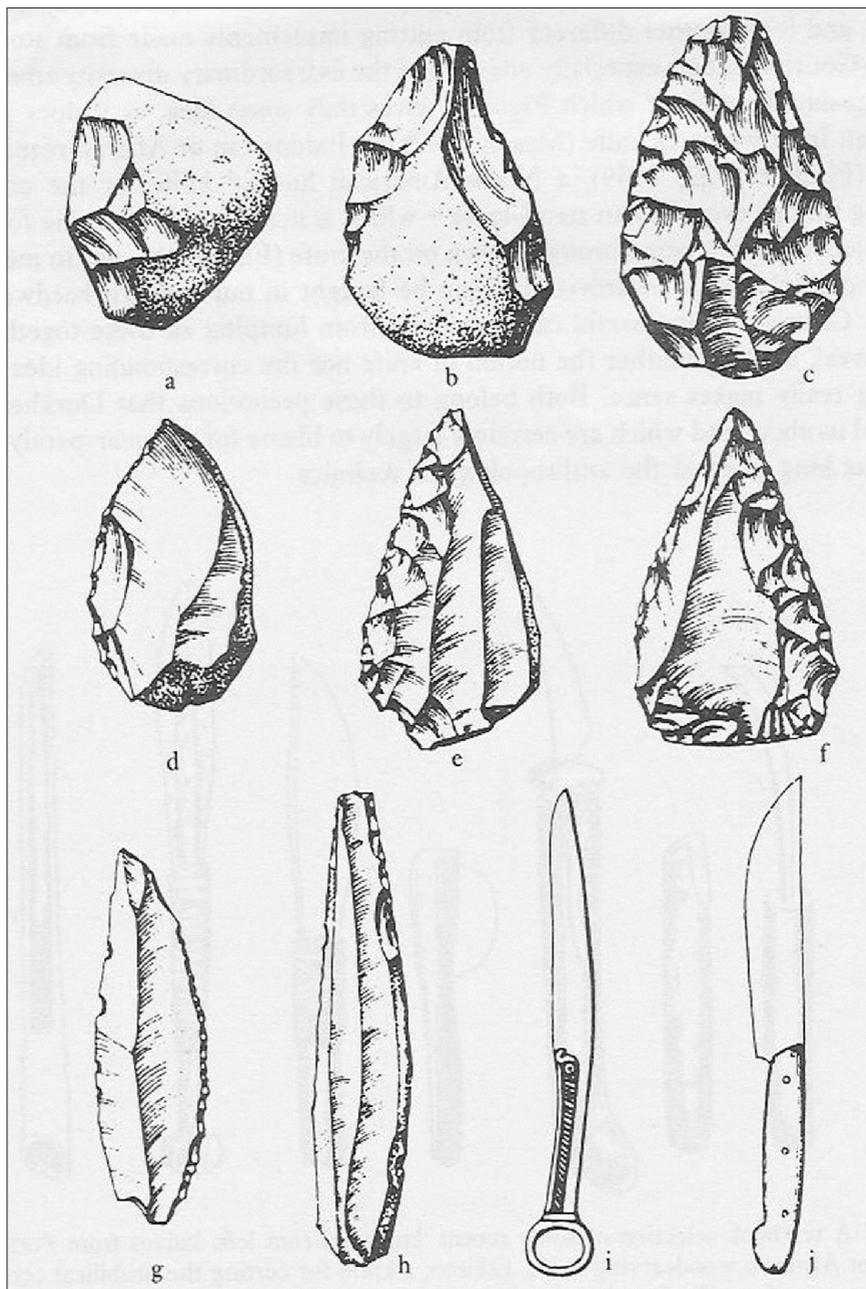
Bas : *Parabole*, 2006

Les images prises lors de l'initiation technique décrite plus haut ont été perdues. J'ai réalisé les photographies ci-dessus bien plus tard. jusqu'en 2007, je travaille essentiellement le médium photographique.

La photographie argentique N&B m'a donné cette impression d'une magie limpide à comprendre, parce que le processus lumineux y est uniquement affaire d'intensité : on saisit bien cette seule action quantitative de la lumière, qui se traduit en niveaux de gris, c'est à dire juste un rapport logique entre les quantités de lumière et les degrés d'opacité / transparence, de blancs et de noirs...

C'est vraiment comme ça que je l'ai compris, sur le coup, comme une magie parfaitement explicable, parfaitement cohérente. J'ai ensuite passé un temps fou à potasser nombre de livres sur la technique photographique, mais c'est bien la compréhension essentielle du procédé, cette façon dont les photons frappent l'émulsion sensible, qui m'a permis de saisir en déroulé, logiquement, l'ensemble des règles, leurs conséquences et la manière dont on pouvait les exploiter : relation entre temps de pose et ouverture, lois optiques des focales, etc.

Avec le recul, je remarque cette association profonde entre maîtrise technique et pouvoir, pouvoir d'avoir compris, et par extension pouvoir de faire. C'est sans doute un sentiment un peu primitif, comme rapport à la technique : l'association entre maîtrise technique et magie, entre technique et pouvoir, remonte à loin. La philosophie et les sciences sociales l'ont largement étudié. Mais je crois que c'était vraiment un affect profond, de ce genre là, qui allait sans doute mener à ce plaisir d'ajouter sans cesse à l'arsenal d'autres techniques, d'autres connaissances, d'autres savoir-faire.



André Leroi-Gourhan, *L'homme et la matière*, Albin Michel, 1971, p.28

Note n°3

L'archéologie

J'ai commencé mes études universitaires par une licence d'archéologie. C'est dans ce contexte que j'ai perçu la possibilité d'un positionnement transversal pour résoudre certaines problématiques.

La transdisciplinarité est incontournable et très développée dans cette discipline : une thèse d'archéologie peut faire appel à des preuves issues du domaine des sciences « dures », comme par exemple l'usage des techniques de datation fondées sur la dégradation d'isotopes radioactifs ou la thermoluminescence, mais aussi des sciences naturelles, comme la géographie, la géologie, la climatologie, ou encore des sciences humaines comme l'anthropologie ou l'ethnologie, tout en les croisant avec des analyses esthétiques et fonctionnelles (« styles » par lieux et périodes, matériaux et technologies employés...).

Les études typologiques qu'on trouve en archéologie, et l'esthétique qui s'en dégage, m'ont beaucoup intéressées, et deviendront vite une part importante de mes influences et de mon « vocabulaire artistique », selon la formule consacrée.



Une de mes sculptures, intitulée *Borne*, 2011
Céramique, bois, métal

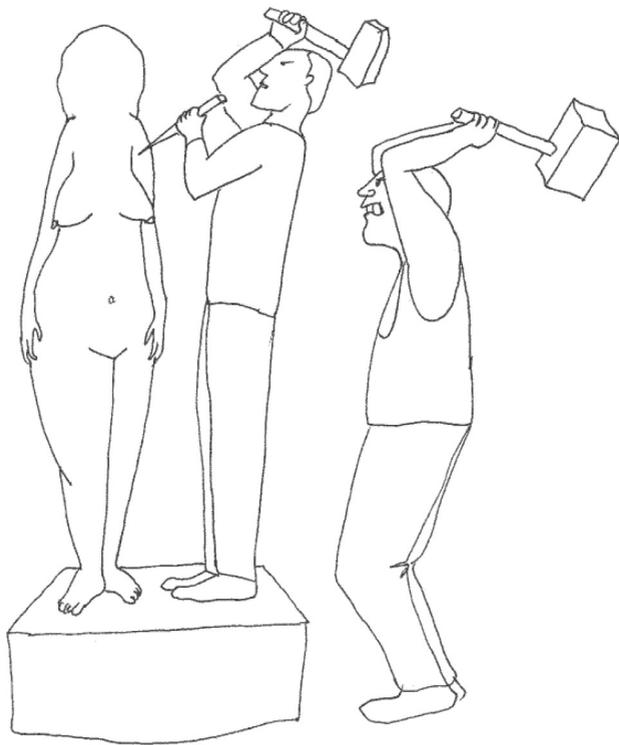
Lors de ces études en archéologie, je baignais dans une discipline qui est fondée sur, et a démontré, la correspondance entre les objets d'une société et son fonctionnement.

Cette idée m'a énormément marqué.

J'ai poursuivi par une activité artistique, dans laquelle j'ai filé cette idée en travaillant sur les rapports entre l'aspect formel des objets et la perception de leur « sens ». C'est à dire la façon dont la forme et les matériaux qui constitue un objet peuvent contenir des références, des qualités particulières, qui en feraient supposer la fonction ou l'usage.

Les pièces que j'ai réalisé en tant qu'artiste sont comme une inversion de la démarche archéologique : proposer quelque chose, perçu au départ comme « inconnu », mais dont certains éléments, évoquant chez l'observateur des références connues ou supposées, l'amènerait à une position d'archéologue en difficulté.

J'espérais par là interroger le spectateur sur les schémas qui pourraient implicitement présider à sa compréhension d'un objet.



Vive les artistes
Dessin de Miguel Egana

Note n°4

La position d' « artiste » : un statut inconfortable

Dans le monde artistique contemporain, la question du savoir-faire descend parfois d'un cran dans la hiérarchie des importances, subordonné à des questions plus nobles : le sens d'une œuvre, d'une recherche, d'un discours, d'une démarche...

Loin de moi l'idée de critiquer ces impératifs, qui me semblent absolument nécessaires à la création artistique. Une œuvre (ou une « pièce » comme on dit souvent, pour éviter ce terme vite perçu comme emphatique), doit bien dire quelque chose, montrer quelque chose, être riche de sens même dans (ou par) son minimalisme ou sa ténuité. D'autant que le contexte est exigeant. Prêt à interroger le faisceau de richesses poétiques, esthétiques, sémantiques, symboliques, politiques..., que la pièce en question convoquerait, jaugeant son poids à l'aune de l'infinité des œuvres existantes. Pression légitime, ça ne semble quand même pas rien de créer ou installer quelque chose et d'en dire « ceci est une œuvre d'art », de se déclarer « artiste ». Les réflexions, les références ayant présidé à une réalisation artistique sont donc peut-être aussi un appui, un renfort nécessaire pour justifier cette affirmation si difficile.

Et au-delà de l'ambition et de la solidité qu'un tel travail nécessite, il faut ajouter que revendiquer le statut d'artiste au quotidien est aussi gratifiant et agréable que d'expliquer à ses beaux-parents qu'on est chanteur au sein d'un « *garage band* ».



Planches extraites de mon livre *RUA*, 2006



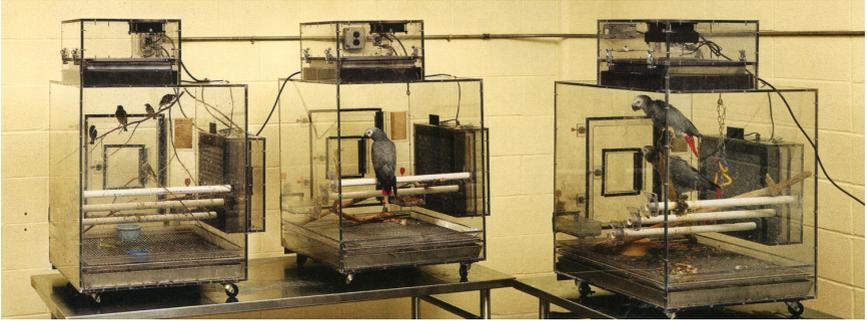
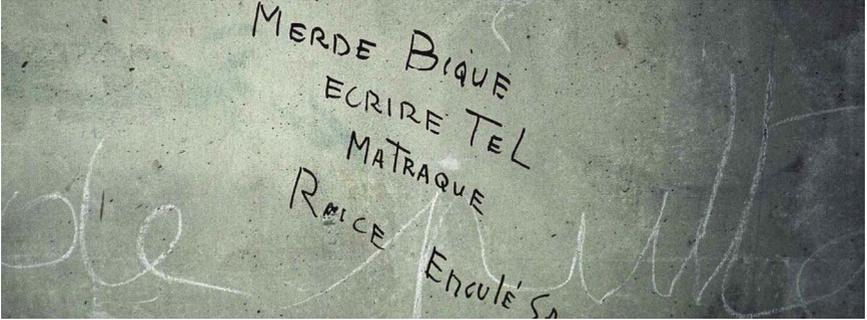
Images tirées de ma vidéo *Le Terrain Rue Kollwitz*, 2009

Note n°5

Le « bouclier » de la justification documentaire

Assumant plus ou moins le statut compliqué d'« artiste », j'ai d'abord adopté une stratégie un peu latérale, en m'intéressant aux formes artistiques dites « documentaires ». L'avantage que j'y ai vu était de déplacer certains enjeux : le documentaire est une forme artistique en quelque sorte hybride, en ce qu'une part de sa légitimité est comme prise en charge par le sujet, par le rapport revendiqué à une réalité. Déjà, du point de vue du discours, de la justification, de l'intention, ça atténue un peu la pression... Ça semble un peu moins arrogant, on expliquera s'être intéressé à telle réalité, en fournir un regard particulier.

