



Les insoupçonnables applications du Drop-jet photoréticulable, technologie industrielle parfaitement adaptée à l'industrie horlogère (de la décoration personnalisée à la réalisation artistique.)

Dr Khalid ZAHOUILY

Horlovia-Chemicals, La Chaux-de-Fonds, Suisse

Résumé

S'il est un domaine qui fait aujourd'hui l'objet de tous les développements et convoitises, c'est bien celui de la technique drop-jet DOD (Drop-On-Demand) photopolymérisable. La dépose d'un fluide (ou de fluides) à des volumes contrôlés sous la forme de gouttelettes sur un substrat est une opération courante dans le milieu industriel. De l'application d'un simple vernis à la réalisation d'un décor complexe, cette opération exige des installations spécifiques qui sont majoritairement « analogiques » : offset, flexographie, héliographie, sérigraphie, tampographie. L'apparition, à la fin des années 90, de la technologie du « jet d'encre » introduit une nouvelle manière de déposer un fluide, sans contact, via un pilotage numérique et avec une très grande précision, permettant de répondre à la forte demande de « personnalisation » de l'industrie du luxe.

Après une présentation des différentes techniques utilisées dans l'impression drop-jet, cet article passera en revue les enjeux et contraintes à maîtriser pour une application réussie au monde horloger. En effet, l'introduction du drop-jet dans le domaine industriel est récente et promise à un bel essor, tout particulièrement dans le domaine de la personnalisation et de la fonctionnalisation des surfaces.

Introduction

De nombreuses applications sont possibles grâce à l'impression digitale, au-delà de sa capacité de transfert d'image, dont la microdistribution et l'assemblage des matériaux. Elle a été utilisée pour fabriquer des dispositifs polymères électroluminescents, des dispositifs d'administration de médicaments à libération contrôlée et des microlentilles réfractives constituées de matériaux hybrides organiques-inorganiques.

Dans le domaine de la personnalisation et de la décoration, la technologie industrielle du Drop-jet UV consiste à projeter une goutte d'un fluide et/ou encre photopolymérisable de quelques picolitres avec une précision de 5 à 10 microns sur un support donné. Cette dépose digitale, parfaitement maîtrisée et ajustable à volonté selon l'exigence, permet de réaliser de manière industrielle des décors personnalisables à volonté. Ainsi, des surfaces personnalisables, intelligentes et sensorielles peuvent être réalisées pour :

- créer de l'émotion par des réalisations artistiques parfaitement adaptées,
- apporter une fonctionnalisation potentielle des surfaces,

- texturer par voie digitale des surfaces soft-touch,
- personnaliser et la créer des décors parfaitement adaptés aux attentes du client,
- réaliser une impression additive 3D.

Les différentes technologies du jet d'encre

Le jet d'encre est un procédé à écriture directe qui interprète les données d'impression pour générer de fines gouttelettes d'encre.

Il existe deux technologies majeures : le jet continu dévié (**CIJ** : Continuous Ink Jet) et la goutte à la demande (**DOD** : Drop On Demand).

Le procédé CIJ consiste en l'éjection d'un flux continu de gouttes (Figure 1). La taille de la buse, la pression et les vibrations appliquées au fluide contrôlent la fréquence et la taille des gouttelettes. À la sortie des buses, les gouttelettes sont chargées par une électrode. Dans un CIJ à flux multiple, les gouttes

indésirables tombent directement dans la gouttière de recyclage et les autres gouttes sont déviées avec différentes intensités de champ. Cette technologie permet d'augmenter la vitesse d'impression et limite les risques de bouchage (fonctionnement permanent des buses). Toutefois, les résolutions accessibles par ce type de technologie restent limitées.

