



MINISTÈRE  
DE L'ÉDUCATION  
NATIONALE

# L'IMPRESSION 3D



POUR L'ÉCOLE  
DE LA CONFIANCE

# SOMMAIRE

---

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Encourager les apprentissages en mode projet par des enseignants «makers»                               | 3  |
| Mieux comprendre les concepts                                                                           | 4  |
| Encourager la démarche projet dans les enseignements technologiques                                     | 7  |
| Préparer les élèves à acquérir des chaînes de compétences numériques                                    | 10 |
| Renforcer une démarche design et créative chez les élèves                                               | 11 |
| Susciter les pratiques collaboratives entre élèves                                                      | 12 |
| Favoriser les interactions entre enseignants utilisateurs avec l'imprimante 3D                          | 14 |
| Faciliter les apprentissages pour les élèves en situation de handicap                                   | 16 |
| Utiliser des maquettes en impression 3D pour des élèves présentant des troubles de la fonction visuelle | 19 |
| Participer à une démarche écocitoyenne                                                                  | 25 |
| L'impression 3D à l'École, quels points de vigilance ?                                                  | 27 |

## ENCOURAGER LES APPRENTISSAGES EN MODE PROJET PAR DES ENSEIGNANTS «MAKERS»

À noter que le terme « Maker » est en relation directe avec l'impression 3D de type FDM (Fused Deposition Modeling) à savoir l'impression par filament fondu qui a été développée par S. Scott Crump à la fin des années 80 et commercialisée en 1990 par Stratasys.

Cette technologie est devenue accessible au plus grand nombre suite à l'arrivée dans le domaine public de certains brevets. Le premier brevet sur la fabrication additive a été déposé par trois français en 1984, donnant lieu à un grand nombre d'autres initiatives dans le monde industriel. Jusqu'en 2006 la fabrication additive était réservée à l'industrie. C'est au Dr Adrian Browyer, alors professeur en génie mécanique de l'Université de Bath au Royaume-Uni et à son projet REPRAP, que l'on doit une accessibilité élargie à l'impression 3D. L'idée de ce projet est de pouvoir construire par soi-même une imprimante 3D. C'est un des projets qui a lancé le début de ce qu'on a pu appeler par la suite, le mouvement « Maker ».

Lorsque l'on parle du mouvement « Maker », il est la plupart du temps accompagné de l'acronyme « DIY » pour « Do It Yourself » (faites-le vous-même) et cette culture « Maker » est fondamentalement tournée vers le « faire » en s'appuyant sur la technologie. Elle prône la réappropriation des moyens et des méthodes de fabrication, de production, de création tout en se reposant sur les dernières innovations contemporaines. Cette culture « Maker » a été accélérée par l'avènement du numérique et des apprenants du monde entier ont pu avoir accès à des compétences qui s'obtenaient, pour certaines, uniquement à l'université ou en écoles d'ingénieurs. Les apprentissages et le partage d'informations autour de projets et de compétences ont été grandement facilités. Le même phénomène s'est produit dans le milieu de l'éducation avec un accès au savoir facilité par le numérique.

C'est une autre façon d'enseigner qui se dessine avec non plus uniquement une pédagogie d'apports de savoirs mais une pédagogie donnant une large place à l'accompagnement par l'enseignant auprès d'élèves « makers ». Dans cette configuration, ce n'est plus simplement la transmission du savoir qui est centrale, le réel enjeu est de doter les apprenants des compétences pour qu'ils puissent correctement utiliser ces savoirs, mener des projets et résoudre des problématiques afin de s'adapter plus facilement au monde de demain. L'apprentissage par le « faire », et plus largement la pédagogie de projet constituent des solutions pour construire et acquérir les compétences du 21<sup>e</sup> siècle telles qu'elles sont définies par l'OCDE (Collaboration, Créativité, Résolution de problème, Pensée critique...). On remarque une grande concordance entre les divers cadres de compétences, preuve qu'il existe un large consensus parmi les chercheurs dans ce domaine.

L'impression 3D fait partie des outils de prototypage rapide utilisés par les « Makers », comme la découpe laser ou la carte électronique Arduino par exemple. Ces outils ont tous les trois le même intérêt : permettre de prototyper tout ce qu'une personne imagine. Dans ce cadre, il devient plus facile de travailler les compétences nécessaires au 21<sup>e</sup> siècle.

Ce nouvel outil prend tout sens par l'ingénierie pédagogique qui l'accompagne. Ainsi l'enseignant sera amené à construire des situations d'apprentissage autour de ces technologies en mettant en place des pédagogies qui révèlent l'intérêt premier de cet outil et son potentiel de créativité. Une des pistes tient dans l'accompagnement au sein de lieux et d'espaces spécifiques.

Le mouvement « maker » a su faire émerger ces espaces comme les Hackerspaces, Makerspaces et Fablabs. Ce sont des lieux sont équipés avec des outils de prototypage 3D. Depuis les années 90, nous constatons une multiplication de ces espaces, ce sont des tiers-lieux, des lieux d'échanges informels entre le lieu d'habitation et le lieu de travail où une communauté d'apprenants se réunit pour échanger autour de thématiques et de projets. Les « makers » disposent d'espaces pour mutualiser les outils de prototypage et mutualiser leurs compétences, afin de progresser dans leurs projets, mais aussi pour apprendre entre pairs. En France, des enseignants « makers » commencent à créer des makerspaces dans des établissements scolaires.

Les imprimantes 3D permettent de réaliser de nombreux projets et de créer des supports d'apprentissage dans différentes disciplines notamment en mathématiques, physique, histoire...

Toutes ces possibilités permettent aux apprenants d'être acteurs de leur apprentissage, ils peuvent créer leurs propres supports pédagogiques, afin d'acquérir et de transmettre des connaissances. L'utilisation de l'imprimante 3D favorise l'échange et crée des passerelles entre les différentes connaissances et compétences, ce qui renforce le parcours d'apprentissage qui n'est plus uniquement pluridisciplinaire (démarche collaborative) ou interdisciplinaire (démarche coopérative) mais transdisciplinaire. Des parcours d'apprentissage inter-cycle sont aussi grandement facilités par l'usage de l'imprimante 3D. La fabrication additive peut être utilisée de la maternelle à l'université lors de séances de « makestorming » inter-cycle. Par exemple, une classe de maternelle va émettre une idée, des élèves de primaire vont l'aider à la conceptualiser, des collégiens vont produire et fabriquer un prototype et des lycéens vont promouvoir et diffuser ce projet auprès de la communauté apprenante.

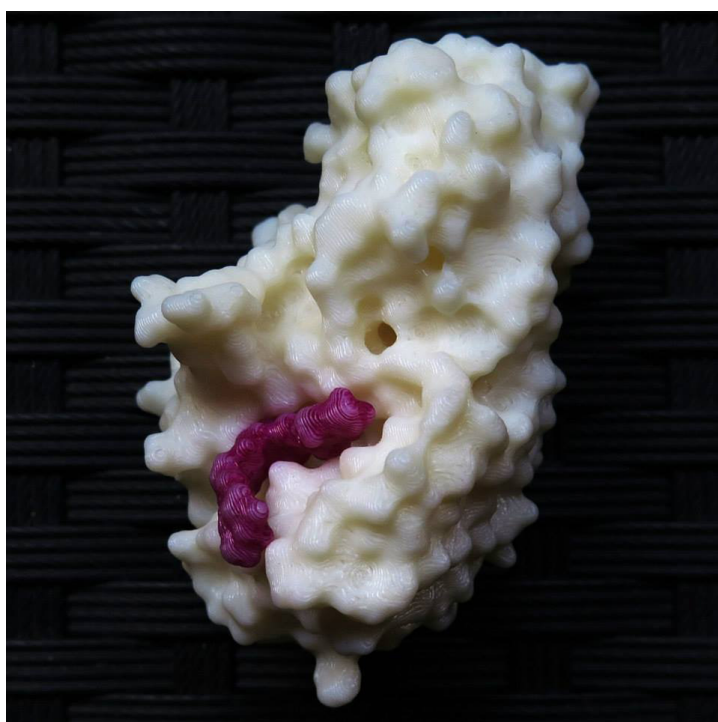
L'imprimante 3D, au-delà de toutes ces spécificités techniques est un des outils qui permet d'ouvrir les pratiques des enseignants à de nouvelles stratégies et ingénieries pédagogiques.

## MIEUX COMPRENDRE LES CONCEPTS

Mise au point il y a une vingtaine d'années, l'impression 3D n'a fait que récemment son entrée dans l'attirail pédagogique. Au-delà de son utilisation par les élèves des séries technologiques ou professionnelles en tant que machine-outil (de plus en plus présente dans le monde industriel), se pose la question de savoir si cette innovation peut également faciliter l'apprentissage des concepts.

### Des modèles imprimés pour se représenter l'infiniment grand et l'infiniment petit

L'une des caractéristiques de l'impression 3D est de pouvoir imprimer un objet (scanné ou modélisé) à des échelles différentes. Il est alors possible de proposer aux apprenants des modèles imprimés d'objets infiniment petits (ex. molécules, virus ...) ou infiniment grands (ex. objets du système solaire). L'utilisation de ces modèles permet de rendre plus accessibles certains concepts délicats, comme par exemple l'interaction entre deux molécules ou la géologie d'un cratère martien.