Ma première réalisation artistique un peu aboutie, par exemple, a aussi été la plus explicitement documentaire. Il s'agit d'un livre intitulé *RUA*, consacré à la résidence universitaire d'Antony. Quelques années plus tard, j'ai recommencé un travail à la lisière entre art et travail documentaire, en tournant à Berlin une vidéo sur un « Abenteuerplatz » (littéralement : « terrain de jeu et d'aventure », ici un ensemble de cabanes, parfois érigées jusqu'à huit mètres de hauteur, par des enfants et des jeunes adolescents). Dans ces deux cas, c'est la question d'une « architecture politique », ou d'un usage politique de l'architecture, qui est traitée.



Le « documentaire », comme catégorie artistique vaste et très poreuse, est un médium dont je suis convaincu qu'il a une puissance potentielle sans équivalent. Parce que l'oeuvre est explicitement liée à une réalité donnée (même si elle n'est pas « vraie », comme dans les « docu-fictions »), le regard du spectateur est en quelque sorte « forcé » d'intégrer cette réalité. Si une oeuvre documentaire fonctionne en tant que telle, c'est qu'une part de réel en est constitutive, c'est que « saisir » l'oeuvre implique de saisir, au moins en partie, cette réalité qu'elle transporte et qu'elle impose, parfois violemment. Benoîtement résumé, parce que du même coup ça me semble pouvoir être une véritable « oeuvre utile », et que si l'on ne crie pas tout de suite au paradoxe problématique, ça sonne plutôt bien.

Pour être juste, il faudrait peut-être dire « oeuvre avec une forme d'utilité facilement perceptible ». Ou bref... Cette admiration pour l'« oeuvre utile », effleurée à ce moment-là à travers la question documentaire, se retrouvera plus tard dans l'intérêt que je développe pour des problématiques plus appliquées ou fonctionnelles.

← De haut en bas :

Jean Rouch, *Les Maître Fous*, 1955

Jean-Luc Moulène, *Le Tunnel*, 2007

Taryn Simon, *An American Index of the Hidden and Unfamiliar*, 2007

Chris Marker, *L'Ambassade*, 1973



Plans, 2008

3 sculptures en acier étiré, 2 gravures à l'eau-forte, 10 collages

Dans ce travail, j'ai exploré les similitudes formelles entre des principes de construction que l'on retrouve en architecture et en typographie.

Note n°6

Art, recherche, archétypes et sémantique des objets

Ma démarche artistique, d'abord axée sur cette question documentaire, et du même coup surtout basée sur l'image, évolue assez vite vers le travail du volume et la création d'« objets ». Je commence à concevoir le travail artistique comme un travail de création qui serait d'une certaine manière en symbiose avec un travail de recherche. Au sens où la pièce réalisée pourrait être un précipité de différents savoirs ET une source de compréhension des choses en elle-même.

Je tourne alors souvent autour d'« études » typologiques, de réflexions sur la compréhension qu'on peut avoir de certaines formes en fonction de références mentales, ce qui revient à un travail sur les archétypes et les « faisceaux sémantiques » provoqués par telle ou telle représentation. J'ai évoqué cette idée auparavant, par rapport à sa relation profonde avec mes études d'archéologie (voir note n°3).

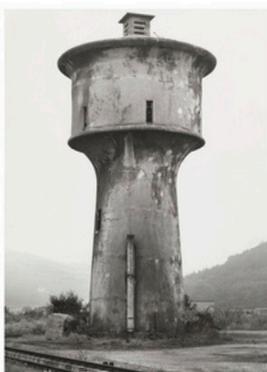
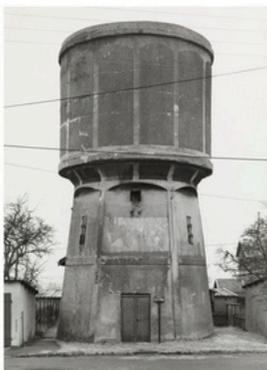
Il est certain que cette attitude recroise la question documentaire explicitée plus haut, tout en la tirant vers un traitement plus analytique et plus formel.



Donald Judd, *Untitled*, 1991

<h2 style="text-align: center; margin: 0;">VARIATIONS OF INCOMPLETE OPEN CUBES</h2>															
															
															
															
															
															
															
															
															
															
															
															
															
															

Sol LeWitt, *Variations of Incomplete Open Cubes*, 1974



Bernd & Hilla Becher, *Water Towers*, 1988



Occupy Georges (collectif d'artistes), pendant le mouvement "Occupy Wall Street" : Messages imprimés sur des billets de 1\$, remis ensuite en circulation

Note n°7

Fond idéologique, pessimisme généralisé et autoproduction

Cet intérêt pour la question documentaire, l'œuvre utile, et le glissement de mon travail vers des problématiques plus analytiques, émergent sans doute aussi de ma vision assez pessimiste des rapports de force socio-économiques tels qu'ils se posent actuellement.

Face à ma perception plus ou moins affligée de la situation, je me retrouve à avoir une volonté de plus en plus affirmée de décaler mon travail en dehors de questions essentiellement artistiques, pour tenter de le confronter directement à certaines problématiques plus « réelles ». Mais il n'est pas évident de trouver les stratégies les plus adéquates dans ce but.

Pour donner rapidement une idée de ce qui rentre en jeu dans mes réflexions actuelles, et qui conditionne en partie l'évolution de mon travail, je citerais une interrogation posée par Bernard Stiegler, au sujet de notre temps qu'il analyse comme *l'absence d'époque*.



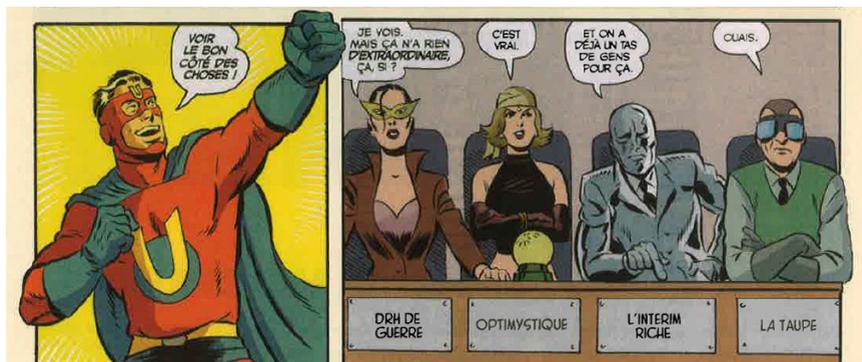
ÉCOFOLIES

DIPLOMATIE ÉCONOMIQUE

Banquier à Vienne et ambassadeur de Bosnie auprès de l'Union européenne et de l'OTAN entre 1998 et 2000, Vitomir Miles Raguz a découvert comment « résoudre les conflits territoriaux contemporains », notamment dans les Balkans : « Il suffit de vendre le Kosovo » (*Wall Street Journal Europe*, 15 octobre 2003). Rappelant que les États-Unis ont acheté l'Alaska aux Russes en 1867 et les îles Vierges au Danemark en 1916, il explique : « Tous ces territoires furent vendus à cause de leur coût d'entretien excessif et/ou de leur valeur économique négligeable

aux yeux des précédents souverains. De même, le Kosovo n'a qu'une faible valeur économique ou sécuritaire pour Belgrade. » Les Kosovars pourraient donc simplement acheter leur pays. « Le prix ne serait pas si élevé qu'il y paraît. Il serait vraisemblablement compris entre 50 millions et 1 milliard d'euros. Le bas de la fourchette estime la valeur de la terre nue de la province, et le haut représente le montant maximum de dette que pourraient vouloir supporter les habitants pour acheter leur pays : 500 euros par tête. » Et l'auteur de conclure cet exercice de diplomatie économique : « Voilà une réponse moderne et de marché au problème complexe du Kosovo, que l'Occident devrait soutenir. »

Encadré tiré du « Manuel d'économie critique »,
Édité par *Le Monde Diplomatique*, 2016, p.125



Erich Origen & Gan Golan, extrait de la bande dessinée *Les Aventures d'Ultra-Chômeur*
Editions Presque Lune, 2013

La question est alors de comprendre comment il est possible que, au moment où chacun sait que l'humanité et la vie en général sont menacées par la folie qui gouverne le monde actuel en partenariat avec la bêtise systémique (ou functional stupidity), personne ne paraisse être en mesure de créer les conditions d'une bifurcation radicale – non pas par une « innovation radicale » disruptive, comme nous allons voir qu'elle est revendiquée par ceux qui se présentent eux-mêmes, et en tant qu'entrepreneurs de start-up, comme de « nouveaux barbares », mais, tout au contraire, par une prise en compte de la radicalité de cette disruption du point de vue d'une nouvelle puissance publique, telle qu'elle permette de faire époque à nouveau.

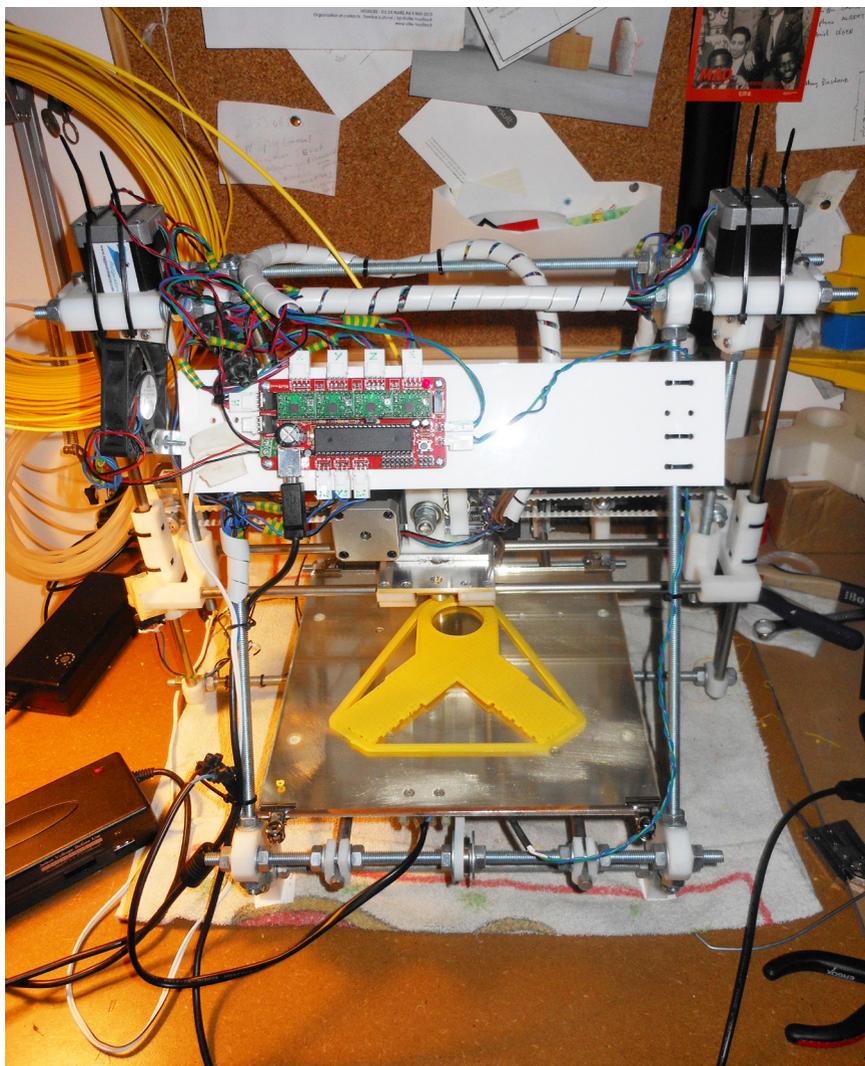
Bernard Stiegler

Dans la disruption, comment ne pas devenir fou, Editions LLL, 2016, p.29

Ce constat d'une impuissance qui apparaît pour l'instant quasiment indépassable résume bien mon sentiment général. Dans ce contexte, un objectif réaliste pourrait être de travailler sur des propositions visant à perturber un tant soit peu cet état de chose, même si c'est à l'échelle de « tactiques microbiennes¹ ».