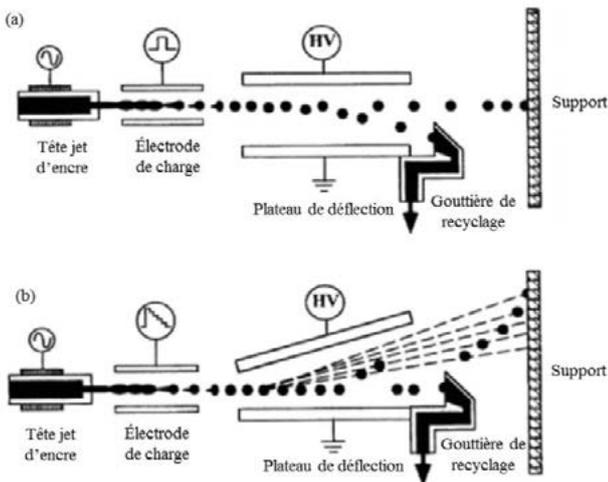


Figure 1 : Représentation schématique de la technologie de jet continu dévié à flux simple (a) et à flux multiple (b) [1].

Le procédé de goutte à la demande, quant à lui, comporte trois méthodes d'éjection: piézoélectrique, thermique, et valve-jet.

Jet d'encre DOD (Drop-on-demand) Goutte à la demande piézoélectrique

Ce procédé, actuellement le plus développé, est basé sur un phénomène de piézoélectricité inverse, au cours duquel un matériau piézo se déforme mécaniquement sous l'effet d'un champ électrique (Figure 2). Dans les têtes d'impression, les parois des buses, taillées dans la céramique piézoélectrique, se déforment sous l'effet d'un champ, ce qui crée une surpression dans le liquide et permet la formation d'une goutte au niveau de l'orifice de sortie.

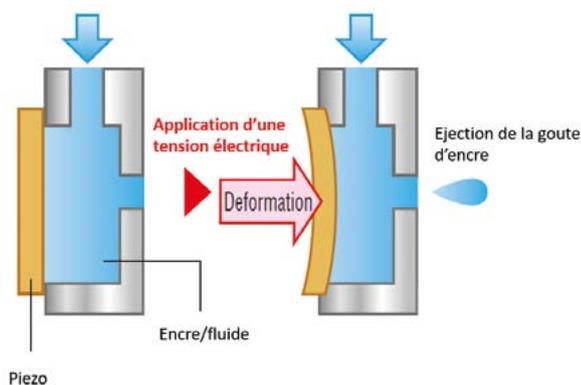


Figure 2 : Schéma de fonctionnement d'une tête d'impression à piézo.
Image: keyence.com.

Ce procédé utilise une approche purement mécanique pour l'éjection des gouttes, et impose peu de limitations sur les liquides pouvant être employés. Toutefois il exige des viscosités voisines de celles de l'eau (c'est-à-dire quelques centipoises - 5 à 20 cps).

Jet d'encre thermique

Dans l'impression **par jet d'encre thermique**, une résistance miniature est chauffée très rapidement par une impulsion de courant, à une vitesse d'échauffement de plus de 1 million de degrés Celsius par seconde (Figure 3). Le liquide situé au-dessus de la résistance est ainsi porté à une température d'environ 300°C en un instant. Le liquide forme une bulle. Cette dilatation expulse une gouttelette de liquide à travers l'orifice. Le réservoir se remplit de nouveau d'encre et le cycle peut recommencer.

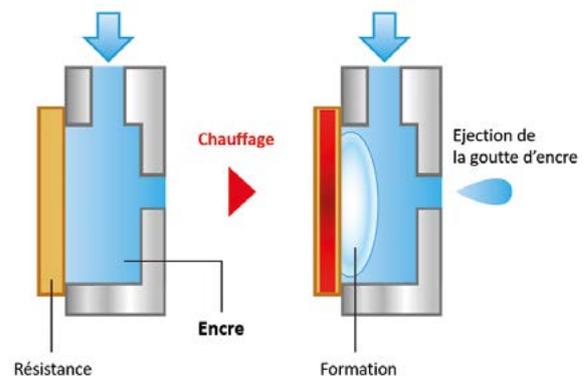


Figure 3 : Représentation du mécanisme d'éjection du procédé jet d'encre thermique.