*Photographie d'un modèle imprimé montrant l'interaction entre deux molécules (une enzyme et son substrat).*

*Crédits : Philippe Cosentino*

## Des modèles tridimensionnels plus faciles à appréhender

L'utilisation d'objets imprimés n'est pas le seul médium que l'on peut employer pour se représenter un objet tridimensionnel, qu'il soit concret ou abstrait (comme en géométrie par exemple). L'utilisation d'images bidimensionnelles (imprimées sur papier ou affichées à l'écran) permet, par les indices de perspectives, de reconstruire mentalement un objet doté d'une profondeur. Avec le numérique il est également possible de faire pivoter cet objet sur l'écran, et ainsi de pouvoir l'observer de plusieurs points de vue. Cependant, pour certains apprenants, ce passage d'une représentation bidimensionnelle à une représentation tridimensionnelle peut représenter une difficulté supplémentaire à surmonter. L'utilisation d'objets physiques fait disparaître cette difficulté. On notera que l'apprenant peut manipuler librement l'objet sans passer par une interface numérique, ce qui facilite encore sa tâche. Enfin, le fait de pouvoir tenir l'objet en main, rajoute une dimension sensorielle supplémentaire grâce au sens du toucher. Cette exploration tactile revêt une importance particulière pour certains apprenants, pour qui les représentations uniquement visuelles et les explications verbales ne suffisent pas (apprentissage multisensoriel).



*Photographie d'un Gömböc. Le Gömböc est un objet qui a la propriété de n'avoir qu'un point d'équilibre stable bien qu'il soit homogène. Cette propriété peut être vérifiée sur un modèle imprimé en 3D.  
Crédits : Philippe Cosentino*

## Des modèles « sur mesure »

Les outils numériques de modélisation ou de conception 3D sont déjà bien intégrés dans certains enseignements technologiques ou scientifiques. Ces enseignants qui maîtrisent les outils de modélisation peuvent désormais produire des modèles « sur mesure », introuvables sur le marché, et les utiliser comme support d'enseignement. Quant aux enseignants qui ne maîtrisent pas ces outils, ils peuvent recourir à des outils accessibles (en ligne et gratuits qui leur permettront, dans certaines limites, de réaliser des modèles correspondant à leurs besoins). C'est par exemple le cas en géographie ou en géologie où il est très simple d'obtenir le modèle numérique de terrain « prêt à imprimer » correspondant au relief d'un lieu quelconque, ou en biochimie où il devient possible d'exporter et d'imprimer en 3D n'importe quelle molécule.



*Photographie : modèle imprimé de croûte terrestre montrant le relief au niveau de l'Europe. Toute autre zone géographique aurait pu être imprimée par l'enseignant.*

*Crédits : Philippe Cosentino*

*Pour en savoir plus : [http://www.ac-nice.fr/svt/productions/autres/bilan\\_impression\\_croûte.pdf](http://www.ac-nice.fr/svt/productions/autres/bilan_impression_croûte.pdf)*

## Une concrétisation de l'apprentissage

En dehors de certaines filières professionnelles ou technologiques, l'apprenant engagé dans un projet de conception devait auparavant se contenter d'une production virtuelle (par exemple en visualisant l'objet conçu à l'écran), ce qui pouvait induire une frustration ou impacter sur sa motivation. De plus, le virtuel ne permet pas toujours de se rendre compte des contraintes associées au projet ou des défauts du produit conçu. L'impression 3D, permet, à un moindre coût, d'aller plus souvent au bout du processus de production.



*Photographie : élèves de BTS travaillant sur Catia. Désormais ils peuvent imprimer leurs pièces en 3D.  
Crédits : Pierre Palomares (Lycée Rouvière, Toulon)*

## En conclusion

L'impression 3D met ainsi à la portée des enseignants une grande gamme de modèles physiques qui facilitent l'apprentissage de certains concepts abstraits ou concrets, dont la représentation tridimensionnelle pouvait représenter une difficulté. Bien entendu, de tels modèles existaient avant l'impression 3D, mais leur fabrication était complexe et coûteuse (utilisation de moules), et l'enseignant voyait son choix restreint par l'offre des catalogues et par son budget. De plus, cette technologie permet à l'enseignant de disposer de modèles sur-mesure adaptés à des situations particulières ou locales. Enfin, elle permet à l'apprenant de mieux appréhender les concepts associés à la conception en lui permettant d'aboutir à la production d'un objet physique.

# ENCOURAGER LA DÉMARCHE PROJET DANS LES ENSEIGNEMENTS TECHNOLOGIQUES<sup>1</sup>

## Un procédé de prototypage rapide maintenant accessible à l'école

Depuis les années 80, le principe d'impression 3D ne relève plus de la fiction. En effet, sous le nom « stéréolithographie », ce procédé d'impression a pris son essor durant les années suivantes, lorsque le MIT s'inspira des imprimantes à jet d'encre pour concevoir une nouvelle méthode de prototypage rapide. Mais ce n'est que depuis quatre ans que la baisse du prix de ce type de machines, l'amélioration de la qualité des matériaux utilisés ainsi que la démocratisation des logiciels de conception ont permis aux imprimantes 3D de sortir des laboratoires et des bureaux d'études pour être finalement accessible au grand public.

En complément aux procédés de prototypages de type CFAO (Conception et fabrication assistées par ordinateur) par commandes numériques (MCN), les imprimantes 3D apparaissent progressivement dans notre environnement pédagogique et technique. Elles font désormais partie des équipements usuels que l'on rencontre dans les laboratoires de STI2D (Sciences et technologie de l'industrie du développement durable) en lycée et s'invitent peu à peu dans les laboratoires de Technologie en collège. La baisse de leurs coûts d'achat ainsi que l'amélioration de leurs performances permettent de les considérer aujourd'hui comme des moyens complémentaires d'obtention de pièces spécifiques ou de maquettes pédagogiques.

L'impression 3D, également dénommée « fabrication par couches additives » ou « fabrication additive », permet de restituer physiquement des objets 3D, à partir du modèle CAO (conception assistée par ordinateur), sans outillage. Le modèle numérique 3D est dessiné par les élèves avec un modelleur volumique (Google sketchup, Solidworks...) puis généralement exporté au format STL (Standard Tessellation Language). Ces imprimantes procèdent ensuite à la réalisation par dépôt de filament fondu (Fused Deposition Modeling). Ce procédé est utilisé par une majorité d'imprimantes 3D que l'on utilise dans le cadre éducatif. Son principe de fonctionnement est le suivant : un matériau, souvent présenté sous forme de bobine, passe à travers une buse d'extrusion chauffée. Il fond et se dépose sur un support. Une fois la première couche terminée, le plateau d'impression descend pour recevoir la seconde et ainsi de suite. Les matériaux les plus couramment utilisés sont des plastiques appelés PLA (acide polylactique) et ABS (Acrylonitrile butadiène styrène). Ils existent bien sûr d'autres principes techniques (stéréolithographie, frittage laser, procédé PolyJet ou DLP [Digital Light Processings]) qui sont utilisés dans certains BTS spécifiques. Mais actuellement, ce sont principalement les imprimantes 3D dites « de table » qui ont investi le domaine éducatif.

## L'impression 3D, un outil de prototypage rapide usuel dans les lycées en STI2D

Depuis la mise en place de la réforme, les nouveaux programmes de STI2D au lycée ont mis en place le prototypage comme un des moyens essentiels pour les élèves de concrétiser le projet d'un objet technique, de l'idée au prototype...

D'après le bulletin officiel (BO) du 3 mars 2011, il s'agit de faire vivre aux élèves, lors de leur passage, tout ou partie d'une démarche de réalisation d'un prototype dans le cadre d'une pédagogie de projet. L'objectif, des nouveaux programmes étant de répondre aux principes de l'enseignement technologique au travers de méthodes pédagogiques « inductives » appliquées à l'étude d'objets techniques concrets comme alternative aux enseignements parfois abstraits de la voie générale...

C'est ainsi que les imprimantes 3D sont devenues parmi les moyens de prototypage rapide les plus utilisés en lycée technologique, et tout particulièrement en STI2D dans le cadre d'activités pédagogiques liées à la conception d'objets techniques.

1. [La 3D, c'est impressionnant](#) - technologie n°198 - éduscol STI

En STI2D, l'activité de conception ne porte pas sur la création d'un nouveau produit, déconnecté de l'environnement proche des élèves mais plutôt sur d'amélioration d'un produit existant afin de le rendre plus performant dans un contexte de développement durable. Les élèves travaillent très souvent dans le cadre de projets et répondent à des contraintes énoncées dans un cahier des charges. Ils imaginent des solutions techniques pour les analyser par la suite et les modéliser au travers un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) avant de les valider par prototypage.

## **L'impression 3D en appui sur la chaîne numérique et les programmes de Technologie collège.**

Par « homothétie » aux enseignements technologiques menés en lycée, dès le cycle 4, les réalisations en technologie collège s'inscrivent également dans une démarche de conception. Dans cette discipline, la conception et la réalisation d'objets techniques se concrétisent généralement grâce à la génération de quelques pièces par « prototypage rapide » en s'appuyant sur la chaîne numérique.

Le programme de technologie précise que durant le cycle 4, l'élève va acquérir les compétences lui permettant de passer progressivement de l'analyse à la conception. S'agissant d'activités de projet, la conception est introduite dès la classe de 5e, mais de façon progressive et modeste sur des projets simples. Des projets complets (conception, réalisation, validation) sont eux attendus en classe de 3e.

À noter, qu'une mention de l'impression 3D est faite tout particulièrement dans les nouveaux programmes de Technologie collège (BO) dans la partie « Design, innovation et créativité », dans laquelle une attention particulière est apportée au développement des compétences liées à la réalisation de prototypes. Au collège, une imprimante 3D est donc un outil utile aux élèves pour illustrer concrètement et « ponctuellement » l'intégralité de la chaîne de prototypage d'un composant « spécifique » d'un objet technique. Cela afin de mettre en application des activités pédagogiques se basant sur la conception et fabrication assistée par ordinateur (CFAO). Potentiellement, elle peut être utilisée en classe de Technologie dès le niveau de 5e.