Ces considérations me mèneront, en parallèle avec l'accumulation de petits savoir-faire techniques divers, à développer un intérêt aigu pour la question de l'autoproduction, au moins en tant que piste d'action temporaire, ou peut-être fautive de mieux.

1 : Cf. Michel de Certeau, *L'invention du quotidien*, 1. Arts de faire, p.xl



Ma première RepRap, une *Longboat Prusa*, peu après sa construction.
La pièce en cours d'impression est un des manchon destiné à la sculpture *Bascule*.

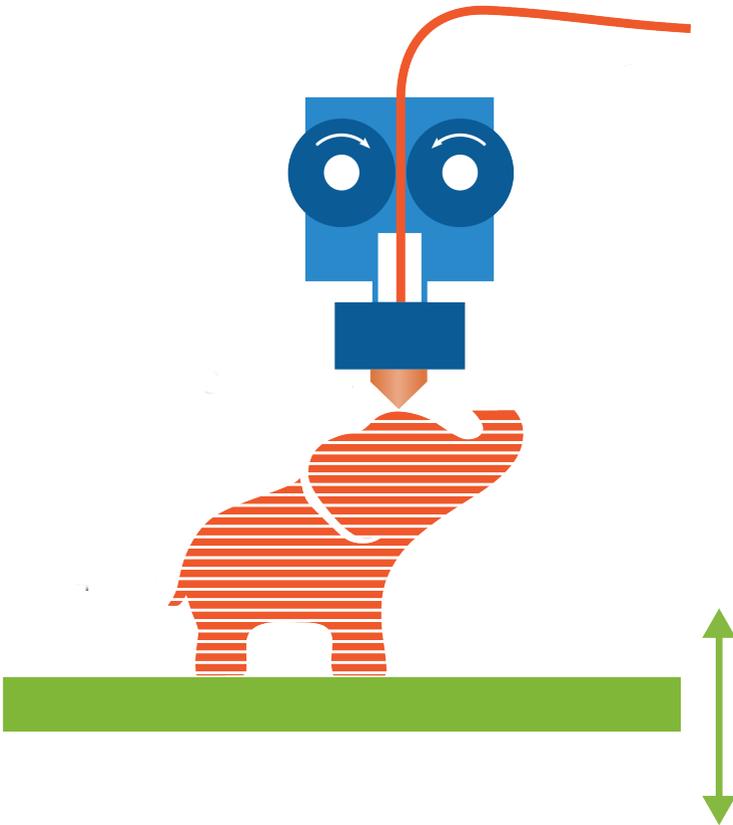
Note n°8

Recherche de savoir-faire : Deuxième choc, l'impression 3D FDM

Le décalage de mon travail vers des problématiques liées à la notion d'autoproduction a été à mon avis fortement accéléré par une appropriation technique bien spécifique, à savoir celle de l'impression 3D dite « FDM » (pour Fused Deposition Modeling, ou ses équivalents français : Fusion Déposition de Matière, « impression à dépôt de fil », « extrusion de filament »...).

La particularité de cette technologie est de reposer sur un principe de fonctionnement relativement simple, et donc d'être beaucoup plus accessible que les autres processus d'impression 3D (qui existent dans le monde industriel parfois depuis des dizaines d'années¹). C'est un des procédés de fabrication numérique les plus « *low-cost* » qui soit, tant du point de vue du prix de la machine que de celui du consommable (à savoir du filament, voir l'explication pages suivantes). Cette accessibilité, d'abord économique, est certainement au cœur de la conviction répandue que cette technologie, quelque part, « change la donne » par rapport aux habituelles trajectoires de conception - production - consommation - usages.

1 : Pour plus d'informations sur l'impression 3D et plus généralement les techniques de fabrication additives, voir l'article suivant sur le site strabic.fr : <http://strabic.fr/Impression-3d-ou-Fabrication-additive>



Filament Diagram of a 3D Printer (FDM)

Image libre de droits, sous licence CC BY-SA 4.0

(original par Kholoudabdolqader, vectorisation par Jona).

Détour :
L'impression 3D FDM (Fusion Déposition de Matière),
brève explication de principe

Il s'agit d'un moyen technique de matérialiser un modèle 3D (donc un volume virtuel), sous forme d'un objet réel.

Ce qui est rendu possible par l'« impression » de fines couches de matière les unes au-dessus des autres.

En l'occurrence, cette matière est dans l'immense majorité des cas un polymère thermoplastique comme le PLA ou l'ABS (du plastique, pour faire simple), qui est donc « fondu » pour être « déposé », et se fige en refroidissant pour former des couches solides.

Ce plastique, la plupart du temps, va pouvoir alimenter l'imprimante en se présentant sous la forme d'un filament qui est « poussé » dans la tête d'impression, où il sera chauffé afin de fondre et être déposé.



Gâchettes, 2012
Bois, PLA (impression 3D FDM)

Note n°9

Contraintes financières et solutions open-source : Le projet RepRap

En ce qui me concerne, j'ai découvert l'impression 3D FDM à travers des « résolutions de problèmes » qui étaient au cœur de deux projets de sculptures menés au même moment.

Tout cela se déroule en 2010, au début de ce que l'on désigne à présent comme une période de démocratisation de cette technologie. Le fait que cet épisode ait eu lieu précisément à ce moment-là n'est pas anodin : en effet, si j'avais bien conscience que l'impression 3D pourrait me permettre de produire ce que je souhaitais dans ces projets, les techniques dont j'avais entendu parler jusque là supposait des moyens financiers hors de ma portée (frittage de poudre, et autres technologies d'impression 3D nécessitant l'emploi de machines coûteuses, et donc le passage par des prestataires privés).

Cette impossibilité, essentiellement économique, me fait alors découvrir les solutions proposées par le monde de l'*open-source*, en l'occurrence le projet *RepRap* (imprimantes FDM à construire soi-même, en utilisant des pièces industrielles standard, des éléments imprimés par d'autres RepRaps, des plans et instructions de montages disponibles en ligne gratuitement).



Bascule, 2012
Bois, acier, béton, PLA (impression 3D FDM)

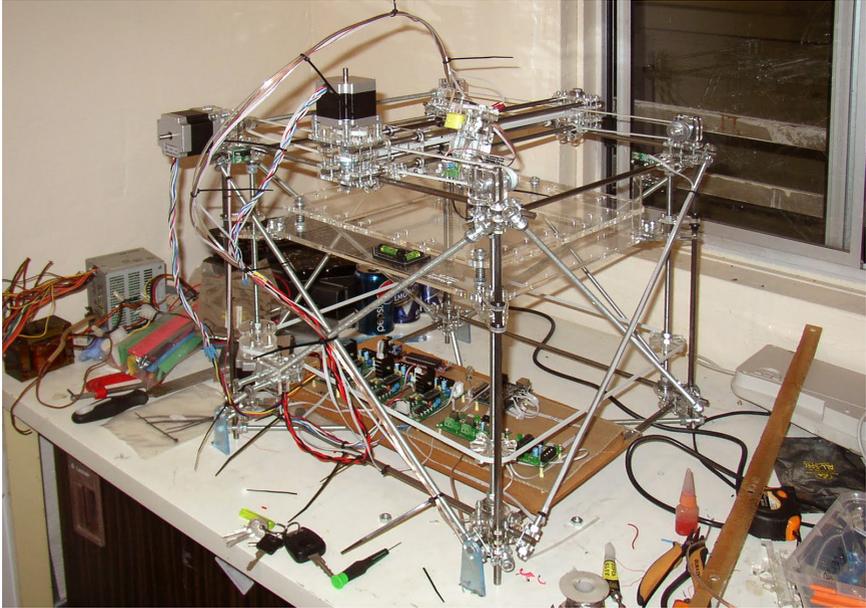
Peut-être que si j'avais eu besoin de ce type de technologie un peu plus tard, j'aurais utilisé une imprimante FDM commerciale, parmi un des nombreux modèles qui ont essaimé quelques années après (celles-ci ont d'ailleurs été entièrement basées sur les réponses techniques élaborées en *open-source* au sein du projet RepRap).

Une telle imprimante 3D aurait sans doute été livrée à domicile, montée toute prête, « allez-y en toute facilité c'est *plug & play* ». Ce qui du point de vue de l'efficacité, de la capacité à obtenir au mieux, au plus vite, ce que l'on souhaite avoir, aurait certainement été plus performant, comme dans la plupart des cas où avoir besoin de quelque chose signifie le plus souvent finir par l'acheter.

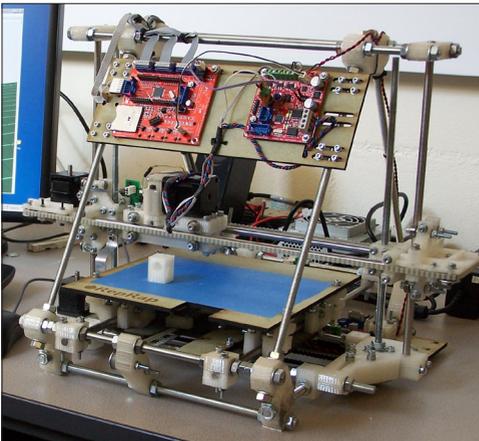
Mais la particularité de construire une RepRap, c'est justement de construire l'outil, la machine. Et c'est là que quelque chose s'est passé, où ce qui me semblait inconcevable et hors de portée est tout d'un coup devenu possible : il est donc envisageable d'accéder à un mode de production qui permet une qualité formelle proche de l'objet manufacturé, en construisant la machine elle-même, avec des moyens vraiment accessibles, même pour un individu isolé.

Curieusement, les deux projets qui m'ont mené à cette rencontre avec l'impression FDM sont sans doute, au sein de l'ensemble de mes réalisations artistiques, ceux qui se rapprochent le plus d'objets fonctionnels, dans leur principe et leur apparence. Je trouve notable que ces deux sculptures (qui s'intitulent respectivement *Bascule* et *Gâchettes*) comportent des pièces en mouvement, des articulations, des connexions, des emboîtements...

Quelque chose de plus technique s'y est joué, et l'impression 3D a rendu la chose non seulement possible, mais presque facile (j'entends par là facile en fin de course, une fois terminée la construction de l'imprimante, qui dans un premier temps n'était pas non plus une mince affaire...).



RepRap Darwin, 2008



RepRap Mendel, 2009



Roger Leloup, Yoko Tsuno
Extrait de l'album *Les Archanges de Vinéa*, 1983

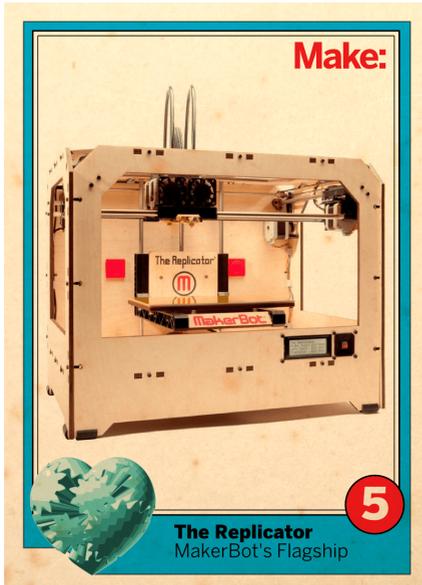
Note n°10

Une technologie transparente

Que ce soit au niveau de la construction de la machine, ou au niveau de ce qu'elle permet de réaliser, il y avait là, pour moi, un changement de paradigme vis-à-vis d'une certaine technicité industrielle, perçue comme une affaire de spécialistes, de ce qui relevait d'un « truc d'ingénieur » : cotes, tolérances, schémas électroniques aussi compréhensibles que des glyphes mésopotamiens, emplacement d'axes, alignement de roulements à billes, équations obscures pour calculer le débit de plastique correct...

Mais je découvre alors que moyennant des explications claires et une concentration suffisante, ce qui a toujours paru opaque peut devenir finalement très « transparent ».