Cette technologie à jet d'encre thermique est idéale pour les applications où la qualité d'impression (des résolutions de 600 dpi) et la simplicité d'utilisation sont essentielles. Elle a toutefois l'inconvénient de détériorer l'encre en raison de la chaleur appliquée.

Les valves à jet par piston

Dans cette méthode d'éjection de gouttes de fluides, un solénoïde est utilisé pour ouvrir et fermer la sortie de la buse, pour éjecter par pression les gouttes de fluides à projeter (Figure 4).

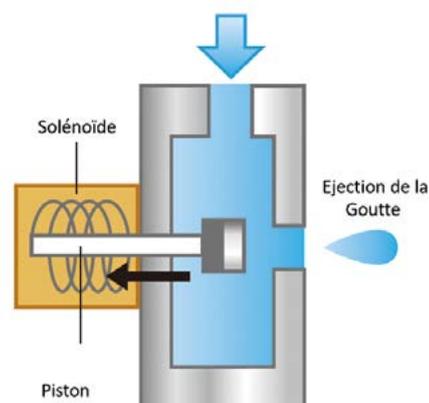


Figure 4 : Schéma d'une valve pour le jet de fluide.

Les valves commercialisées permettent d'éjecter des fluides à très hautes viscosités. Les fluides peuvent en effet être chargés jusqu'à 40'000 cps voire 100'000 cps. Toutefois la résolution de ces valves est limitée (150 ou 200 µm).

Les enjeux stratégiques et économiques de l'impression numérique et du digital dropjet manufacturing

Au-delà de l'impression digitale dans le domaine des « arts graphiques », l'usage des technologies d'impression numérique dans le milieu industriel donne accès à une gamme infinie de possibilités pour vernir, décorer, personnaliser, fonctionnaliser et construire des matériaux 3D par la dépose sélective de multi-matériaux. La limite est l'imagination ! L'évolution de cette technologie ouvre de nouvelles voies. L'usage ne se limite plus à la simple dépose d'encre sur un support, mais aussi à la dépose de « chimie fonctionnelle ».

Toutefois, le passage d'une solution analogique à une alternative digitale exige une adaptation impérative à diverses contraintes :

Encres /fluides

- Rhéologie < 20 Pas (Cp)
- taille des particules submicronique (< 200 nm)
- tension de surface optimisée
- maîtrise du volume et de la vitesse des gouttes éjectées
- adhésion sur le support
- tenue aux sollicitations (chimiques, environnementales et mécaniques)
- stabilité colloïdale d'au moins 6 mois
- aspect conforme (mat, brillant, couleur)

Il est bon de savoir qu'il existe des théories comme celles de Reis et Derby [2] pour vérifier l'imprimabilité digitale d'un fluide et/ou d'une encre par la technologie jet d'encre DOD.

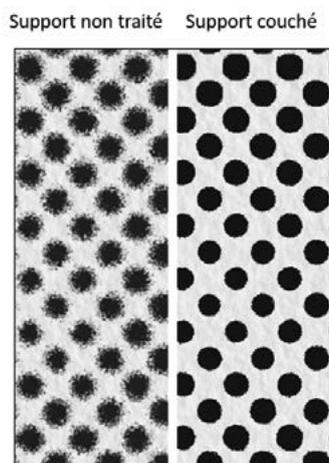


Figure 5: Comparaison de qualité d'impression entre un support non traité et un support couché.

Support

Il faudrait également envisager de rendre digitalisable le support et/ou la surface à imprimer, en optimisant la tension de surface par l'application si nécessaire d'un primaire et/ou via un traitement de surface type corona/plasma (Figure 5).

Le RIP «Raster Image Processor»

Un RIP «Raster Image Processor» est un logiciel spécifique permettant de piloter une imprimante, en remplacement du pilote d'origine du constructeur. Sa qualité influe grandement sur la trame d'impression (Figure 6).



Figure 6: Influence de la trame d'impression via le RIP.