## **Conclusion**

Au collège, comme au lycée, l'imprimante 3D permet donc de réaliser avec les élèves des prototypes fonctionnels faits de pièces complexes. En permettant de concrétiser et de tester par l'expérimentation, les solutions techniques que les élèves ont imaginées (CAO), l'impression 3D permet de renouveler la pédagogie de projet tout en stimulant la créativité des élèves. Elle aide à mettre en place une pédagogie active par le biais d'un apprentissage mené sous la forme d'essais et d'erreurs.

Cependant dans les pratiques courantes d'utilisation, il reste encore quelques inconvénients. Les temps d'obtention d'une pièce peuvent être longs et cela nécessite généralement la poursuite de l'impression hors du temps de classe. De plus, le coût d'achat des consommables reste encore assez important. Le choix de l'utilisation d'une imprimante 3D dans la réalisation d'un projet avec les élèves doit donc être justifié par la réalisation de formes non réalisables par les procédés de fabrication traditionnels disponibles dans les établissements scolaires.

Pour finir, il est bon de préciser que lorsque qu'un collège n'est pas équipé d'une imprimante 3D, la mutualisation des procédés de prototypages rapides avec un lycée de secteur ayant une section STI2D, est également un bon motif pour mener une liaison collège-lycée et permettre ainsi de la réalisation de pièces spécifiques tout en valorisant les enseignements technologiques possibles pour nos élèves en amont du brevet des collèges.

# PRÉPARER LES ÉLÈVES À ACQUÉRIR DES CHAINES DE COMPÉTENCES NUMÉRIQUES<sup>2</sup>

La question du passage d'une modélisation à la fabrication d'une pièce en 3 dimensions implique l'usage d'une chaîne logicielle. En quelques dizaines d'années, grâce aux progrès de l'informatique, les méthodes de conception et fabrication ont fortement évolué.

Auparavant, l'ensemble des données d'un projet de fabrication étaient sur support « papier » et la fabrication était effectuée sur des machines traditionnelles (tour, fraiseuse) nécessitant la présence permanente d'un opérateur. En effet, durant de nombreuses années, l'utilisation d'une commande numérique (FAO) en classe, passait inévitablement par l'apprentissage du code Iso, pour piloter une machine-outil à commande numérique (MOCN), il fallait décrire point par point, la trajectoire du nez de la broche de la machine à l'aide d'un code Iso. Ce code perforé sur une bande de papier, était lu, pas à pas, par le directeur de commande numérique (DCN). Heureusement, rapidement une assistance informatique a été onstallée : a noter que les trajectoires seront décrites mathématiquement à l'aide d'un langage descriptif.

A l'heure actuelle, l'ensemble des données sont numériques. Les logiciels et l'informatique assurent toutes les étapes : de la conception, en passant par la simulation puis la fabrication en permettant de piloter des machines à commandes numériques ou des imprimantes 3D.

Dans une démarche de projet « technologique », la première étape rencontrée par les élèves est la conception assistée par ordinateur (CAO). Initialement, un projet commence à la saisie du besoin qui débouche sur la rédaction d'un cahier des charges fonctionnel. Le dessin, le produit va donc être une réponse à ce cahier des charges fonctionnel. Les fonctions de services vont trouver, au fur et à mesure de la conception, leur réalisation à travers des fonctions techniques elles-mêmes, étant le résultat d'assemblages et de formes. Afin de ne pas briser la chaîne numérique, l'élève utilisant un modéleur 3D devra donc faire passer son intention de conception au travers de ses constructions de formes ou d'assemblages.

Durant un projet, la seconde étape abordée par les élèves est bien-sûr la fabrication assistée par ordinateur (FAO). Le principe de base de la fabrication assistée par ordinateur est de pouvoir reprendre la géométrie de la pièce afin de pouvoir générer le code qui pilote la machine à commande numérique. Des outils logiciels ont fait évoluer le dessin technique en permettant des représentations en 3D alors qu'auparavant, des représentations en 2 dimensions étaient utilisées.

## D'un fichier .STL au code machine...

Dans l'usage spécifique de FAO pour l'impression 3D, ces logiciels vont évidemment permettre de générer un fichier \*.STL de la pièce qui pourra ensuite être converti en \*.gcode pour être imprimé. Une fois la pièce dessinée avec un logiciel de modélisation, il faudra enregistrer sous un format un peu spécial (\*.STL). Le fichier \*.STL est une description de l'objet non-spécifique. Il faut donc générer un autre fichier prenant en compte les caractéristiques diverses de la machine (température, extrudeur, dimensions géométriques, vitesses de déplacement). C'est le rôle du logiciel de Slicing. Le format du fichier enregistré est du type \*gcode (langage de machine à commande numérique CNC). Une fois le fichier \*gcode généré, l'idée est d'utiliser un logiciel de contrôle de l'imprimante capable d'envoyer les ordres au fur et à mesure à une interface programmable qui servira de décodeur de G-code (Certains logiciels de pilotage d'impression 3D génèrent automatiquement le Gcode à partir du Slicing (exemple : logiciel e up)).

Afin d'assurer une interopérabilité logicielle et ainsi de visualiser et fabriquer une pièce quelle que soit le modèle de machine à commande numérique utilisé, il a été nécessaire de définir des standards (formats STL, STEP).

L'impression 3D, solution de prototypage rapide, permet aux élèves d'appréhender l'ensemble de la chaîne numérique.

2. [La chaîne numérique : Zoom sur la FAO](#) - Revue technologie n°142

## Pour aller plus loin

### Scan 3D

Pour obtenir un modèle 3D à partir d'un objet existant, il est possible d'utiliser un Scanner 3D et ainsi s'affranchir d'une grande partie de la phase de dessin.

De nombreuses technologies existent, les plus courantes utilisent le principe suivant : Un rayonnement (lumière, laser...) est émis sur un objet à numériser pendant qu'une caméra analyse la déformation de la projection afin d'en déduire les dimensions de l'objet.

Il est possible, à l'aide de ces différentes solutions de mesurer des objets allant de quelques millimètres jusqu'à plusieurs mètres voire centaines de mètres (pour des bâtiments)

Des solutions de numérisation 3D par contact existent également. Cette technologie est très précise mais demande un temps bien plus important pour numériser un objet.

### Evolution format STL vers STL 2.0

Avec le développement de l'impression 3D, de nouvelles perspectives de conception et fabrication sont apparues, notamment l'utilisation de différents matériaux pour fabriquer une même pièce. Une proposition d'évolution du format STL vers un format STL 2.0 est à l'étude. Ce nouveau format open-source vise à permettre notamment la réalisation de pièces multi-matériaux.

## RENFORCER UNE DÉMARCHE DESIGN ET CRÉATIVE CHEZ LES ÉLÈVES

Lors d'un cours de technologie, un groupe d'élèves conçoit un objet technique qui doit fixer une caméra sur un robot explorateur. Lors de sa modélisation, ils veulent vérifier leur idée. Le collège a investi dans une imprimante 3D. Le cours suivant, le professeur montre la pièce et les élèves peuvent la vérifier et si besoin la corriger.

Quelles sont les plus-values de l'impression 3D ? Pourquoi et en quoi l'impression 3D facilite l'apprentissage des élèves ?

L'impression 3D permet le prototypage rapide d'un objet technique. Par rapport à d'autres solutions de mise en forme ou d'usinage, elle permet de réaliser tous types de formes en un seul procédé. L'élève peut lancer son impression pendant le cours et n'a pas besoin d'y revenir pour changer de procédé. L'impression 3D n'implique pas l'élève dans une démarche de réflexion sur la faisabilité ou sur une réflexion de procédés industriels. Elle permet dans un premier temps de vérifier les dimensions et la forme de l'objet technique. L'élève peut alors se concentrer sur la faisabilité de sa solution avant de se poser la question de la viabilité ou de son coût dans un monde industriel.

L'apprentissage de la modélisation 3D est facilité par les nombreuses possibilités de formes que peut réaliser l'imprimante 3D. Les élèves peuvent imprimer une pièce erronée ou avec des formes impossibles à réaliser avec d'autres outils. Le professeur peut s'appuyer sur la pièce imprimée pour interroger la provenance de l'erreur. Ainsi, la pièce permet une mise en situation réelle où l'élève peut comprendre concrètement la modification à apporter.

Dans un monde où la culture du DIY ( Do it yourself, en français faites-le vous-même) se développe, l'impression 3D peut être centrale pour développer cette compétence chez les élèves. Dans son livre, « L'élément » Ken Robinson affirme que nous aurions tous un potentiel de créativité à développer au même titre que la lecture et l'écriture. Ses capacités de réalisation d'objets techniques et sa rapidité lors de sa mise en œuvre pourraient permettre à l'élève de prendre des initiatives, de développer son autonomie, de collaborer avec d'autres élèves.

Cet outil pourrait-il être un levier dans la mise en place de nouvelles pratiques pour la validation des apprentissages du socle commun de connaissances, de compétences et de culture que doivent acquérir nos élèves ?

## SUSCITER LES PRATIQUES COLLABORATIVES ENTRE ÉLÈVES

Alors que la plupart des études montrent que l'utilisation de ressources numériques favorise les échanges de ses utilisateurs, il semble utile de se demander si l'introduction de l'impression 3D dans les pratiques pédagogiques peut être source de collaboration entre élèves. Ainsi, s'il apparaît que les professionnels au sein d'un établissement ont tendance à se regrouper pour travailler à plusieurs autour de l'imprimante 3D, nous pouvons nous poser la question de ce qui se passe au niveau des élèves ?