Cette notion de transparence se retrouve d'ailleurs complètement matérialisée dans l'aspect extérieur des premiers modèles RepRap, par exemple la Darwin ou les premières Mendel : tous les éléments fonctionnels sont visibles : structure en tiges filetées, moteurs, courroies, rouages, résistance chauffante, câbles, carte électronique, c'est un corps mécanique non seulement « nu » mais un véritable « écorché vif » de la machine, dont absolument tout les « organes » sont à l'air libre.



3D
PRINTERS
2012

The Replicator

MakerBot
Brooklyn, USA
www.makerbot.com

The Replicator is the 3rd gen printer from MakerBot, and the first that is distributed (almost) fully assembled rather than a kit. The Replicator is an evolution of the Thing-O-Matic (2010) and Cupcake CNC (2009), which evolved from the efforts of the Rep Rap Foundation.

Users: **10,000**

Price: **\$1,749 (single extrusion)**
\$1,999 (dual) US

Software: **ReplicatorG**

Predecessors: **Thing-O-Matic,**
CupCake CNC

Print heads: **Stepstruder MK-8**

Layer thickness: **40 microns-.4 mm**

Materials: **ABS, PLA, PVA**

Max print: **8.9 x 5.7 x 5.9 in**

Footprint: **12.6 x 18.4 in**

Heated Platform: **Yes**



HELLO WORLD:
OK sign

TRIVIA:
The lease for MakerBot's original workshop included a clause requiring they comply with Isaac Asimov's Three Laws of Robotics.

MakerBot *Replicator*, 2012

3D printers trading cards, Shawn Wallace pour *Make: magazine*, 2012



MakerBot *Replicator +*, 2017

On s'aperçoit d'ailleurs que dès le moment où apparaissent les premières imprimantes « commerciales », même vendues en kit par des entreprises fondées par des « Makers » passionnés (Ultimaker et Makerbot, par exemple), la première différence tient à l'apparition d'un carénage, d'une coque cachant beaucoup des éléments mécaniques et électroniques (bien sûr, il s'agit aussi de les protéger, mais on devine tout de même une certaine volonté de dérober l'accès technique, de supprimer progressivement la possibilité de bidouillage et de réparation que pouvait avoir l'utilisateur).

Cette évolution tenant au moins pour partie, selon moi, d'une position assez particulière de l'impression 3D FDM dans le paysage des technologies innovantes, en raison de son histoire, je me permets un résumé de cette dernière dans les pages suivantes.

*Détour :
L'impression 3D FDM « de bureau »,
une histoire à l'intersection de mondes contradictoires*

L'invention de la première RepRap (la Mendel Darwin), par Adrian Bowyer, en 2006, est permise par la chute dans le domaine public des brevets protégeant la technologie des moteurs pas-à-pas (moteurs ayant la particularité de pouvoir tourner par incréments très précis, dans un sens comme dans l'autre).

De ce point de vue la démocratisation de l'impression 3D FDM est complètement corollaire d'une première résolution opportuniste, à savoir la soudaine possibilité d'avoir accès à ce type de moteurs, auparavant coûteux, et dont le prix chute considérablement une fois leur production détachée de l'exclusivité des brevets et soumise à concurrence.

La première résolution dans l'apparition de l'impression 3D FDM consiste alors à saisir le potentiel de la mort d'un copyright, d'un élément crucial ayant « ruisselé » (plus ou moins sans jeu de mot) hors du monde industriel et commercial.

Adrian Bowyer, qui voit dans les moteurs pas-à-pas la première « brique » de la mise au point d'une imprimante 3D « *low-cost* », résout aussi plus ou moins le reste des problématiques en jeu, et invente donc l'essentiel de la structure mécanico - électronique (mécatronique) des imprimantes 3D FDM, notamment en s'appuyant sur le principal acteur de l'électronique *open-source*, le système Arduino.

La suite de l'histoire reposera sur un travail collaboratif et mondial, qui affinera de plus en plus le procédé par une succession de résolutions techniques.

Celles-ci supposaient parfois de solides connaissances scientifiques, parfois une inventivité plus créatrice, parfois la fulgurance d'un bon sens simple et efficace...

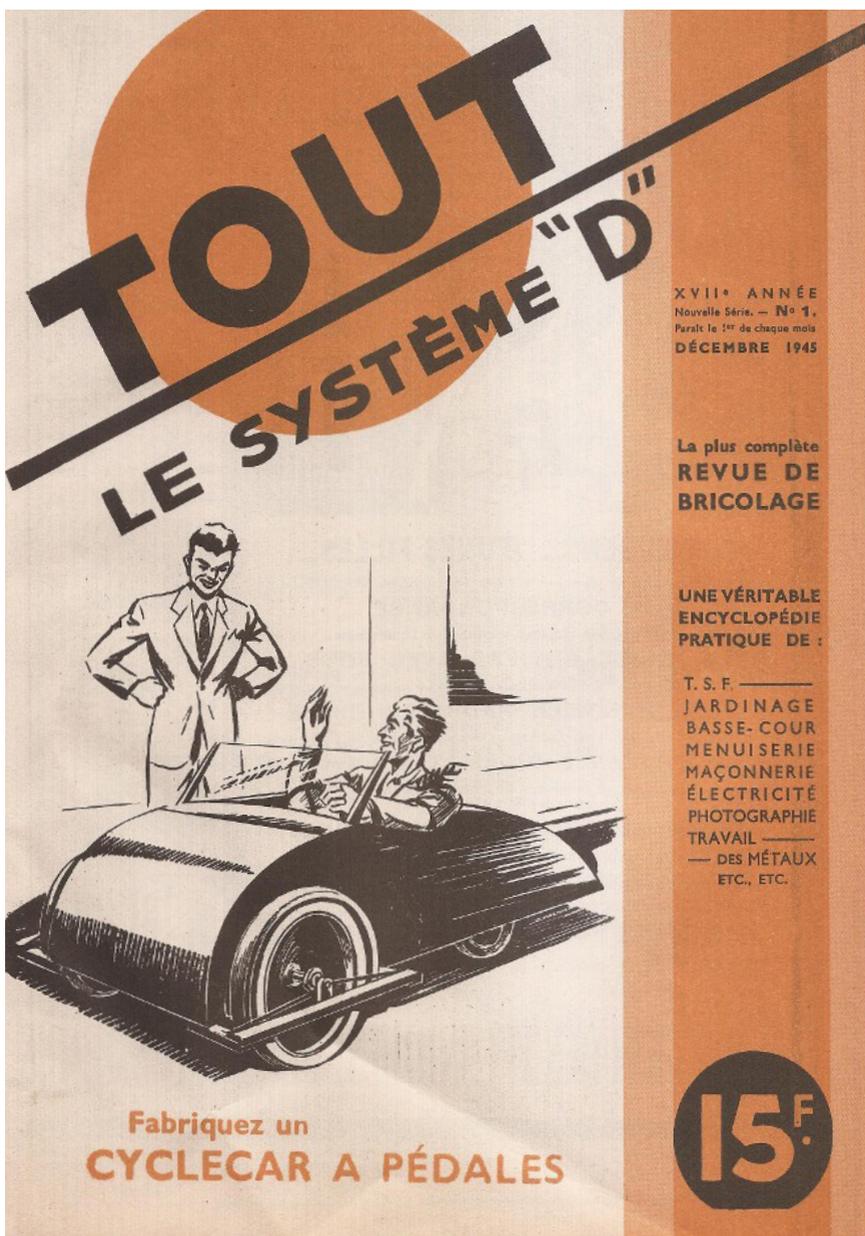
Certains individus donneront à eux seuls des contributions de très grande ampleur, en réinventant parfois l'architecture même des machines, comme Nophead, qui invente sous ce pseudonyme l'excellente Mendel 90... L'ouverture du projet à la libre-participation, dans le cadre et l'esprit du mouvement *open-source*, permet ces apports variés, qui affineront donc constamment le procédé jusqu'à l'obtention de machines fiables et véritablement utilisables.

Mais une fois cette technologie mise au point par ce processus ouvert, libre et collaboratif, et bien qu'elle essaime dans les « FabLabs » et parmi les « Makers » du monde entier, elle reste finalement très peu diffusée auprès du grand public, ce qui fait tout de même contradiction avec la volonté de rendre l'impression 3D accessible...

Et là, curieusement, c'est une forme de récupération par de grandes entreprises (Stratasys en premier lieu, qui rachète Makerbot), qui augmentera considérablement la visibilité de cette technologie par le plus grand nombre (au prix malheureusement de politiques commerciales favorisant des machines de plus en plus « fermées »).

Cette petite histoire me semble donc caractéristique d'une position actuellement assez rare pour une technologie numérique. Une position en porte-à-faux, où l'impression FDM est continuellement tirée, de façon antagonique, aussi bien dans son passé que ses avenir potentiels, entre d'un côté le monde de l'industrie, du marché et du profit, et d'un autre côté celui de l'autoproduction, du bricolage, du partage et de la gratuité...

Positionnement qui s'expliquerait alors peut-être par la nature plus ou moins contradictoire des « résolutions » qui furent nécessaires à son émergence puis à sa diffusion.



XVII^e ANNÉE
Nouvelle Série. — N^o 1,
Paraît le 1^{er} de chaque mois
DÉCEMBRE 1945

La plus complète
**REVUE DE
BRICOLAGE**

UNE VÉRITABLE
ENCYCLOPÉDIE
PRATIQUE DE :

T. S. F. ———
JARDINAGE
BASSE-COUR
MENUISERIE
MAÇONNERIE
ÉLECTRICITÉ
PHOTOGRAPHIE
TRAVAIL ———
— DES MÉTAUX
ETC., ETC.

15^F

Revue de bricolage *Système D*
Couverture du premier numéro paru après la Seconde Guerre mondiale

Note n°11

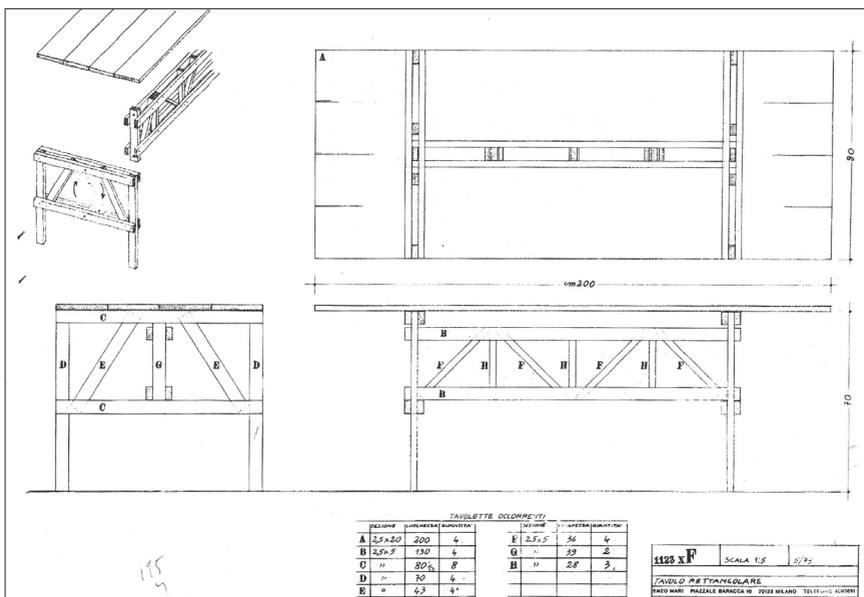
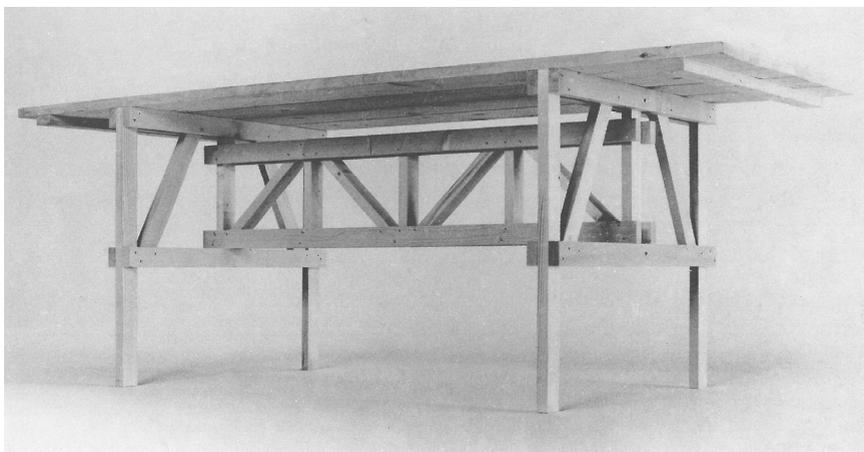
Quand on peut on veut

À travers mon travail artistique, qui impliquait pour chaque projet des résolutions techniques différentes, et qui par là m'a amené à me familiariser avec la plupart des médiums traditionnels (bois, métal, céramique...), j'ai acquis des compétences en tout genre et un petit fond d'outillage, et je me suis mis à développer en parallèle un fort attrait pour le bricolage et la résolution des micro-problématiques du quotidien...