Les têtes d'impression

La pièce maîtresse d'une imprimante est la tête d'impression. Savoir construire une tête d'impression est devenu une compétence stratégique dans l'approche d'un marché mondial «Digital printing».

Le Japon est le pays leader dans ce domaine. L'Europe est présente dans la course avec la société XAAR (Angleterre). La majorité des fabricants de têtes sont fabricants d'imprimantes. Seuls XAAR et Spectra restent des fabricants spécifiques de têtes.

Les sociétés spécialisées dans la fabrication d'imprimantes digitales sur-mesure selon cahier des charges sont très peu nombreuses. Les encres et/ou les fluides pour l'impression digitale sont des éléments stratégiques pour mener à bien une application dans le domaine industriel. Étant donné la complexité de la formulation de ces encres, seuls quelques laboratoires dans le monde sont capables de formuler des encres inkjet selon les spécifications et le cahier des charges.

Personnalisation et impression digitale

La personnalisation industrielle des produits est devenu le nouveau cheval de bataille de l'industrie du luxe et de la mode. Pas une marque qui n'ait son projet de « customisation », sans parler des nouveaux sites qui se multiplient sur le thème « confectionnez vos propres vêtements, sacs, chaussures, etc. ». La personnalisation permet non seulement de « créer du buzz » autour

de la marque, mais aussi de multiplier les contacts avec des consommateurs très demandeurs de produits uniques et personnalisables.

Aujourd'hui, la personnalisation joue un rôle majeur dans l'industrie du luxe. Elle représente une véritable valeur ajoutée pour les marques, car elle permet de répondre aux attentes de plus en plus individualisées des consommateurs, en particulier des jeunes générations.

La personnalisation renvoie au sur-mesure et au luxe, alors que la masse évoque le contraire, la série industrielle, l'uniformisation et le non-choix. Les nouvelles technologies d'impression digitale ont ouvert l'ère de la personnalisation pour tous, une sorte de «hacking» à grande échelle. On donne aux gens l'impression qu'ils ont accès au sur-mesure.

Photon & Polymers a mené avec succès plusieurs projets d'accompagnement de clients dans le domaine de l'«UV digital printing»; le succès de tous ces projets suppose la prise en compte de tous les éléments névralgiques :

- 1) Le choix des encres, qui doivent répondre aux besoins du cahier des charges :
 - très bonne adhésion sur les supports,
 - flexibilité (selon la norme Flexo-Bally), Résistance aux solvants,
 - résistance à l'abrasion.
- 2) Le choix de la technologie (DOD – Drop-On-Demand) adéquate.
- 3) Intégrer la philosophie digitale dans l'ensemble de l'entreprise.
- 4) Avoir les ressources humaines et l'expertise en impression digitale.
- 5) Intégrer la notion artistique dans la conception des produits personnalisés, selon une charte d'entreprise.

L'horlogerie à l'ère du design et de la personnalisation sur-mesure

L'impression de certains cadrans était jusque-là réservée au monde de la tampographie. C'est une technique «analogique», qui requiert une main d'œuvre qualifiée, un cliché pour chaque imprimé, qui est longue à mettre en œuvre et s'adapte difficilement à la demande de flux tendu des industriels. Pour réduire les coûts, il faut «tirer des séries», ce qui entraîne des difficultés à gérer certaines variables (n° de lot, décors, personnalisation, etc.).

Le numérique s'installe peu à peu dans le monde de l'industrie horlogère mais n'est pas encore capable de satisfaire toutes les demandes, par manque de machines adaptées, de chimie adéquate et d'ingénierie capable d'installer les outils d'impression digitale dans une ligne de production.

Ce secteur va sans aucun doute connaître un développement rapide. Le numérique permet un marquage «en temps réel», avec une liberté absolue en termes de «décor». Cette facilité

permet aussi de lancer des produits «personnalisés». L'industriel peut se positionner au plus près de la demande du consommateur, se démarquer par son design et générer une nouvelle valeur ajoutée.