### Une forme de conception qui motive tout le monde

La possibilité de créer un objet en trois dimensions, presque en fonction de ses envies, est un sentiment grisant. La fabrication additive demeure une technique de pointe dont tous les débouchés ne sont pas encore explorés. Aussi, pouvoir disposer d'une technique novatrice est particulièrement motivant pour les élèves. Enfin, savoir que des objets peuvent être fabriqués pour chacun et pour le groupe, laisse à chaque élève la possibilité de conserver le fruit de son travail. Il peut ainsi le montrer avec fierté à ses proches. L'impression 3D est donc une technique accueillie avec intérêt et curiosité par la majorité des élèves.

### Interagir, coopérer ou collaborer ?

Tandis que l'interaction correspond à une relation entre deux ou plusieurs individus, la coopération et la collaboration font agir les personnes concernées dans la même direction. Afin de ne pas réduire le champ de nos propos, nous proposons de considérer ici la pratique collaborative comme une activité dans laquelle plusieurs élèves agissent et construisent ensemble.

Alors qu'une pratique coopérative, organisée et pilotée par l'enseignant, répondrait plutôt à des objectifs précis, avec des tâches et des rôles déterminés à l'avance, la collaboration impliquerait une forme de découverte partagée et des modalités plus libres, avec un but de mutualisation des compétences et des connaissances, au service d'une réalisation commune. Selon l'âge et l'autonomie des élèves, la pratique sera plutôt collaborative ou plutôt coopérative.

### Dans un but identifié

Lorsque les élèves prévoient d'utiliser l'imprimante 3D, ils sont confrontés à trois grandes questions : quel but, à qui est destiné leur production et comment faire fonctionner cette machine ?

Pour y répondre, ils vont être amenés à travailler ensemble et à collaborer. En effet, le contexte scolaire est contraint (par ses horaires, ses espaces, ses personnes et ses objectifs d'apprentissage) et l'impression 3D a elle-aussi ses contraintes (durée de fabrication, précision des étapes, choix des matériaux,...). Parfois, le destinataire de la production est clairement identifié, parfois c'est aux élèves de le désigner. De plus, souvent, une seule machine est disponible et le nombre d'élèves important ; chacun a le souhait de participer à la fabrication mais chaque étape ne peut être reproduite systématiquement par tous. Ainsi, à moins de disposer d'un mode d'emploi déjà rédigé et de consignes détaillées quant aux pièces à imprimer, et même si l'enseignant est à l'origine et garant des choix pédagogiques, l'utilisation de l'imprimante 3D en classe va favoriser de multiples pratiques collaboratives entre les élèves.

La démarche de projet, dans laquelle l'imprimante 3D va souvent s'inscrire, s'appuie sur des prises de décisions collectives. Ainsi, le groupe sera amené à faire des choix, mais aussi à mobiliser les ressources de chacun. Comme cela a été relevé par ailleurs, l'impression 3D est une technique utilisée depuis plusieurs années par les professeurs de technologie des collèges. Étudiée, construite ou simplement utilisée pour réaliser des prototypes, elle a sa place majoritairement dans des projets, qui mobilisent automatiquement coopération et collaboration. Comme pour une grande majorité des matériels numériques, l'imprimante 3D est un atout pour les apprentissages des élèves lorsqu'elle vient en réponse à des objectifs ou des besoins repérés, qu'elle complète des ressources existantes et qu'elle permet d'atteindre le résultat espéré. Ainsi, la perspective de concrétiser un projet amène les élèves à collaborer afin d'apprendre à se servir de la machine.

## Une technique que tous doivent s'approprier

Lorsque la question de l'utilisation de l'imprimante se pose, et que l'enseignant place ses élèves dans une démarche d'investigation, ceux-ci sont obligés de se questionner, de chercher et d'écouter les idées des autres. La perspective de se servir de l'imprimante et de créer la pièce qu'ils ont choisie, ainsi que celle d'acquérir une compétence enviée, favorise l'entre-aide entre les élèves. Disposer d'une unique machine force à la collaboration : l'attraction exercée et l'intérêt généré sont suffisants pour que tous les élèves désirent s'en servir et soient amenés à coopérer entre eux.

Par ailleurs, l'installation dans un espace scolaire d'une imprimante 3D nécessite de réfléchir à la sécurité de tous. Il s'agit de mettre en place des règles de sécurité qui ne peuvent fonctionner qu'à condition que tous les respectent.

## Utiliser une l'impression 3D implique plusieurs types d'actions

Si nous nous penchons plus précisément sur les différentes étapes de l'impression 3D, nous pouvons distinguer trois formes d'activités : des actions concrètes, « manipulatoires », des temps de recherche et de conception et des moments de prise de décision.

Les premières concernent la technique pure et les différentes étapes de la fabrication. Ce sont des actions relatives à la préparation de la machine (mise en place du filament, vérification de la bonne position du plateau,...), la supervision de l'impression (vérifier que les réglages sont ajustés aux attendus), récupération de la pièce (en la dégageant de son socle ou de ses supports) et nettoyage du plateau et des outils. S'ajoutent les tâches informatiques, telles que télécharger le fichier de la pièce, procéder aux réglages de l'impression (position de la pièce sur le plateau, taille de la pièce, densité de l'impression,...) et enfin lancer l'impression (mettre la carte mémoire SD dans la machine par exemple). Ces activités manuelles et numériques sont à effectuer par un ou plusieurs élèves, ce qui implique un partage des tâches et donc que les élèves se mettent d'accord. Parfois, l'enseignant décide des rôles, en particulier lorsque le groupe d'élèves est très hétérogène et que les compétences des élèves sont particulièrement variés. Ainsi, le filament sera placé par un élève avec une bonne motricité fine, les réglages d'impression par un autre familiarisé avec le logiciel, la surveillance de l'imprimante par plusieurs élèves qui se relaieront... Chaque élève dispose de qualités différentes et de compétences variées, a des faiblesses et se trouve confronté à des difficultés diverses. Se mettre d'accord, que ce soit avec les conseils de l'enseignant ou dans le cadre d'une décision collective, sur le rôle des uns et des autres est alors une façon de valoriser les individualités, d'encourager les initiatives tout en optimisant la production.

Lors des phases de recherche, des collaborations sont nécessaires. Quand il s'agit de chercher le modèle de l'objet à créer dans des bases de données importantes, il est souvent nécessaire de se répartir la tâche, en particulier pour optimiser le temps.

Si la pièce est conçue à l'aide d'un logiciel de DAO (dessin assisté par ordinateur), la phase de conception nécessite échanges, discussions et réflexions pour obtenir le résultat optimum.

Enfin, de nombreuses occasions de choix se présentent, que ce soit avant la fabrication (la répartition des tâches, le choix du modèle retenu ou de la forme de la pièce), au cours de l'impression (la résolution des problèmes) ou lorsque la pièce est finie (l'analyse du produit fini).

## Un outil qui développe des compétences sociales

S'approprier et faire fonctionner une imprimante 3D va développer chez les élèves de l'autonomie (lorsque chacun a un rôle), mais aussi des compétences langagières (d'argumentation par exemple pour défendre son choix) et des qualités d'écoute et d'attention. En effet, bien que l'impression 3D soit relativement accessible, elle mobilise aisément plusieurs élèves.

## Pour conclure

L'impression 3D peut permettre de développer des pratiques collaboratives entre élèves. La façon dont l'enseignant introduit et utilise l'imprimante 3D dans la classe aura des répercussions sur les relations des élèves. L'hétérogénéité des groupes favorise la coopération, mettant en avant les ressources de chacun, mais débouchant aussi sur un enrichissement mutuel, sous réserve que chaque élève intervienne, à sa mesure, dans la réalisation de l'objet.

# FAVORISER LES INTERACTIONS ENTRE ENSEIGNANTS UTILISATEURS AVEC L'IMPRIMANTE 3D

L'impression 3D est une technologie innovante et attractive. Elle offre de multiples possibilités qui peuvent s'inscrire dans plusieurs domaines d'enseignement. Comme nous pouvons supposer que le nombre d'enseignants qui s'y intéressent va augmenter, il nous semble essentiel de réfléchir aux modalités les plus efficaces pour permettre la mutualisation et les échanges de tous les enseignants autour de son utilisation.

## Qu'est-ce qu'une interaction ?

Il nous paraît utile ici de définir ce que nous entendons par interaction. Il s'agit de l'action que deux personnes (a minima) ont l'une avec l'autre, des répercussions (qui ne sont pas forcément similaires) que leur rencontre génère. C'est donc l'action réciproque d'au moins deux personnes l'une sur l'autre. L'interaction apparaît lorsque celles-ci se focalisent sur un objet commun et qu'une décision ou un objectif qui intéresse les deux parties est en jeu. L'échange, quelle que soit la forme qu'il prend, a pour conséquence de faire évoluer, même de façon très modeste, les individus qui interagissent. Souvent, la modification concerne les idées (le point de vue, l'avis, la décision prise) ou les affects (les émotions, les sentiments), mais cela peut aussi concerner les actes ou l'état physique des personnes. Cette répercussion sur l'autre implique en principe la présence des individus dans un même lieu, mais le développement des réseaux de communication dématérialisés montre que l'interaction existe aussi lorsque les individus correspondent à distance selon diverses modalités (courriel, webcam, tchat,...).