Pas de déroule-PQ dans mes toilettes, il a suffi de quelques points de soudures sur un fer à béton pour en faire un que je trouve sacrément plus « cool » que ceux disponibles dans le commerce (si tant est qu'un déroule-PQ puisse être « cool »)...

Une structure en tasseaux, un tube d'acier, voilà une penderie de fortune qui fera la solution temporairement définitive au rangement de mes chemises... L'attitude devient habitude, tout y passe, même si les ambitions sont assez limitées (en effet, ces réalisations sont rarement cruciales en tant que telles).

La propension à préférer faire moi-même n'est pas toujours très heureuse, les finitions laissent souvent à désirer, et parfois le coût de revient est très largement supérieur à l'achat d'un meuble IKEA, pour un résultat moins efficace.



Enzo Mari
Autoprogettazione, 1974

Mais je développe un genre d'addiction à cette démarche de résolution technique appliquée à la vie courante, qui permet de réparer et de s'adapter aux choses déjà en place. C'est surtout gratifiant, il y a un plaisir à mettre en œuvre les possibilités ouvertes par les appropriations techniques successives, et de profiter du résultat...

Le personnage de Robinson Crusoé, représentant idéal d'une démarche d'autoproduction totale, laisse parfois entendre la satisfaction qu'il en tire, et son étonnement même que la maîtrise technique lui soit possible dans son isolement. En parlant du premier objet qu'il se met à fabriquer pour son « agrément » (une table), il a les mots suivants :

Je me mis donc à la tâche, et je profite de l'occasion pour faire remarquer que si la raison est l'essence et le principe des mathématiques, il n'est homme qui, avec le temps, ne puisse passer maître en n'importe quel art mécanique, pourvu qu'il ait recours à la raison pour calculer, évaluer et juger. Moi qui n'avais jamais manié un outil de ma vie, je constatai à la longue qu'à force de labeur, d'application et d'industrie, je pouvais fabriquer tout ce qui me manquait, surtout avec des outils.

Daniel Defoe
Robinson Crusoé, Editions Albin Michel, 2012, p.99

Robinson Crusoé souligne que la « possibilité de faire » est corollaire de l'usage de la raison et de l'acquisition de compétences, mais surtout de l'accès à des *outils*.

Pour retourner la célèbre expression un poil culpabilisante du « quand on veut on peut », je trouve en somme plus réaliste (dans ce contexte précis bien sûr) l'idée que « quand on peut on veut ».



Imprimante 3D FDM JW325

Mise en avant d'un « très grand » volume d'impression : 300 x 250 x 520 mm.
Il n'est pas précisé le temps nécessaire à la fabrication du vase présenté, probablement de l'ordre d'une dizaine d'heures.



Phénomène de « délamination » :
Pièce brisée au niveau des jonction entre les couches

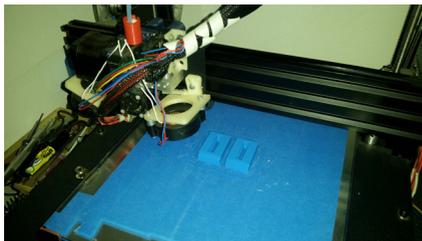
Note n°12

Limites et contraintes de l'impression 3D FDM : Premières interrogations

La plupart de mes bricolages relèvent du travail du bois et du métal, et tout d'un coup, avec ma première RepRap, voilà le plastique, et la possibilité d'avoir des résultats très précis, jusqu'à se rapprocher de l'apparence des objets industriels.

Les contraintes sont tout de même fortes : le volume des objets faisables est limité, et de toute façon les temps d'impression sont tellement longs qu'envisager des grosses pièces est vite décourageant.

Le plastique est fragile dans le sens où les couches sont superposées (tendance à se briser au niveau de la jonction entre deux couches, ce qu'on appelle la délamination). Le processus ne garantit pas non plus les normes d'usage alimentaire, donc autant oublier les assiettes, bols, tasses et autres objets de l'« art de la table », qui pourtant semblaient de bons candidats, au vu de leur petit format et de leur utilité certaine.



Remplacement de glissières en plastique sur un réservoir de WC



Tasse de bonde (À gauche : pièce originale, disparue / À droite : version de remplacement)

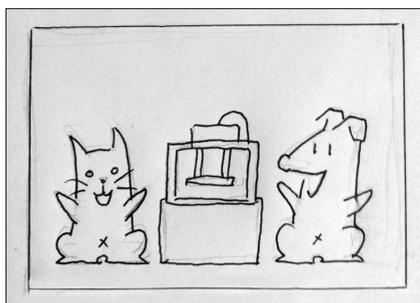
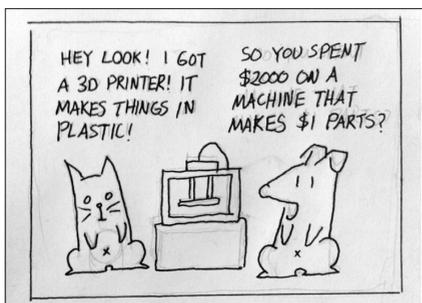


Illustration par iamwil, publiée sur *Cubehero Blog*, 2013

Mais bien que l'impression FDM manifeste ainsi rapidement ses nombreuses limites, je gardais la conviction qu'au-delà d'un porte-crayon ou une coque de téléphone (pour citer des objets populaires au titre de réalisations fonctionnelles faisables en impression 3D), énormément d'autres applications, potentiellement plus intéressantes, seraient possibles .

En attendant, étant déjà en capacité de produire certains éléments sur-mesure, cela me conduit à des premières utilisations plutôt orientées sur la réparation et le remplacement de pièces cassées ou perdues.

Or le plastique est souvent le bienvenu dans des histoires de salle d'eau, donc après le fabuleux déroule-PQ en fer à béton, voilà la fabrication de glissières d'attaches pour un réservoir de WC ou encore d'une tasse de bonde (pièce placée dans les évacuations des bacs de douche, et qui fait office de siphon) : le plastique c'est fantastique.

Makers



**Das Internet der Dinge:
die nächste industrielle
Revolution**

Edition allemande du livre *Makers, la nouvelle révolution industrielle*
Auteur : Chris Anderson
Illustration de couverture : Jochen Schievink

Note n°13

Une « révolution industrielle », l'hypothèse (trop) optimiste ?

Suite à la découverte de l'impression 3D FDM et du projet RepRap, je suis vite tenté de souscrire à l'hypothèse que celle-ci est quasiment la réalisation d'une utopie concrète : d'un point de vue « sommairement marxiste », n'est-ce pas là la fin annoncée de la « propriété des moyens de production » ?

L'image est assez séduisante et semble recouper l'idéal des « FabLabs » : les imprimantes 3D, combinées à d'autres machines de fabrication numériques (découpe laser, fraiseuse numérique...), pourraient former un réseau de « micro-usines », capables d'assurer des processus de production à une échelle locale, communautaire, en limitant les intermédiaires.

Ce qui permettrait d'échapper à certains effets néfastes des logiques financières et industrielles, tout en jouant un rôle dans la diffusion de savoirs techniques.

Cette approche finirait alors par changer le paradigme de la consommation, et faire de tout un chacun un « producteur » autant qu'un « utilisateur »... Ce serait, de façon très raccourcie, le postulat d'une partie de ceux qui envisagent la démocratisation de l'impression 3D comme un élément décisif dans l'émergence d'une « troisième révolution industrielle ».



Impression 3D de céramique
Studio Unfold ~Fab



Liquid Printing
Self-Assembly Lab (MIT)

Note n°14

Des limites fortes de l'impression 3D « personnelle » en tant que moyen de production

L'hypothèse optimiste se heurte aux limites du matériel disponible, et dans l'état actuel des choses, ce moyen de production, à l'échelle individuelle, ne constitue pas une solution alternative efficace.

Les principaux soucis sont de deux ordres : problèmes d'échelle d'une part (technologie qui par comparaison avec l'industrie est très lente et contrainte à des objets de petit volume, peu concurrentielle en terme de productivité et donc de coûts), et de matériaux encore principalement limités à certains plastiques d'autre part (et donc impossibilité d'utiliser ces techniques pour énormément d'usages impliquant résistance mécanique, durabilité, neutralité chimique...).

Il faut évidemment pondérer cet aspect, sachant que les progrès technologiques dans le domaine de l'impression 3D sont assez rapides, aussi bien du point de vue des questions d'échelle que de matériaux (impression 3D de béton pour la réalisation d'architectures, impression 3D de métal, de céramique ou de verre, recherches sur l'impression ultra-rapide dans des cuves remplies de gel...).

Mais ces techniques sont encore loin du niveau d'« accessibilité » technique et économique de l'impression FDM de matériaux plastiques (elles sont soit coûteuses, soit complexes à mettre en œuvre en dehors d'un cadre industriel, ou n'ont pas encore dépassé le stade expérimental).



Thingiverse Featured

HAPPY EASTER!!

Put all your **eggs** in a basket with these gorgeous designs by **Antonin Nosek**. All of them are easy to print, fixed, flatted and ready to slice.

Don't forget to upload a photo of your make and tag Thingiverse on [Instagram](#) and [Twitter](#)!



Thingiverse Featured

JULIUS CAESAR PEN HOLDER

Add some drama to your desk with [this design](#) by [derailed](#).

Don't forget to upload a photo of your make and tag Thingiverse on [Twitter](#) and [Instagram](#)!

Julius Caesar (Improved) Pen/Pen



Thingiverse Featured

ARTICULATED BUTTERFLY

This design by [Bran](#) has sent printers a-flutter with 28 makes in just 21 days. [Print one](#) today!

Don't forget to upload a photo of your make and tag Thingiverse on [Twitter](#) and [Instagram](#)!

Articulated Butterfly



Thingiverse Featured

HAPPY ST. PATRICK'S DAY!

A good 3D print design is like a four-leaf clover, hard to find and lucky to have. Well, we think [Dalpek](#) struck a pot of gold when he published [this](#) design!

Don't forget to upload a photo of your make and tag Thingiverse on [Twitter](#) and [Instagram](#)!

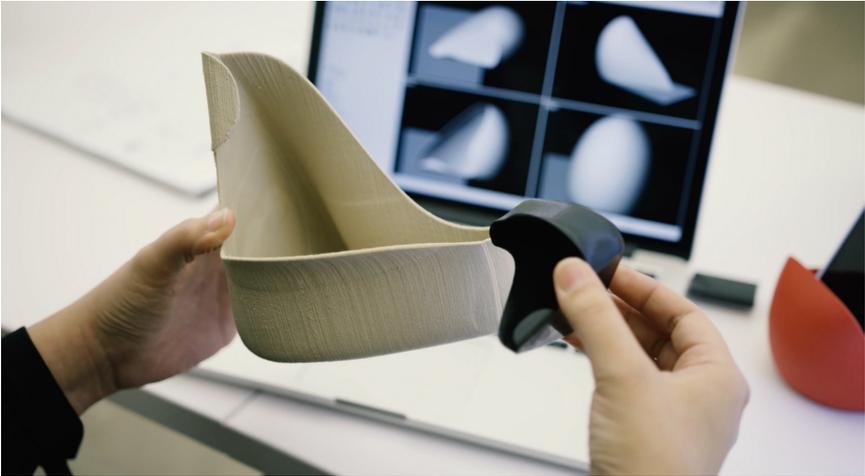
Fancy Mustache for St. Patrick's

St. Patrick's Day
Fancy Mustache

Modèles 3D « *Featured* » (« mis en avant ») sur le site [Thingiverse.com](#) (en page d'accueil du site pour la semaine du 26 mars 2018)

Il reste donc assez consensuel de considérer que le paysage actuel des technologies d'impression 3D « de bureau » n'est pas en mesure de faire rupture en tant que moyen de production. Ou tout du moins que pour l'instant cette technologie ne peut remplacer ou concurrencer aucun grand secteur de production industrielle.