Certains fabricants de montres utilisent l'impression digitale pour produire des cadrans par jet d'encre UV et décorer certains bracelets en polymères.

Pour l'industrie horlogère, l'impression numérique ou la dépose numérique de chimie est incontournable. Cette activité représente déjà un enjeu économique important et va prendre de plus en plus d'ampleur dans les années à venir.

Les entreprises horlogères qui s'engagent dans cette voie se positionnent sur un secteur de pointe, innovant et générateur de profits. Elles s'ouvrent vers de nouveaux marchés en Europe et à l'export.

Pour maîtriser tous les rouages de la technologie Drop-Jet, ces entreprises sont en quête de personnel performant et de partenaires industriels (mécanique, chimie, électronique).

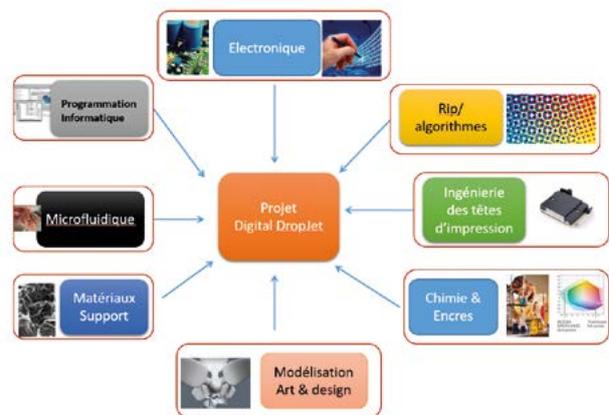


Figure 7 : Les conditions pour mieux maîtriser le drop-jet industrie.

La maîtrise de cette technologie exige une approche transversale, depuis la chimie, qui doit être adaptée aux besoins des horlogers, jusqu'à la programmation et le design, en passant par la science des matériaux, l'électronique et la mécanique.

Exemples d'applications industrielles de Drop-jet pour l'horlogerie

Cette technologie permet de réaliser des opérations délicates, totales et/ou partielles dans la fabrication, la décoration et/ou la fonctionnalisation de pièces horlogères, depuis l'aiguille jusqu'au cadran en passant par les masses oscillantes.

Dans le domaine des traitements de surface comme la galvanoplastie et/ou les PVD, les horlogers ont régulièrement besoin de

réaliser des épargnes sélectives, pour des opérations intermédiaires indispensables au besoin de la fabrication. La technologie Drop-jet pourrait répondre à ce besoin, à condition de disposer de chimie des fluides éjectables par DOD particulièrement adaptées et qui répondent aux besoins des process industriels pour résister au pH, acide/base et solvants ainsi qu'aux sollicitations mécaniques potentielles.

Enfin, la technologie de l'impression 3D par Drop-jet va devenir une technologie de plus en plus incontournable. Cette technologie de l'ère numérique peut intéresser des secteurs aussi variés que la santé (prothèses et implants sur mesures), l'aéronautique, la bijouterie, l'horlogerie ou encore l'industrie du jouet.

L'impression 3D par Dropjet est désormais considérée comme le Big Data (mégadonnées), l'automatisation des métiers du savoir, la robotique de pointe ou encore les matériaux avancés, comme « l'une des technologies liées au numérique susceptibles de transformer profondément les modes de production et les modèles économiques actuels ».

Dans le domaine de l'horlogerie, l'impression 3D par drop-jet UV peut permettre la fabrication d'objets 3D parfaitement adaptés aux besoins des horlogers mais aussi la création de surfaces sensorielles soft-touch, et le remplissage de gravures avec une

précision de 5 à 10µm. Elle peut aussi remplacer le fastidieux travail manuel de remplissage du SLN sur les index et aiguilles.

Aujourd'hui, on protège aussi sélectivement des pièces horlogères et/ou des boîtiers de montres par vernis pelable « Peel-Protect® » déposé par Drop-jet.