Dans le cadre des apprentissages, de nombreux auteurs ont mis en avant l'importance et l'intérêt des interactions entre élèves, montrant que les savoirs se construisent dans un espace social et dans le cadre, en particulier, des interactions que les élèves ont avec leurs pairs<sup>3</sup>. De la même façon, on peut noter que les interactions entre enseignants sont source d'enrichissement de leurs savoirs professionnels, ce qui a bien souvent des conséquences positives sur les apprentissages des élèves.

3. « Interactions entre pairs en Clis 4 : de l'importance de leur prise en compte » (<http://inshea.fr/sites/default/files/fichierhandisciences/Interactions%20Pairs%20%20MHHeitz%20PREnaud.pdf>)

## Quels enseignants utilisent l'impression 3D ?

Même si l'impression 3D est aujourd'hui encore peu présente en France dans les différentes structures d'enseignement, nous pouvons cependant considérer que des professeurs, enseignants auprès d'élèves d'âges très variés, peuvent l'utiliser. Ainsi, des professeurs des écoles, qu'ils soient spécialisés<sup>4</sup> ou non, peuvent faire le choix au sein de l'équipe pédagogique de leur établissement, de faire l'acquisition et d'utiliser dans leur classe une imprimante 3D. Dans le second degré, nous avons vu que les professeurs de technologie se servent couramment de cette machine et l'intègrent de plus en plus à leur enseignement. Mais, d'autres champs disciplinaires peuvent être intéressés par les possibilités qu'offrent cette technologie : les Sciences de la Vie et de la Terre, la Physique, la Chimie ou la Géographie (par exemple pour les possibilités de modélisation d'éléments étudiés dans les programmes et inaccessibles aux élèves à l'œil nu, compte tenu de leur taille), mais aussi les Arts Visuels (pour des créations en trois dimensions en particulier). Ainsi, de nombreux enseignants peuvent profiter/utiliser/se servir de l'impression 3D dans le cadre de leurs enseignements et pour échanger avec leurs collègues sur le sujet. Des interactions peuvent se mettre en place entre des professeurs qui ont la charge d'élèves de mêmes âges. De même, des enseignants de champs disciplinaires similaires ou différents peuvent être amenés à échanger, voire à collaborer autour de cet outil. Enfin, lorsque des élèves en situation de handicap sont inclus dans leur classe, les enseignants peuvent trouver un grand intérêt de se rapprocher d'enseignants disposant d'une imprimante 3D pour la construction d'un objet adapté à l'élève par exemple.

## Les cadres dans lesquels les interactions peuvent se mettre en place

Les formes d'interactions entre les professeurs sont variées. Elles peuvent avoir lieu dans un espace physique commun lorsque les enseignants professent dans le même établissement ou qu'ils se retrouvent dans un même lieu pour se servir de l'impression 3D (un FabLab par exemple). Elles peuvent aussi se développer à distance, dans le cadre d'échanges oraux, écrits, vidéos. Certaines peuvent être mixtes (dans un espace commun et à distance).

Les modalités les plus favorables aux interactions semblent être les projets dans lesquels les enseignants inscrivent les apprentissages de leurs élèves. Que ce soit le projet d'un groupe, d'une classe, d'un établissement, d'une commune, il génère des interactions entre ses différents acteurs. Le projet engage en effet souvent différents adultes qui peuvent être des enseignants.

L'inscription à un concours régional ou national, l'engagement dans des défis technologiques, la participation à des projets innovants nécessitent souvent que plusieurs enseignants se mobilisent et regroupent leurs élèves. D'autre part, la nécessité de répondre aux besoins éducatifs particuliers des élèves en situation de handicap est génératrice d'interactions entre les enseignants, en particulier lorsque l'impression 3D est une voie d'accessibilité<sup>5</sup>. L'enseignement intégré des sciences et de la technologie rassemble les professeurs d'enseignements scientifiques et technologiques des collèges ; dans ce cadre, l'impression 3D peut aussi favoriser les interactions des professeurs. Enfin, les enseignements pratiques interdisciplinaires<sup>6</sup> (EPI) au collège, qui proposent de faire travailler ensemble plusieurs professeurs autour de thématiques communes, peuvent devenir un espace dans lequel l'impression 3D sera étudiée ou utilisée, nouveau support d'interactions entre les enseignants.

## Des interactions pourquoi faire ?

De nombreuses raisons peuvent motiver les échanges entre les enseignants qui utilisent une imprimante 3D et être source d'interactions. Qu'il s'agisse de se renseigner, de se former, de mutualiser les résultats de ses propres expériences pédagogiques, de partager ses astuces ou ses déconvenues, de mettre en œuvre un projet commun, de comparer ses résultats ou ses découvertes, de passer commande d'une pièce, l'I3D rassemble les enseignants autour d'un intérêt partagé. Du professeur qui souhaite se renseigner sur les possibilités de

4. Titulaires d'un certificat de spécialisation (CAPPEI), <http://eduscol.education.fr/cid46953/devenir-enseignant-specialise-du-premier-degre.html>

5. voir l'article sur l'intérêt de l'I3D pour les élèves en situation de handicap

6. <http://www.education.gouv.fr/cid100518/les-enseignements-pratiques-interdisciplinaires-epi.html>

cette technique et mobilise les connaissances et l'expérience d'un collègue, des enseignants qui « se forment en faisant » et participent à des projets avec d'autres professeurs plus expérimentés, à ceux qui comparent les avantages et inconvénients de tel ou tel logiciel de DAO, chacun est amené à interagir avec ses confrères. Les enseignants peuvent aussi collaborer en ligne afin de concevoir une pièce destinée à être imprimée en 3D.

## Un levier possible : le nombre de machines

Comme cela a été observé dans d'autres cadres, le fait de devoir partager un objet innovant, attirant et motivant conduit à des interactions entre toutes les personnes qui désirent s'en servir. Ainsi, l'existence d'une unique imprimante 3D dans une école ou un établissement oblige les équipes à travailler ensemble et à interagir. Par ailleurs, l'existence d'un parc de machines peut aussi avoir son intérêt : expérimentations, tests, comparaisons de choix techniques, stimulations lors de concours ou de défis,...

## Pour conclure

L'impression 3D propose aux enseignants des alternatives intéressantes pour enrichir leur pratique pédagogique. À travers l'inscription des équipes dans des projets, des défis ou dans le cadre de la mise en œuvre des programmes proposés au collège en particulier, les enseignants sont amenés à interagir pour la maîtrise et l'utilisation optimum de cette technique. Au-delà des divers réseaux de communication entre les enseignants dans et hors des établissements, un espace national numérique de partage des pratiques serait un plus au service de l'utilisation raisonnée de l'impression 3D pour les apprentissages.

# FACILITER LES APPRENTISSAGES POUR LES ÉLÈVES EN SITUATION DE HANDICAP

L'imprimante 3D est un objet technique et numérique motivant qui mobilise les élèves d'âge élémentaire en situation de handicap, ainsi que les adultes qui accompagnent leur scolarisation. La création et l'accès à des représentations concrètes d'objets divers au sein de la classe sont sources d'apprentissages variés et offrent à ces élèves des clés de compréhension du monde. Répondant à de nombreux besoins éducatifs particuliers, l'impression 3D est ainsi une activité qui favorise les apprentissages des élèves de cycles 2 à 4.

## Développer des savoirs et des compétences technologiques et numériques

Un objet technique : L'intérêt d'une imprimante 3D dans une classe est d'abord lié à l'aspect technique de l'objet. Afin de l'utiliser, il doit être étudié, ses caractéristiques décrites, sa fonction explicitée, les actions nécessaires à son fonctionnement détaillées. C'est l'occasion de mettre en œuvre une démarche de projet en lien avec la fabrication d'un objet. Outre le fait que les élèves en situation de handicap manquent d'occasions d'utiliser eux-mêmes des « objets techniques » (surprotection de l'entourage, environnement sécurisé, des adultes pour faire à leur place,...), les compétences (observer, décrire, expliquer, nommer les étapes de fabrication, anticiper le résultat,...) et les connaissances techniques développées avec l'I3D s'appuient sur des activités qui débouchent sur un résultat concret et palpable qui leur donne du sens. En effet, la situation de handicap s'accompagne pour certains élèves d'un désintérêt et d'une absence de sens vis-à-vis des apprentissages scolaires. Par ailleurs, les élèves avec un retard de développement mental ont des difficultés à mettre du sens sur ce qu'ils voient. Décoder et comprendre le fonctionnement de la machine apporte alors de la compréhension et de la réassurance.

Un outil numérique : L'imprimante 3D fonctionnant en lien avec un ordinateur, son utilisation permet de développer des connaissances et compétences numériques, indispensables pour certains élèves, afin de compenser par exemple les conséquences de troubles de leur motricité fine ou de l'écriture. Réaliser une pièce par impression 3D suppose l'emploi d'un fichier numérique. Celui-ci peut être obtenu soit par téléchargement

dans l'une des bases de données disponibles sur internet, soit créé à l'aide d'un logiciel de conception d'image ou réalisé par la capture de la forme d'un objet équivalent à l'aide d'un scanner. L'enseignant peut ainsi différencier sa pratique pédagogique selon les compétences et les besoins des élèves, ainsi que selon les objectifs d'apprentissage visés.