Il suffit d'ailleurs de jeter un œil à la plupart des modèles 3D téléchargeables sur *Thingiverse*, la plateforme la plus utilisée pour le partage de fichiers 3D destinés à la fabrication numérique personnelle, pour s'apercevoir que très peu d'objets répondent à de véritables « besoins » ou « usages », ce qui laisse entendre que des choses *nécessaires et pertinentes* ne sont quasiment jamais produites, dans une démarche d'autoproduction, grâce à une imprimante 3D (sauf des exceptions assez rares, par exemple certaines prothèses médicales : voir à ce sujet le projet *e-Nable*, mettant en relation des handicapés avec des *Makers* capables de produire les prothèses de mains ou de bras qui leur seraient nécessaires).



Susan Taing, *Bsonic iPad Speaker* by *Bhold x Ultimaker*
Prototypes



Robert Hallifax, *manche de rasoir*
Prototypes

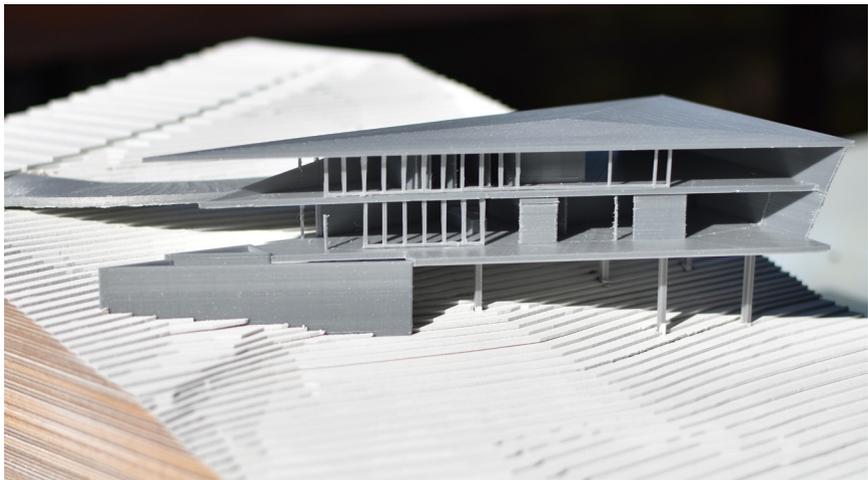
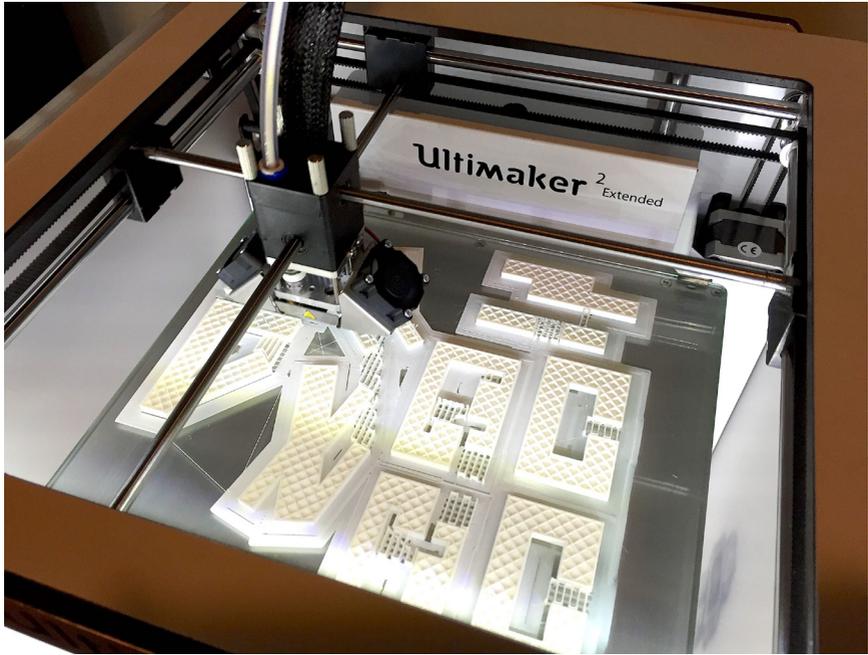
Note n°15

L'impression 3D « de bureau » comme un moyen de conception qui a fait ses preuves

Face à son manque d'efficacité en tant que moyen de production, l'impression 3D se retrouve par contre très utilisée dans des domaines où sa flexibilité est essentielle et où ses inconvénients ont moins d'importance, par exemple la réalisation de prototypes et de maquettes.

Du point de vue des processus de conception, on peut alors considérer que la démocratisation des imprimantes FDM a déjà fait rupture. Elles permettent des allers-retours faciles et fréquents entre conception virtuelle et prototype réel, et donc de tester « en vrai » des modifications appliqués sur les modèles 3D, d'éprouver véritablement les formes, l'ergonomie d'un objet, la pertinence d'un format...

Ce qui facilite considérablement des méthodes de conception par tests et nombreuses itérations successives.



Maquettes de projets architecturaux
Daniel Arellano & Bercy Chen Studio

Dans de nombreux cas, la démocratisation de l'impression 3D a ouvert la voie à la diffusion de processus de conception plus efficaces et moins coûteux, ou même à la possibilité pour des individus, seuls ou en équipe réduite, de trouver des solutions formelles ou techniques dont la mise au point aurait été extrêmement fastidieuse sans l'aide de cette technologie.

Qu'il s'agisse d'un bijoutier, d'un designer, d'un architecte... toutes les catégories professionnelles ayant besoin de prototypes ou de maquettes, comme éléments de réflexion autant que de démonstration, possèdent déjà très fréquemment une imprimante 3D, souvent devenue pour eux un outil de conception à part entière.

Note n°16

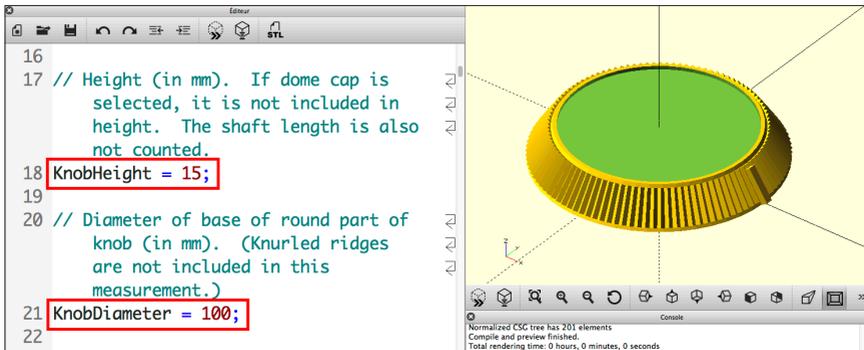
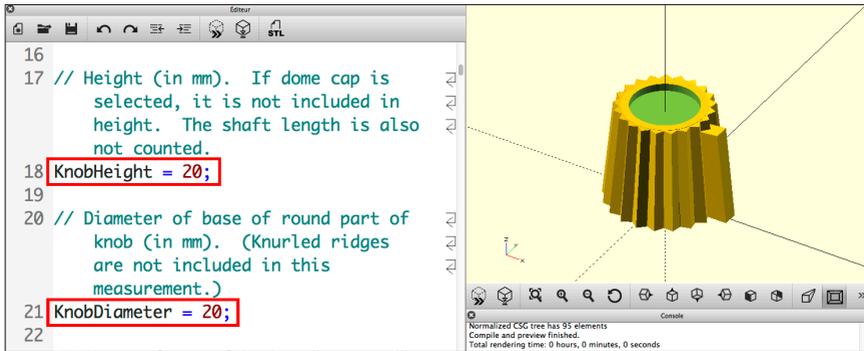
Flexibilité et modèles 3D paramétriques

La spécificité des techniques de fabrication numérique tient avant tout à leur flexibilité, ou « versatilité » (au vu de leurs limites quand on les prend sous d'autres points de vue, tel qu'expliqué plus haut).

Leur avantage essentiel est la possibilité pour une même machine de produire des modèles différents à chaque fois, sans besoin de modifier le processus pour chacun d'entre eux.

Les modèles 3D paramétriques sont des fichiers 3D ayant la particularité d'être à « géométrie variable ». C'est à dire qu'ils donnent la possibilité à l'utilisateur de changer les valeurs prises par des paramètres, valeurs qui déterminent la forme du modèle 3D.

Ces paramètres peuvent être de différentes sortes, mais typiquement ce peut être par exemple la dimension d'une partie spécifique d'un objet. On obtient grâce à cela une version personnalisée avec précision du modèle, qui pourra correspondre parfaitement à un usage sur-mesure, respectant les cotes et les options souhaitées par l'utilisateur. Les modèles paramétriques semblent donc être, en terme de flexibilité, l'équivalent virtuel des techniques de fabrication numériques.



Customizable Knob!, par Charliarmorycom
Bouton rotatif paramétrique

Modélisation paramétrique de type « CSG » (*Constructive Solid Geometry*).

Ici, fichier au format SCAD, la modélisation est entièrement réalisée sous forme de code informatique, à partir d'opérations sur les volumes « primitifs » (cube, cylindre, sphère).

On voit les paramètres (KnobHeight, KnobDiameter), et les valeurs, exprimées en mm, que l'utilisateur peut changer à volonté (avec le logiciel open-source et gratuit *OpenScad*).

Les modèles paramétriques, en association avec des techniques de fabrication numériques comme l'impression 3D, semblent donc former un couple idéal.

D'abord parce que la modélisation paramétrique permet aussi de générer des formes très complexes, et donc de véritablement exploiter la capacité de l'impression 3D à produire des objets « tarabiscotés », remplis de creux, de courbes compliquées, etc...

Ensuite parce que, en permettant la rencontre entre une véritable flexibilité de l'objet virtuel et une véritable flexibilité du processus de fabrication, il serait par exemple possible de résoudre certaines problématiques posées par la démocratisation de l'impression 3D, comme la difficulté de conception et de création des modèles : travail complexe demandant des compétences spécialisées, et nécessitant à priori des capacités de designer et/ou d'ingénieur.

Diffuser des modèles paramétriques, surtout de type « CSG » (car ils sont les plus accessibles à un utilisateur lambda : voir ci-contre le principe du logiciel *OpenScad*), c'est faciliter à l'auto-producteur la réalisation « en série » d'« objets uniques » sans qu'il ait pour cela à maîtriser l'exercice de la conception 3D.



Customizable U-Hook, 2016
Images extraites de la documentation

Note n°17

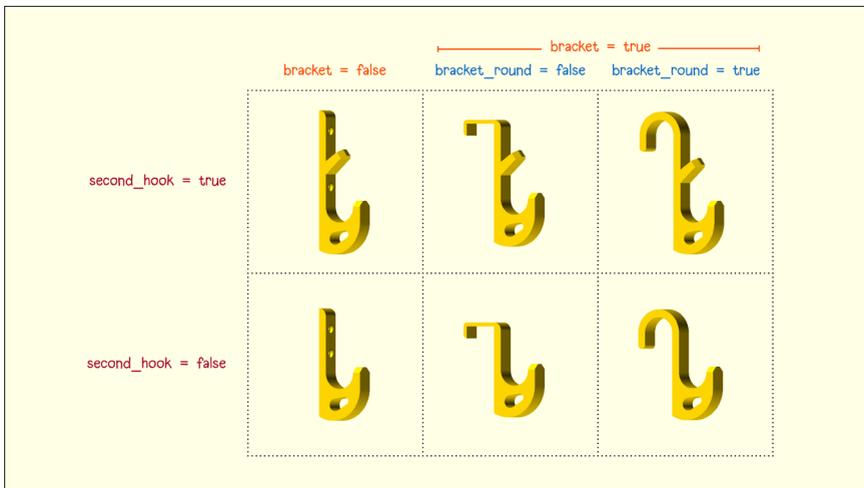
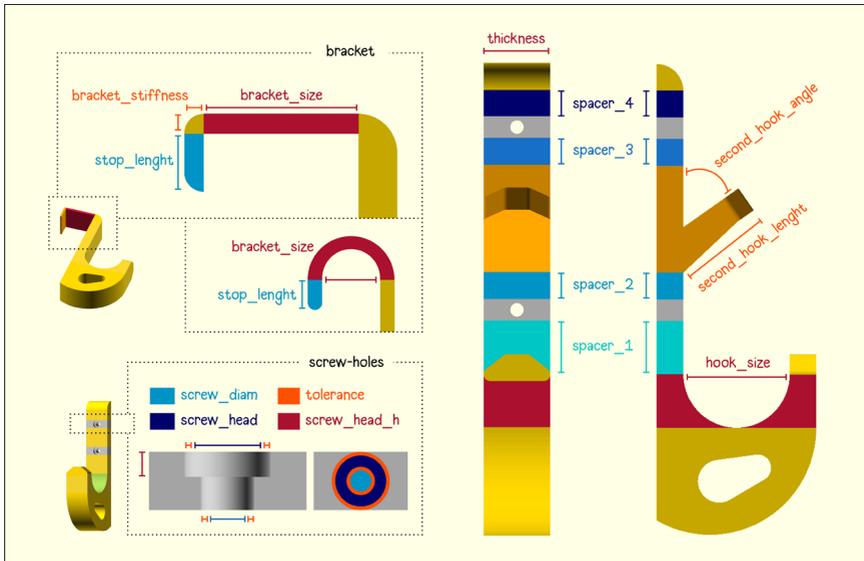
Première proposition « fonctionnelle » de ma part : un crochet paramétrique

Toujours en partant des petites réalités de mes besoins quotidiens, et en m'appuyant sur cette conviction qu'il est pertinent, pour une production en impression 3D, de proposer des modèles 3D paramétriques simples d'utilisation, je travaille alors sur une application toute bête.