Références

- [1] P. LE HUE, «Progress and Trends in Ink-jet Printing Technology», *Journal of Imaging Science and Technology*, Volume 42, Number 1, 1998, pp. 49-62.
- [2] B. DERBY, «Inkjet printing of Functional and Structural Materials: Fluid Property Requirements, Feature Stability, and Resolution», *Annual Review of Materials Research*, Volume 40, 2010, pp. 395-414.
- [3] G.D. MARTIN, S.D. HOATH et I.M. HUTCHINGS, «Inkjet printing - the physics of manipulating liquid jets and drops», *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 105-012001, 2008.
- [4] J.-J. ELTGEN, «Technique d'impression d'images numérisées», *Techniques de l'Ingénieur* [en ligne], 1992, disponible à l'adresse <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-traitement-du-signal-et-ses-applications-tiatb/archive-1/techniques-d-impression-d-images-numerisees-e5670/>

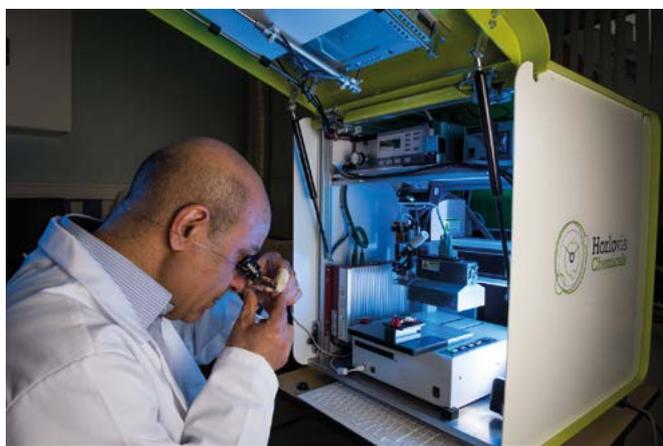


Figure 8: H-Cube première imprimante UV développée par Horlovia-Chemicals : dépose digitale et sélective du Peel-Protect®.



Figure 9: Dispositif d'impression digitale-laboratoire UV basé sur une tête Xaar-1001.

Exemples de Réalisations par Drop-jet Manufacturing

Figure 10: Impression 3D avec des reliefs de 0.8mm.

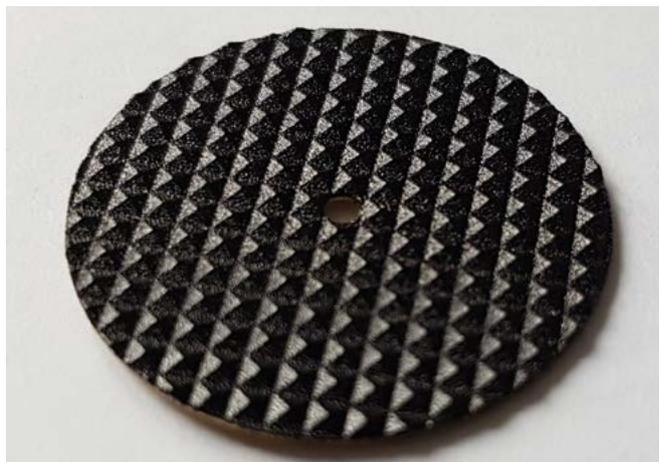


Figure 11: Impression 3D UV sur un cadran.



Figure 12: Impression inkjet UV de cadran d'entrée de gamme.

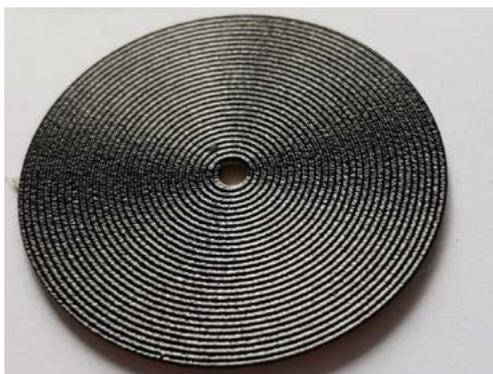


Figure 13: Structurations de cadrans par impression UV 3D.