## Accéder au sens par une représentation concrète

Faire « entrer le monde » dans la classe : L'impression 3D permet aux élèves de disposer en classe d'objets concrets représentant des éléments du monde réel. Pour tous les « objets » inaccessibles, compte-tenu du lieu où ils se trouvent, de leur taille ou de leur composition, l'imprimante 3D offre une représentation en volume, qui peut entrer dans l'espace scolaire. Ainsi, des élèves malvoyants ou aveugles (TFV [trouble de la fonction visuelle]) ont la possibilité de se représenter des volumes et des surfaces qu'ils ne peuvent voir (par ex. relief d'un volcan, la forme d'un immeuble), des élèves avec des troubles des fonctions motrices dont les appareillages empêchent d'approcher leur environnement accèdent à des reproductions de parties du monde réel, des élèves avec des troubles des fonctions cognitives mettent du sens sur les mots en les associant aux objets imprimés.

Agir sur le monde : Les élèves malades ou avec des troubles des fonctions motrices sont très souvent « objets de soin » : rééducations, opérations, traitements lourds leur sont prodigués pour améliorer leur état de santé. Agir à leur tour, à l'aide de l'imprimante, pour créer, transformer, déformer, puis disposer des objets, correspond à de réels besoins et leur redonne une place d'Élève. Comme cela a pu être mis en évidence en particulier dans le champ de l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation ([Vivre et partager la science](#)), manipuler aide les élèves en situation de handicap à s'approprier les caractéristiques des objets, à comprendre ce que les mots veulent dire et à acquérir des connaissances durables, que ce soit pour des élèves avec des troubles cognitifs ou des troubles des fonctions motrices. Pour ces derniers, l'accès à la manipulation virtuelle d'un objet puis le passage direct au réel que propose l'impression 3D, sans avoir besoin d'utiliser des outils, est essentiel.

Construire des liens entre ses perceptions : les élèves avec des troubles du spectre autistique perçoivent souvent leur environnement comme un puzzle incompréhensible ; pour eux aussi manipuler leur permet en particulier de s'approprier peu à peu des objets et de construire des liens entre leurs perceptions sensorielles.

Mettre du sens sur les activités scolaires : lorsque les objets réalisés avec l'imprimante sont en rapport avec des domaines travaillés en classe (par exemple en lecture, en représentant les personnages du texte), ils aident les apprentis lecteurs à mettre du sens sur les mots qu'ils lisent. Aussi, les produits issus de l'impression, conçus en classe, peuvent illustrer les notions scolaires, proposer des représentations attrayantes et permettre aux élèves de faire des liens entre leurs apprentissages, autant de garantie qui leur permette de construire des savoirs pérennes. Tous construisent alors des savoirs pérennes.

Créer et imaginer : pour des élèves qui ont souvent peu d'occasion de développer leur créativité et leur imagination dans des créations en volume, en particulier lorsque leur corps est un frein à l'action, pour qui l'espace est un domaine mal maîtrisé et sur-handicapant, disposer d'un outil qui va « faire à leur place », tout en permettant de disposer d'un prévisionnel, ouvre définitivement un large champ créatif.

## Répondre à des besoins éducatifs particuliers

Construire la notion de temps : utiliser une imprimante 3D conduit à travailler la notion de temps. Elle permet de mettre en évidence deux temporalités distinctes : le temps de conception de la pièce et le temps de sa fabrication. Les élèves avec des troubles cognitifs ont des difficultés à construire la notion de temps, ainsi qu'à anticiper. Grâce à la visualisation sur écran, puis à la réalisation de la pièce, ils parviennent à prévoir le résultat de leur action. La réalisation comprend deux moments distincts et prévisibles. Les élèves avec troubles de la sphère autistique ont, pour leur part, beaucoup de mal à supporter l'imprévu. Le déroulement structuré et anticipé, une fois connu, leur évite toute angoisse et leur permet de maintenir leur attention. Ainsi, l'anticipation, la prévision des actions et l'acceptation du délai de fabrication sont des compétences qui vont être mobilisées et développées grâce à cet outil.

**Construire des connaissances :** pour des élèves dont certains sens sont altérés ou inopérants comme les élèves malvoyants ou aveugles, l'accès à l'objet par le toucher apporte compréhension et connaissance. De même, pour des élèves sourds ou avec des troubles du langage, dont le lexique est peu développé ou difficile à construire, le toucher peut être un bon vecteur d'accès à l'objet ou à son fonctionnement (par ex. la réalisation d'un montage peut permettre de comprendre des principes mécaniques).

**Modifier son rapport avec le réel :** avec la réalisation de « reproductions » d'éléments du monde, les élèves qui vivent dans des environnements protégés accèdent à des représentations de l'extérieur, dans sa diversité, et modifient par une plus grande connaissance leur rapport au réel. Parfois, des jeunes avec des troubles du développement peuvent encore être dans une pensée magique.. Aussi reconnaître que les objets sont construits par l'homme peut les aider à dépasser leurs conceptions erronées.

**Structurer et planifier ses actions :** parmi les difficultés rencontrées par les élèves en situation de handicap, l'organisation des activités, la structuration et la planification des tâches, peuvent être des opérations mentales très compliquées à construire. L'activité nécessairement structurée, organisée et planifiée de l'impression d'un objet en 3D est une bonne entrée pour acquérir des stratégies cognitives qui pourront être transférées progressivement dans d'autres domaines d'apprentissage. Ainsi, une fiche chronologique de fabrication, l'organisation de l'espace contenant l'imprimante, un découpage précis des différentes actions à réaliser sont des exemples de supports d'acquisition des compétences ci-dessus mentionnées.

**Accéder à l'abstraction :** au travers d'allers-retours entre le concret et l'abstrait, les élèves construisent progressivement des liens entre l'objet physique et sa représentation numérique. L'abstraction étant très difficile à construire pour des élèves en situation de handicap cognitif, voir l'objet à l'écran se constituer peu à peu sous leurs yeux et pouvoir ensuite le toucher, le rapprocher de l'image virtuelle, comparer les deux sont des exemples d'étapes qui les aident dans cette construction.

**Comprendre une représentation en deux dimensions :** en mathématiques par exemple, les élèves sont confrontés à des représentations en deux dimensions des volumes. Ils doivent s'approprier un certain nombre de règles de tracé afin de décoder les tracés et se faire une image intériorisée de l'objet. Ce travail est particulièrement compliqué pour des élèves malvoyants ou aveugles, les documents aux traits en relief épurés n'étant pas toujours aisés à comprendre. Disposer de l'objet en 3D peut aider à la compréhension d'une représentation « académique » (vues de dessus, de dessous, en perspective...), mais aussi à la réaliser.

## Une technique qui mobilise

**Motivation et estime de soi :** la possibilité de fabriquer en classe des objets, sur mesure et en fonction de ses propres choix, est particulièrement motivant pour des élèves qui vivent une scolarité qui les confronte souvent à leurs difficultés. De plus, l'I3D est encore une machine rare dans le milieu scolaire et bien peu d'élèves ont la chance d'en disposer et de la maîtriser. Faire preuve de compétence dans l'utilisation de cet outil permet de modifier l'image négative d'eux-mêmes que les élèves en situation de handicap ont notamment. À noter que le regard des autres élèves peut être amené à changer devant leurs productions et leur nouvelle expertise.

**Une pratique qui génère des interactions :** les échanges et les interactions se trouvent favorisés par la présence de l'I3D. Nécessitant explications et questionnements sur ce qui se passe, les compétences langagières sont largement sollicitées et mobilisées. Au cours des diverses étapes de fabrication, les élèves construisent un lexique mais aussi raisonnent et partagent leur expérience et leurs choix. L'impression 3D peut donner lieu à une répartition des rôles et des tâches au sein d'un groupe d'élèves, prenant en compte ainsi les ressources et difficultés de chacun.

**Une technique qui enrichit la pédagogie :** inscrivant l'imprimante dans la vie de la classe, comme d'autres outils numériques tels que les tablettes ou le tableau blanc interactif, les enseignants voient leur pratique pédagogique enrichie et ont la possibilité de proposer à leurs élèves une réponse adaptée et un accès différencié à certains apprentissages.

**Une machine qui rassemble :** les possibilités de l'impression 3D sont multiples et l'imprimante peut répondre aux besoins des enseignants comme des rééducateurs qui accompagnent les élèves en situation de handicap dans leur parcours scolaire. Ainsi, les seconds peuvent « passer commande » à la classe (par exemple de

lettres en reliefs pour travailler en orthophonie, d'un manche ajusté à la main d'un élève). De même, un professeur de physique peut souhaiter disposer de molécules, un professeur d'éducation musicale demander la fabrication d'une pièce instrumentale non accessible aux élèves... Au sein d'une structure où différents professionnels se côtoient, l'imprimante 3D peut générer des projets interdisciplinaires, des collaborations et une réflexion partagée au service des apprentissages des élèves.

## Points de vigilance et remarques

L'utilisation d'une I3D dans une classe accueillant des élèves en situation de handicap nécessite une attention particulière à la sécurité. En effet, toutes sortes d'imprévus peuvent subvenir, comme des gestes maladroits, une sensibilité amoindrie conséquence d'une maladie, un manque d'anticipation, et les règles d'utilisation doivent être claires, comprises et appliquées. Cet aspect ne doit pas empêcher la présence de la machine en classe, l'école étant un lieu privilégié d'apprentissage d'une posture responsable face à des objets « dangereux ».

Pour que la machine soit source de construction de connaissances et de compétences, d'enrichissement et de plaisir, elle doit être maîtrisée par l'enseignant, ce qui peut lui demander du temps personnel et de l'entraînement. De plus, l'imprimante doit être disponible, sans risque pour les élèves, afin qu'ils puissent, quand cela est possible, être autonomes pour la faire fonctionner. L'emplacement doit aussi permettre l'impression, indépendamment des temps scolaires (compte tenu de durées d'impression parfois longues).