Ayant besoin de patères sur-mesure, qui doivent s'accrocher sur l'épaisseur de la porte d'un placard, je mets au point un modèle 3D paramétrique de crochet (au format *SCAD*, voir double page précédente). En fonction des paramètres choisis, il permet d'obtenir un crochet pouvant s'emboîter sur le haut d'une porte, être suspendu à un tube, ou simplement vissé sur un mur ou un support.

Le résultat fonctionne bien, et suite à sa publication sur les principales plateformes d'échanges de fichiers 3D, ses bonnes statistiques d'utilisation semblent confirmer la pertinence de cette petite proposition.

Ce qui, je crois et j'espère, tient à la bonne adéquation entre ce projet et les contraintes identifiées plus haut de l'impression FDM.



Customizable U-Hook, 2016
 Images extraites de la documentation

J'ai conçu la forme du crochet pour que le processus d'impression soit complètement dans la zone de confort de cette technologie (absence de tout porte-à-faux problématique), tout en assurant une solidité maximum de l'objet final (la forme et le sens d'impression évitent le risque de délamination, et permettent au crochet imprimé de soutenir un poids important).

J'ai fourni une documentation illustrée qui facilite l'utilisation du fichier et du logiciel *OpenScad*, pour que l'utilisateur arrive sans difficulté à obtenir exactement le modèle aux cotes et avec les caractéristiques qu'il souhaite.

La nature de l'objet s'accommode bien des limites de volume, et la simplicité de la géométrie autorise l'emploi de vitesses d'impression assez rapides.

Ce résultat a en tout cas confirmé ma conviction qu'il était possible de développer des applications fonctionnelles, impliquant par exemple de la résistance mécanique, en tirant parti des caractéristiques de l'impression FDM.

Détour :
Evolution des pratiques d'éditions web

Je reviens sur cette affaire de flexibilité, car elle me semble comparable à l'histoire plus ou moins récente de la création et de l'édition de sites web.

Un peu avant l'émergence du web « 2.0 », s'affirmait d'abord la supériorité indiscutable des sites web dits dynamiques sur les anciennes techniques de codage dites « en dur ».

Le site dynamique s'appuie sur un *template* (modèle) visuel, une base de donnée et un « *back-office* », le maître-mot en est la séparation de la forme et du fond : l'utilisateur crée son contenu en l'inscrivant dans le *back-office*, qui est une interface « simple et sympa » lui donnant des champs à remplir pour indiquer le titre de la page, le sous-titre, tel paragraphe, telle image à tel endroit...

Ces informations (le fond) sont stockées dans la base de données, qui les restitue au moment où le site est consulté, en injectant ce contenu dans le *template*, sorte de grille visuelle (la forme), pour afficher « dynamiquement » la page, qui est générée en direct à chaque visite.

Cette façon de faire des sites dynamiques, maintenant hégémonique, succède aux sites codés en dur, c'est à dire où la page était écrite dans son intégralité sous forme de code HTML (pour le contenu) et CSS (pour ce qui relevait de la forme : couleurs, polices de caractère, espacements...).

Dans un site « en dur », changer le slogan en dessous de son logo était une tâche fastidieuse, il fallait alors voyager parmi des centaines de lignes de code, page par page, pour y effectuer la même modification à chaque fois. Dans un site dynamique, ce type de changement, effectué une seule fois dans le *back-office* (qui modifie alors la base de données), donnera lieu à l'actualisation automatique de toutes les pages, générées de nouveau en prenant en compte cette modification.

La programmation « en dur », puis celle des premiers sites dynamiques, supposait de manier plusieurs types de codes informatiques : (X)HTML, CSS, PHP, JAVASCRIPT...

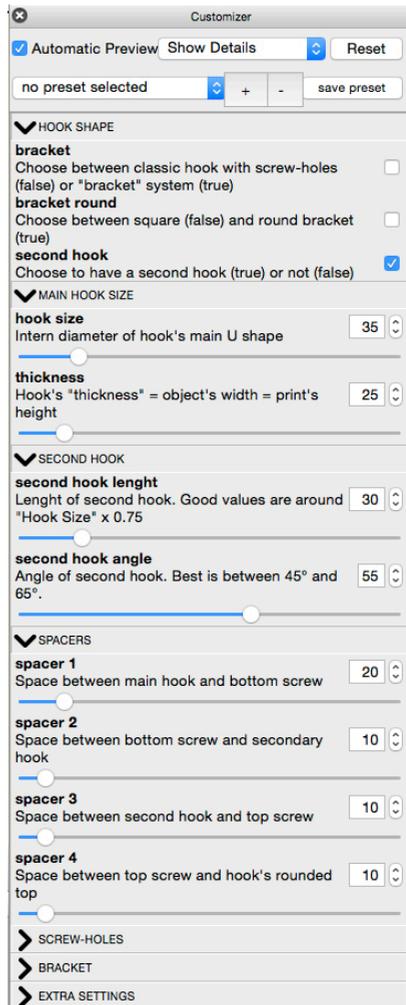
Mais suite à la diffusion rapide des stratégies de publication dynamiques, l'évolution principale de ce domaine a justement tenu à la mise au point de *modèles (templates)* de mises en page, ainsi que de systèmes de publication *paramétrables* par l'utilisateur, afin de permettre à tout un chacun de créer son site, toujours plus personnalisé et unique.

Cette tendance est clairement visible à travers le succès des plateformes de « blog » (*Blogger, Tumblr*), des CMS (*Content Managing System*) grand public comme *Wordpress*, ou des différents systèmes d'aide à l'édition de sites internet (*Bootstrap, Cargo Collective, Wix...*).

```

36 /*-----
37 /*-----
38 /*----- SETTINGS
39 /*-----
40
41 /* [HOOK SHAPE] */
42
43 // Choose between classic hook with screw-hole
44 bracket=false; // [false, true]
45
46 // Choose between square (false) and round bra
47 bracket_round=false; // [false, true]
48
49 // Choose to have a second hook (true) or not
50 second_hook=true; // [true, false]
51
52
53
54 /* [MAIN HOOK SIZE] */
55
56 // Intern diameter of hook's main U shape
57 hook_size=35; // [0.1:250]
58
59 // Hook's "thickness" = object's width = print
60 thickness=25; // [0.1:250]
61
62
63
64 /* [SECOND HOOK] */
65
66 // Length of second hook. Good values are arou
67 second_hook_length=30; // [0.1:200]
68
69 // Angle of second hook. Best is between 45° a
70 second_hook_angle=55; // [0:90]
71
72
73
74 /* [SPACERS] */
75
76 // Space between main hook and bottom screw
77 spacer_1=20; // [0:200]
78
79 // Space between bottom screw and secondary ho
80 spacer_2=10; // [0:200]
81
82 // Space between second hook and top screw
83 spacer_3=10; // [0:200]
84
85 // Space between top screw and hook's rounded
86 spacer_4=10; // [0:200]
87
88
89
90 /* [SCREW-HOLES] */

```



Une question d'interface qui m'intéresse tout particulièrement :

L'édition des valeurs prises par les paramètres d'un modèle 3D dans *OpenScad*

À gauche : édition « classique », en rentrant les valeurs numériques via l'éditeur de code.

À droite : la dernière version d'OpenScad, encore en développement, intègre une « interface facilitante » optionnelle (appelée « Customizer », et basée sur l'outil en ligne du même nom proposé par *Thingiverse.com*).

Elle permet d'éditer les valeurs via des « réglettes » et des « cases à cocher », plus pratiques et visuelles, mais surtout moins intimidantes.

Note n°18

Les « interfaces facilitantes » : Un enjeu des techniques de fabrication numériques

L'impression 3D, et les techniques de fabrication numériques en général, sont un peu des « modes de production dynamiques » par rapport aux techniques industrielles classiques.

En commandant à la machine un modèle différent, elle produit un objet différent, sans qu'il ait fallu changer quoi que ce soit à la machine elle-même ou à l'un de ses composants. On pourrait alors considérer une imprimante 3D comme un genre d'« interface facilitante », une machine simple et sympa, qui ne demande ni compétence ni intervention technique pour passer de l'impression d'une figurine de Yoda à celle d'un engrenage mécanique.

Les modèles 3D paramétriques sont aussi le pendant dynamique des modèles 3D classiques « en dur ». Là où changer précisément le diamètre d'un modèle 3D de tasse à café, sans modifier la taille et les proportions de son anse, aurait demandé à l'utilisateur certaines compétences en modélisation 3D, il peut simplement modifier le paramètre « diamètre de la tasse », pour que soit automatiquement généré le nouveau modèle, sans affecter la taille et la géométrie de l'anse. Le modèle 3D paramétrique serait donc aussi une forme d'interface facilitante.

```
The IBM Personal Computer DOS
Version 2.00 (C)Copyright IBM Corp 1981, 1982, 1983

A>dir

Volume in drive A has no label
Directory of A:\

COMMAND  COM      17664    3-08-83  12:00p
FORMAT   COM       6016    3-08-83  12:00p
CHKDSK   COM       6400    3-08-83  12:00p
SYS      COM       1408    3-08-83  12:00p
DEBUG    COM      11904    3-08-83  12:00p
SLOOP    COM         32    1-01-80   7:44p
        6 File(s)    292864 bytes free

A>_
```

Interface du système d'exploitation MS-DOS, dans les années 80

L'utilisation du système supposait un minimum de compréhension des logiques informatiques à l'œuvre dans un ordinateur.

Pour voyager dans l'arborescence des fichiers, l'utilisateur tapait au clavier l'identifiant du disque dur (ici « A »), suivi de la commande « dir », qui en affiche le contenu (le répertoire, ou « *directory* »).

Le principe d'une interaction avec l'outil informatique par l'écriture directe de « lignes de commande » est maintenant réservé aux informaticiens et autres utilisateurs éclairés.

Le grand public, lui, a en général plutôt du mal avec ce type d'interface.

Note n°19

Paradoxe de l'interface facilitante : ouverture = fermeture

Un paradoxe émerge de ces démarches de facilitation : souvent, dans le domaine du numérique en général, offrir un outil de facilitation revient en parallèle à soustraire à l'utilisateur la technique originelle, fondamentale, pour lui offrir des interfaces « intuitives ».

C'est un genre de double mouvement : d'un côté tel outil va permettre à celui qui ne pouvait pas faire un site web (ou un modèle 3D) d'y arriver, de l'autre il cantonne peut-être la véritable compréhension technique à de moins en moins de gens (potentiellement, juste ceux qui produisent les outils en question).

Sans doute les deux faces de cette question cohabitent et sont indissociables l'une de l'autre. Le diagnostic est tout de même cruel : l'ouverture d'une technique à un maximum d'utilisateurs, en la rendant « facile », peut provoquer un genre de fermeture, une baisse proportionnelle du nombre d'usagers qui en ont un bon degré de compréhension.

Page d'exemple

Permalien : <http://localhost/wordpress/page-d-exemple/> Modifier

Ajouter un média

Paragraphe B I [Liste à puces] [Liste à puces]

Visuel Texte

Voici un exemple de page.