Les élèves avec une dyspraxie peuvent rencontrer des difficultés pour accéder aux représentations en 3D. Dès lors, on pourra mettre en place des activités spécifiques, un aménagement de l'écran de prévisualisation ou des temps de verbalisation.

Le niveau de finition des objets, destinés aux élèves malvoyants ou aveugles, doit être élevé, le toucher étant pour eux un accès aux objets physiques privilégié et particulièrement développé.

# UTILISER DES MAQUETTES EN IMPRESSION 3D POUR DES ÉLÈVES PRÉSENTANT DES TROUBLES DE LA FONCTION VISUELLE

## Enrichir l'information

Les fournisseurs de matériel pédagogique proposent peu de maquette pédagogique. De plus, ces maquettes ne sont jamais adaptées spécifiquement pour des élèves déficients visuels. L'impression 3D permet de créer une maquette adaptée aux besoins particuliers des élèves.

Habituellement les élèves déficients visuels explorent des dessins en relief thermogonflés sur des feuilles A4 avec des épaisseurs de relief de quelques millimètres seulement.

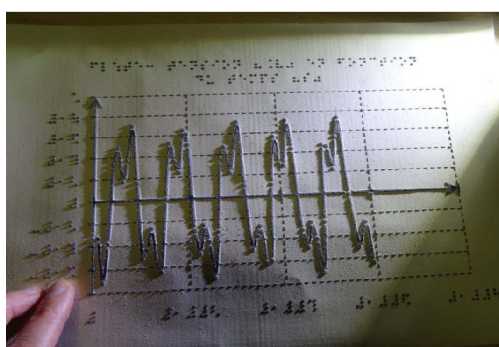


Figure 1 : dessin en relief thermogonflé

L'imprimante 3D permet de faire figurer des textures, des lignes, et surtout des épaisseurs proches de la réalité physique qui enrichissent la bibliothèque tactile de l'élève, renforçant son image mentale. En explorant tactilement une maquette imprimée en 3D, l'élève peut affiner ses observations en la tournant dans ses mains.



Figure 2 : maquette 3D d'un globule rouge sain et d'un globule rouge présentant des malformations dues à la drépanocytose

La maquette 3D ci-dessus permet à un élève déficient visuel de se forger une représentation mentale de globules sans utiliser un microscope optique.

## Aide à la représentation mentale d'objets volumineux.

Habituellement, lors d'une visite d'un monument historique, les dessins en relief sont difficilement exploitables et les maquettes en relief du site lourdes et fixes. La maquette imprimée en 3D est facilement transportable et permet à l'élève de se situer dans les lieux au fur et à mesure de la visite. C'est un exercice de représentation mentale et spatiale in vivo.

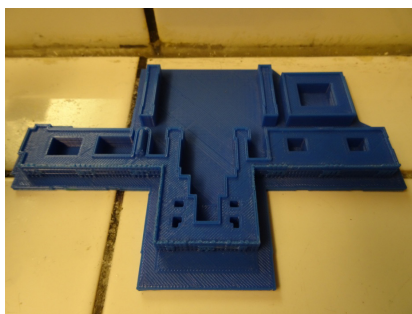


Figure 3 : maquette du château de Versailles

L'impression 3D des planètes du système solaire (relief de surface, couleur, texture, etc.) aide l'élève à mieux appréhender l'infiniment grand (échelles, proportions, distances, etc.).

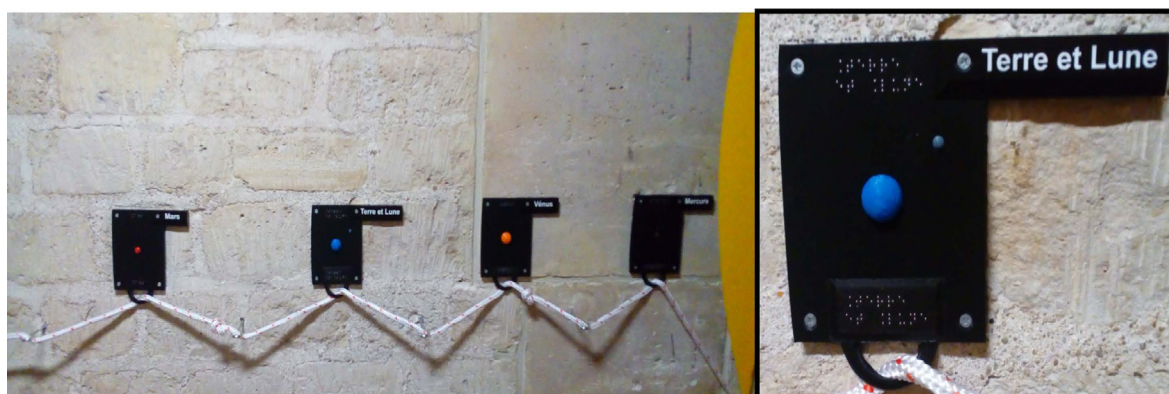


Figure 4 : maquette du système solaire



Figure 5 : maquette de l'astéroïde nommée «braille» d'une longueur d'environ 2 km

## Mise en relation d'éléments spatiaux et temporels

À l'aide des maquettes 3D, les élèves peuvent acquérir des connaissances en Histoire (par exemple les évolutions d'une ville au cours du temps : extension, agrandissement).



Figure 6 : maquette-puzzle de l'extension urbaine de Paris

L'impression 3D rend aussi possible la création de « niveaux d'informations » par superposition de plaques. Traditionnellement avec plusieurs représentations en deux dimensions et des cartes thermogonflées, les élèves doivent recomposer une information globalisée à partir de strates.

## Rendre accessible l'impalpable

L'objet 3D permet de rendre accessible tactilement un phénomène (surface libre d'un liquide, rayon de lumière) ou un instrument (intérieur d'une verrerie complexe). L'élève s'approprie concrètement la notion sans nécessiter une longue description orale. De même les élèves pourront ensuite communiquer de manière précise puisqu'ils maîtriseront le vocabulaire spécifique.



Figure 11 : prototype de flacon de parfum modelé par les élèves et flacon en impression 3D



Figure 7 : maquette 3D de la surface libre d'un liquide (séparation entre l'air et l'eau) dans un bécher

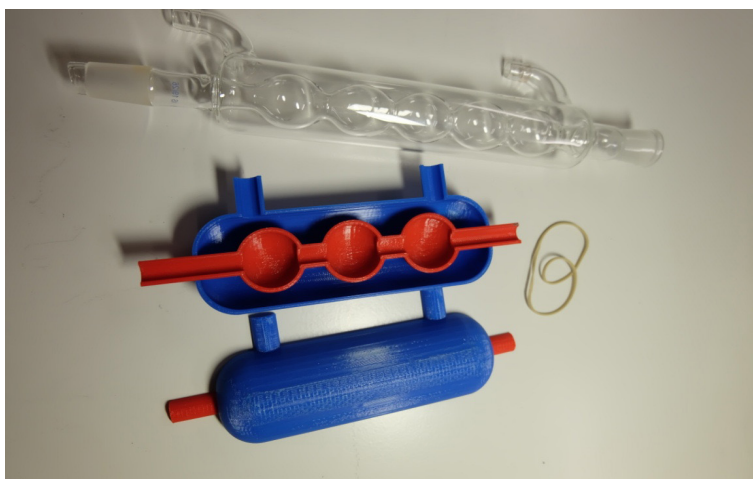


Figure 8 : maquette 3D d'un réfrigérant à boules et à circulation d'eau.

Cette verrerie est un tube en verre composé de deux parties dont l'une à l'intérieur ne peut se voir que par transparence. Or, les élèves non-voyants n'ont pas accès à cette observation qui est indispensable pour comprendre le principe de cet instrument. Une des principales difficultés rencontrées par les élèves est la mauvaise représentation du montage en verrerie « classique » car ils perçoivent la complexité de l'objet réel seulement à partir des dessins en relief des vues en coupe longitudinale du tube réfrigérant. Ils comprennent donc mal le fonctionnement de l'instrument et le mouvement de circulation de l'eau. Une autre difficulté provient du dessin en coupe sur lequel l'intérieur et l'extérieur sont sur le même plan. La perception d'un contenant à l'intérieur d'un autre est alors d'autant plus difficile pour certains élèves que la profondeur est absente.

Alors que l'étalement et le guidage du professeur ne peuvent suffire à décrire la réalité de l'objet, la maquette en trois dimensions facilite l'ouverture de l'objet et l'accès interne. C'est en manipulant que l'élève construit son savoir. La maquette est progressivement démontable, robuste et résistante à l'eau. L'impression en série à moindre coût de ce type de maquette, permet à un groupe classe de travailler en même temps sur une même notion. Enfin l'objet ou le phénomène peut être grossier et légèrement déformé pour le rendre discriminable tactilement.

## Aide à la schématisation

La schématisation d'un objet 3D sur un support 2D est difficile pour un élève déficient visuel. La création de support pédagogique adapté avec l'imprimante 3D aide les élèves à comprendre le principe de ce type de représentation. Ce type de maquette pédagogique n'existe pas. Seule l'impression 3D permet à l'élève de manipuler physiquement une vue en coupe d'une verrerie.

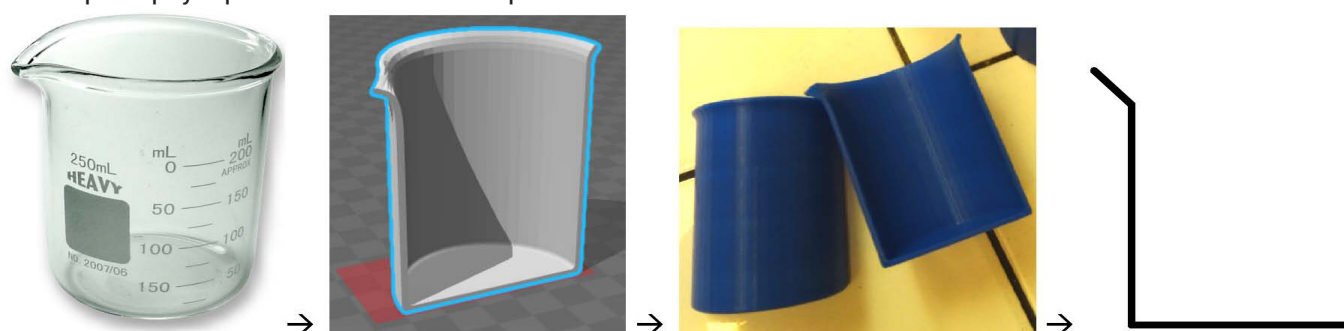


Figure 9 : bécher en verre, dessin assisté par ordinateur de la maquette,

L'élève peut utiliser la maquette pour réaliser des empreintes de la coupe sur de l'argile : il associe l'objet à sa représentation schématique.

## Renforcement de l'information

### Ajout de légendes

Dans une maquette, il y a peu d'information écrite et d'autant moins en braille. L'impression 3D autorise l'ajout de légendes en braille (sous forme de billes en acier incrustées) et/ou en écriture dactylographiée (agrandie, en contraste inversé, blanc sur noir) (voir figure 4).

### Intégration de fichiers multimédias

Un système de détecteurs tactiles associés par exemple à un boîtier Arduino rend possible la diffusion de pistes audio enrichissant un contenu et facilitant le travail en autonomie. Cela évite la surcharge d'information tactile sur les supports en relief.

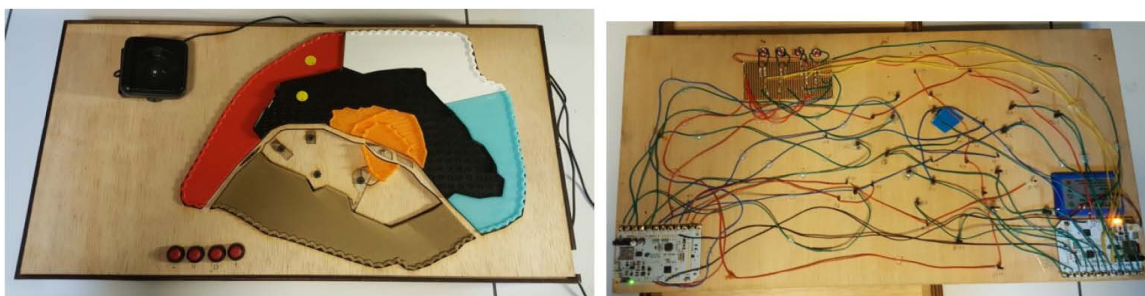


Figure 10 : maquette tactile avec légende audio (recto/verso)

### Les limites :

Le temps de création de ce type de maquette nécessite des connaissances techniques importantes. Les logiciels de dessin assisté par ordinateur ne sont pas accessibles aux déficients visuels. Ceux-ci ne peuvent pas être producteurs de la maquette, mais seulement rédacteurs du cahier des charges. Ils élaboreront un prototype à l'aide de pâte à modeler pour expliquer leur projet à un technicien qui le réalisera en CAO puis l'imprimera en 3D.

## Métacognition

Imprimer en 3D est pour les élèves la possibilité d'explorer tactilement un objet pour en construire une image mentale.

En manipulant il fait évoluer ses représentations pour acquérir des connaissances scientifiques.

Pour l'enseignant c'est l'occasion de comprendre comment les élèves apprennent.

## PARTICIPER À UNE DÉMARCHE ÉCOCITOYENNE

Les nouvelles possibilités offertes par l'impression 3D offrent aux citoyens la possibilité d'une action plus large et plus efficace en termes d'écocitoyenneté.

L'impression 3D étant une technologie additive c'est-à-dire par ajout de matière par opposition aux précédés classiques d'usinage par enlèvement de matière, elle permet une économie substantielle de matériaux. Au lieu d'enlever de la matière comme le ferait une machine-outil traditionnelle, la matière est placée aux endroits désirés. Même par rapport à des procédés de fonderie dont on peut considérer qu'ils sont aussi additifs, le gain est important. En terme d'impact environnemental, les pièces sont donc optimisées puisque peu consommatrices de matière. Il y aura donc moins de matière à produire, à transporter pour la mise en fabrication et peu de déchets produits. A noter que ces déchets peuvent, sous certaines conditions, être recyclés.

Cette technologie facilite également la reconstruction d'une partie détériorée d'un objet. Cela a donc un fort impact environnemental puisqu'on augmente la durabilité des objets. Certaines grandes entreprises de distribution proposent un catalogue de pièces à télécharger et à reproduire, ce qui réduit également les coûts. Celles-ci peuvent être fabriquées in situ évitant par là-même transport et emballage. La production sur demande évite enfin de produire plus que le juste nécessaire.

Grâce à l'impression 3D, les pièces obtenues sont généralement plus légères (ceci est dû notamment à la modélisation 3D) et la quantité de matière utilisée plus faible. A titre d'exemple, dans l'aviation, le poids de certaines pièces, produites par impression 3D, a été réduit de 70%. De plus, certains matériaux utilisés peuvent être produits à partir de ressources végétales, facilement biodégradables (maïs ou autres végétaux) et remplaçant les matières plastiques (acide polylactique ou PLA par exemple).

De façon indirecte, la diminution des stocks génère une économie de moyens considérables : il n'est plus nécessaire de fabriquer des pièces de rechanges stockées pendant des années puis finalement détruites. Les grands espaces de stockage énergétivores ne sont plus nécessaires et la gestion informatique s'en retrouve réduite.

D'un point de vue pédagogique, il pourrait être judicieux que les élèves s'interrogent sur la réalisation d'objets identiques réalisés de manières additive et soustractive. L'enseignant pourrait également amener les élèves à comprendre que l'impression 3D est certes efficace en terme écologique mais qu'elle ne peut être un mode universel de réalisation d'objets (notamment pour des raisons techniques, esthétiques et économiques).

## L'IMPRESSION 3D À L'ÉCOLE, QUELS POINTS DE VIGILANCE ?

L'impression 3D est devenue un équipement essentiel pour l'apprentissage des enseignements technologiques. De nombreux établissements ont investi dans cet outil dans un marché en constante évolution où de nombreux modèles sont présents.

Quels sont les points de vigilance à connaître ? Comment choisir une imprimante 3D selon les besoins et connaissances de l'outil ?

Le premier besoin à identifier est l'apport de l'imprimante 3D par rapport aux outils disponibles dans l'établissement. Selon les projets, d'autres machines sont plus adaptées et moins coûteuses en production, temps et matériaux. Le prototypage rapide ou la réalisation de pièces finies définit l'achat. Par exemple, on peut choisir la présence d'un plateau chauffant pour la réalisation de pièces en ABS plus résistantes que le PLA. Il est aussi préférable de prendre une imprimante fermée si on imprime des pièces avec un volume important ou avec une faible surface d'adhésion sur le plateau. Le besoin définit aussi la qualité de l'imprimante 3D. On peut favoriser l'achat d'une imprimante premier prix pour le cas du prototypage rapide. Mais pour avoir des pièces finies avec des contraintes mécaniques, d'assemblages ou de mouvements, il est préférable d'investir dans une gamme supérieure.

Le temps d'impression d'une pièce étant souvent long (plusieurs heures), les élèves ne peuvent pas suivre l'intégralité de la production. Le temps impose donc une certaine organisation en amont et un planning de fabrication. Étant encore une technologie émergente, certaines impressions peuvent connaître certains problèmes. Les raisons peuvent être nombreuses : mauvaise orientation de la pièce, vitesse d'impression trop rapide, problème de « warping » (décollement de la pièce), buse bouchée ou stoppée à cause d'une bobine emmêlée. Ces problèmes rallongent les temps de production. Il faut aussi prendre en compte des problèmes de qualité d'impressions, on doit souvent refaire 2 ou 3 fois la pièce pour obtenir un bon résultat.

Même si cet outil semble simple à utiliser, sa maintenance et le réglage des paramètres sont indispensables. Il est indispensable de savoir régler l'imprimante 3D avec la hauteur de buse et la planéité du plateau. Ces réglages évitent les problèmes de buse qui n'extrude plus ou de décollement de la pièce (warping). Ces réglages sont à reprendre toutes les semaines. Dans la même temporalité, il faut nettoyer la buse et le moteur d'extrusion surtout dans le cas de changement de matériaux qui n'utilisent pas les mêmes températures d'extrusion.

Selon l'imprimante 3D et surtout du logiciel associé, il faut régler plusieurs paramètres : les températures de chauffe, la vitesse d'extrusion selon la taille et la complexité des formes de la pièce.

Une récente étude analysant les émissions de particules fines et de composés organiques volatiles liées aux imprimantes 3D (<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.5b04983>) préconise d'éviter de mettre les imprimantes 3D dans des pièces mal ventilées. Si ce n'est pas le cas, il est préférable de vérifier la nocivité éventuelle des filaments de type PLA (acide polylactique) ou de type ABS (acrylonitrile butadiène styrène).

L'impression 3D est encore une technologie jeune mais les processus tendent à se stabiliser notamment grâce à la formation auprès des fournisseurs d'imprimante, de matériaux et des éditeurs de logiciels.