Elle est différente d'un article de blog, en cela qu'elle restera à la même place, et s'affichera dans le menu de navigation de votre site (en fonction de votre thème). La plupart des gens commencent par écrire une page « À Propos » qui les présente aux visiteurs potentiels du site. Vous pourriez y écrire quelque chose de ce tenant :

Bonjour ! Je suis un mécanicien qui aspire à devenir un acteur, et ceci est mon blog. J'habite à Bordeaux, j'ai un super chien qui s'appelle Russell, et j'aime la vodka-ananas (ainsi que perdre mon temps à regarder la pluie tomber).

...ou bien quelque chose comme cela :

La société 123 Machin Truc a été créée en 1971, et n'a cessé de proposer au public des machins-trucs de qualité depuis cette année. Située à Saint-Remy-en-Bouzomont-Saint-Genest-et-Isson, 123 Machin Truc emploie 2 000 personnes, et fabrique toutes sortes de bidules super pour la communauté bouzomontoise.

Page d'exemple

Permalien : <http://localhost/wordpress/page-d-exemple/> Modifier

Ajouter un média

b i link b-quote del ins img ul ol li code more fermer les balises

Visuel Texte

```
<h1>Voici un exemple de page.</h1>

<p style="text-align: left;">Elle est différente d'un article de blog, en cela qu'elle restera à la même place, et s'affichera dans le menu de navigation de votre site (en fonction de votre thème). La plupart des gens commencent par écrire une page « À Propos » qui les présente aux visiteurs potentiels du site. Vous pourriez y écrire quelque chose de ce tenant :</p>

<blockquote>Bonjour ! Je suis un mécanicien qui aspire à devenir un acteur, et ceci est mon blog. J'habite à Bordeaux, j'ai un super chien qui s'appelle Russell, et j'aime la vodka-ananas (ainsi que perdre mon temps à regarder la pluie tomber).</blockquote>

<h2>...ou bien quelque chose comme cela :</h2>

<blockquote>La société 123 Machin Truc a été créée en 1971, et n'a cessé de proposer au public des machins-trucs de qualité depuis cette année. Située à Saint-Remy-en-Bouzomont-Saint-Genest-et-Isson, 123 Machin Truc emploie 2 000 personnes, et fabrique toutes sortes de bidules super pour la communauté bouzomontoise.</blockquote>

<p style="text-align: left;">étant donné que vous êtes un nouvel utilisateur ou une nouvelle utilisatrice de WordPress, vous devriez vous rendre sur votre ce href="http://localhost/wordpress/wp-admin/">tableau de bord</a> pour effacer la présente page, et créer de nouvelles pages avec votre propre contenu. Amusez-vous bien !</p>
```

Edition de site web : interface du CMS (*Content Managing System*) Wordpress
 Permutation entre les deux modes de travail possibles :

En haut : utilisation de l'éditeur « visuel »
 En bas : utilisation de l'éditeur de code HTML

Note n°20

Interfaces brutes, portes d'entrées

Sans doute faut-il créer un maximum d'interfaces facilitantes, en ce qu'elles permettent l'accessibilité du plus grand nombre à des usages techniques de plus en plus variés, ce qui est de toute façon souhaitable (dans le cas des pages web, il est difficile de contester qu'il est plutôt positif que de plus en plus de gens soient capables de publier en ligne des contenus).

Mais il semble aussi intéressant de penser à conserver, pour une certaine catégorie d'utilisateurs, l'accès à des interfaces plus « brutes », où ils retrouvent les choses « à nu », susceptibles d'être contrôlées ou modifiées par qui en a les moyens, ou veut s'y essayer (c'est d'ailleurs le cas pour l'édition de pages web, où souvent les interfaces peuvent être permutés entre « édition visuelle, intuitive » et « édition directe du code »).

On peut aussi considérer ces interfaces facilitantes non seulement comme des filtres simplifiants, mais comme de véritables « portes d'entrées » vers une compréhension technique. Je veux dire par là chercher à proposer une façon simple et intuitive de faire une opération technique, tout en encourageant le plus possible la curiosité et la compréhension des processus sous-jacents à cette opération.



Workshop
Construction d'imprimantes 3D FDM de type « Delta »

De ce point de vue, les imprimantes 3D FDM sont peut-être une bonne « interface brute - porte d'entrée ». Ce sont des machines au degré de complexité moyen, qui (certes au prix d'un certain effort) peuvent être vraiment comprises par leurs utilisateurs.

L'auto-construction d'une imprimante 3D (de type RepRap par exemple), tout comme son utilisation, nécessite une accumulation de compétences techniques variées (électronique, programmation...). Il me faudra plusieurs mois d'apprentissage autodidacte, grâce aux ressources disponibles sur le web, pour arriver à construire ma première RepRap. Ceci dit, ce constat peut se lire positivement dans l'autre sens : sans aucune des compétences techniques requises, il est possible de construire une imprimante 3D en quelques mois (sans doute quelques semaines avec un enseignant), et pour quelques centaines d'euros, tout en acquérant une véritable compréhension de l'ensemble des éléments qui la constitue et de son fonctionnement.

Ce degré de complexité moyen est donc entendu comme mettant quand même l'utilisateur en position de maîtriser ce qui pouvait lui sembler communément hors de portée (mécatronique, langage de programmation...).

À la différence, par exemple, de la confrontation avec le savoir-faire artisanal, car si l'on sent bien que tel meuble d'ébéniste ou tel vase en céramique a demandé un haut degré de maîtrise pour sa réalisation, il ne nous « échappe » pas dans sa technicité. Il s'agit de se rendre familier de choses qu'on pense souvent *incompréhensibles*.

Conclusion

Ces notes pourraient continuer, j'arrête donc ici un peu arbitrairement. Mais il me semble avoir déjà pu éclaircir les principales évolutions de mon travail :

En partant d'une première intuition, à savoir l'importance pour moi de la notion d'appropriation technique, j'ai explicité ma tendance à l'apprentissage autodidacte et transdisciplinaire, qui me mène dans un premier temps vers des études universitaires d'archéologie. J'en sort avec une fascination pour la correspondance entre le type d'organisation d'une société et les « objets » qu'elle produit.

Cette idée se retrouve ensuite dans mon travail artistique, qui passe de recherches assez « documentaires » à des réalisations axées sur les questions d'archétype et de typologie.

Puis l'intérêt que je développe pour l'autoproduction va faire glisser le positionnement de mon travail : de réalisations artistiques pensées comme des « études », des analyses ou des commentaires, je passe à des objectifs de « propositions » plus concrètes.

Dans ce contexte, la découverte de l'impression 3D FDM sera l'occasion d'un « précipité » de tous ces « zigzags convergents » : au carrefour entre appropriation technique, émergence d'un moyen de production accessible, outil pédagogique... C'est une concentration des principales problématiques qui me préoccupent, bien que cette technologie s'avère actuellement plutôt décevante par rapport aux perspectives qu'elle pouvait susciter à ses débuts.

Si ce déroulé décrit au final assez bien la logique sous-jacente à ce que j'ai pu faire jusqu'ici, c'est surtout ce « point d'arrivée » qui s'en dégage : la conviction de pouvoir participer à une « reconsidération » des potentiels de l'impression FDM.

Café des sports. Un coude pivote, question :
« Mais tu fais quoi, au juste ? »...

Maintenant je pourrais sans doute répondre que je travaille à créer des propositions fonctionnelles et formelles spécifiques aux contraintes de l'impression 3D FDM. Cette démarche étant susceptible, à mon avis, d'ouvrir des pistes inattendues concernant l'usage des techniques de fabrication additives en général. Par extension, cela permettrait peut-être de redonner une certaine viabilité aux visions (certes un peu idéalistes) qui considèrent ces technologies comme facteurs de changements sociaux-économiques. Cet enjeu là est plus complexe, plus lointain, mais reste une véritable motivation « de fond ».

Peut-être que c'est encore un peu lourd, comme réplique de comptoir... D'ailleurs il reste encore les affaires de casseroles à chauffer : trouver une réponse n'est pas toujours trouver une solution...

Images & Citations

IMAGES :

Couverture :

Serge Payen, « carte mentale », 2018

p.18 :

Serge Payen, « carte mentale », 2018

p.20 :

Serge Payen, détail tiré du livre *RUA*, 2006

p.24 (de haut en bas) :

Serge Payen, *Sona*, 2005

Serge Payen, *Parabole*, 2006

p.26 :

André Leroi-Gourhan, *L'Homme et la matière*, Albin-Michel, 1971 (p.28)

p.28 :

Serge Payen, *Borne*, 2011

p.30 :

Miguel Egana, *Vive les artistes*, 2012

p.32 (de haut en bas) :

Serge Payen, *RUA*, 2006

Serge Payen, *Le Terrain Rue Kollwitz*, 2009

p.34 (de haut en bas) :

Jean Rouch, *Les Maître Fous*, 1955

Jean-Luc Moulène, *Le Tunnel*, 2007

Taryn Simon, *An American Index of the Hidden and Unfamiliar*, 2007

Chris Marker, *L'Ambassade*, 1973

p.36 :

Serge Payen, *Plans*, 2008

p.38 (de haut en bas) :

Donald Judd, *Untitled*, 1991

Sol LeWitt, *Variations of Incomplete Open Cubes*, 1974

- p.39 :
Bernd & Hilla Becher, *Water Towers*, 1988
- p.40 :
Occupy Georges (collectif), *Messages on 1\$ bills*, 2011
- p.42 (de haut en bas) :
Encadré tiré du *Manuel d'économie critique*, *Le Monde Diplomatique*, 2016
E.Origen & G. Golan, *Les Aventures d'Ultra-Chômeur*, Ed. Presque Lune, 2013
- p.44 :
Serge Payen, *Longboat Prusa*, 2010
- p.46 :
Kholoudabdolqader, *Filament Diagram of a 3D Printer (FDM)*, 2017
- p.48 :
Serge Payen, *Gâchettes*, 2012
- p.50 :
Serge Payen, *Bascule*, 2012
- p.52 (de haut en bas et de gauche à droite) :
Adrian Bowyer & Ed Sells, *RepRap Darwin*, 2008
Adrian Bowyer & Ed Sells, *RepRap Mendel*, 2009
Roger Leloup, *Yoko Tsuno* (Extrait de l'album *Les Archanges de Vinéa*), 1983
- p.54 (de haut en bas) :
Shawn Wallace, *3D printers trading cards : MakerBot Replicator*, 2012
Makerbot, *Replicator +*, 2017
- p.58 :
Couverture du magazine *Système D* (n°1), 1945
- p.60 :
Enzo Mari, *Autoprogettazione*, 1974
- p.62 (de haut en bas) :
Imprimante 3D FDM *JW325*, 2016
Serge Payen, *Phénomène de délamination*, 2016

p.64 (de haut en bas) :

Serge Payen, remplacement de glissières, 2015

Serge Payen, tasse de bonde, 2015

Iamwill, illustration pour *CubeHero Blog*, 2013

p.66 :

Jochen Schievink, illustration pour : *Makers, la nouvelle révolution industrielle*, 2012

p.68 :

Studio Unfold Fab, impression 3D céramique, 2013

Self-Assembly Lab (MIT), *Liquid Printing*, 2018

p.70 :

Thingiverse, modèles 3D « *Featured* » (« mis en avant ») en page d'accueil du site pour la semaine du 26 mars 2018

p.72 :

Susan Taing, prototypes d'amplificateur acoustique, 2016

Robert Hallifax, prototypes de manches de rasoir, 2015

p.74 :

Daniel Arellano & Bercy Chen Studio, maquettes architecturales, 2015

p.76 :

Edouard Cabey & Tomas Diez, support de cours, 2016

p.78 :

Serge Payen, modélisation CSG sur *OpenScad*, 2016

p.80, 82 :

Serge Payen, *Customizable U-Hook* (extrait de la documentation), 2016

p.86 :

Serge Payen, deux modes d'interface sur *OpenScad*, 2016

p.88 :

Auteur inconnu, interface du système d'exploitation *MS-DOS*, 1983

p.90 :

Serge Payen, interface du CMS *Wordpress*, 2018

p.92 :

Red Mountain Makers, workshop, 2017

CITATIONS :

p.43 :

Bernard Stiegler

Dans la disruption, comment ne pas devenir fou, Editions LLL, 2016, p.29

p.61 :

Daniel Defoe

Robinson Crusoé, Editions Albin Michel, 2012, p.99

