

PRÉPARATION MÉTALLOGRAPHIQUE

IMPRESSION 3D

INTRODUCTION

L'impression tridimensionnelle (3D), désigne l'ensemble des procédés permettant l'élaboration d'un produit par la superposition de couches de matière à partir d'un modèle numérique en 3 dimensions. L'appellation « impression 3D » est la plus employée dans le domaine dit « grand public », en revanche, c'est le terme « Fabrication Additive (FA) » qui est le plus utilisé par les professionnels autrement dit, dans les applications industrielles.

Ce procédé de fabrication se différencie grandement des techniques habituelles de production de pièces. La fabrication additive procède par ajout de matière tandis que l'usinage procède par enlèvement de matière. Par conséquent, aucun outil spécifique n'est nécessaire à l'impression 3D (outil de coupe ou moule par exemple).

L'impression 3D peut se classer selon trois différents procédés. Quel que soit ce procédé le principe reste toujours le même. Il consiste, dans un premier temps, à concevoir un modèle numérique 3D de la pièce puis de transmettre les instructions sous forme de langage machine (code G) à l'imprimante qui procèdera à l'élaboration de la pièce par addition de couches de matière.

Ces trois catégories de procédés sont :

LE DÉPÔT DE MATIÈRE

Fused Deposition Modeling (FDM) ou Fused Filament Fabrication (FFF), qui signifie « modelage par dépôt de filament en fusion » qui est une technique consistant à déposer couche par couche un matériau thermoplastique fondu. En se solidifiant, la matière donne forme à la pièce. A l'origine la matière utilisée était limitée aux matériaux plastiques mais les progrès permettent à l'impression 3D de voir arriver des filaments en matériaux composites à base de métal (cuivre et cuivreux), de fibres de carbone ou même de bois.

LA SOLIDIFICATION PAR LUMIÈRE

La Stéréolithographie Apparatus (SLA), qui consiste à solidifier un polymère liquide photosensible (pouvant être appelé « photopolymère ») à l'aide d'un faisceau laser ultraviolet. Les imprimantes SLA sont composées d'un réservoir de photopolymère liquide, d'une plateforme perforée, d'un émetteur de rayonnement ultraviolet et d'un ordinateur.

Au contact de la lumière ultraviolette, le polymère se durcit instantanément, La première couche est effectuée, la plateforme descend et la réalisation de la seconde couche peut débuter. Cette opération se répète jusqu'à ce que la pièce soit entière. La plateforme remonte alors à la surface laissant apparaître le produit. La pièce est ensuite rincée avec un solvant pour retirer l'excédent de résine et elle est cuite dans un four à ultraviolet pour terminer la polymérisation.

Le procédé Polyjet (par jet de matières), qui repose également sur le principe de la photopolymérisation. La matière photosensible est déposée goutte à goutte sur un support puis elle est exposée à un faisceau ultraviolet qui va durcir instantanément la résine. L'avantage que présente ce procédé est la capacité à imprimer des pièces multi matériaux et en couleur.

Le frittage laser sélectif ou Selective Laser Sintering (SLS), qui emploie aussi un faisceau laser mais cette fois-ci un faisceau laser très puissant capable de faire rapidement monter en température la matière. Le principe est donc de chauffer afin d'assembler les particules de poudre à des points très précis et ainsi les allier entre elles. Une nouvelle couche est alors déposée et à nouveau chauffer pour fusionner avec la précédente. Cette opération est répétée jusqu'à l'obtention de la pièce terminée. Le matériau le plus souvent rencontré est la polyamide (un nylon) mais de la poudre de verre ou des céramiques peuvent également être utilisées.

L'AGGLOMÉRATION DE POUDRE PAR COLLAGE

La Three Dimensional Printing (3DP), qui consiste à assembler à l'aide de fines gouttes de glu colorée, des particules de fines couches de composites étalées sur une plateforme. Cette plateforme s'abaisse au fur et à mesure de la réalisation des couches jusqu'à obtenir la pièce finale.

Les procédés cités ci-dessus sont des procédés adaptés et développés principalement à l'impression de pièces polymères. Néanmoins, la fabrication additive métallique monte en puissance depuis quelques années et fait l'objet de très nombreux développements technologiques. Ces avancées permettent toujours plus de méthodes de fabrication innovantes et également une gamme de matériaux utilisables plus étendue. Parmi les procédés de fabrication additive métallique on retrouve majoritairement :

Le Direct Metal Laser Sintering (DMLS), faisant partie de la famille d'impression 3D appelée « fusion sur lit de poudre ». Cette méthode s'appuie sur le même principe que le procédé SLS à savoir un chauffage précis par faisceau laser permettant de fritter ou de fusionner des particules de poudre métallique entre elles et ainsi de fabriquer couche après couche la pièce finale.

La Construction Laser Additive Directe (CLAD). Il s'agit d'une technologie de dépôt de matière par énergie concentrée. Elle consiste à alimenter, par la buse de l'imprimante, de la matière sous forme de poudre métallique ou de fil et de la faire aussitôt fondre à sa sortie à l'aide d'une puissante source de chaleur : ici un faisceau laser (d'autres technologies existent pour lesquelles le chauffage est assuré par un faisceau d'électrons -EBM- ou par plasma). Cette méthode permet l'impression directe des pièces en opposition au procédé de fusion sur lit de poudre.

La projection à froid (ou « Cold Spray »). L'objectif est de réaliser un revêtement sur une pièce par métallisation à froid. Les particules de poudres métalliques sont projetées par un gaz (azote ou hélium) sous pression (environ 50 bars) à une vitesse très élevée (pouvant atteindre 1200m/s) sur le substrat. Lors de l'impact, la déformation des particules assure la qualité du dépôt.

La Stratoconception, qui est un procédé d'impression 3D hybride consistant à décomposer en plusieurs strates la pièce à réaliser. Chacune des strates est fabriquée par découpe (fraisage, découpe laser, découpe au fil, ...) puis ces strates sont positionnées à l'aide d'inserts, de pontets ou d'autres éléments d'imbrication dans le but d'être assemblées et ainsi reconstituer la pièce finale.

=> Diverses autres technologies ont été développées directement par certains fabricants. Tous ces développements distinguent plus encore les catégories de procédé déjà citées.

La plupart des métaux est utilisable par la fabrication additive. Les plus répandus sont l'aluminium (souvent sous forme d'alliage) pour sa légèreté et l'acier pour ses propriétés mécaniques. Le titane, le cobalt-chrome, le gallium, les superalliages (type inconel) et les métaux précieux (or, platine et argent) sont aussi très présents dans cette industrie.

En revanche il faut tout de même savoir que les poudres métalliques ont un coût élevé, l'impression 3D ne permet donc pas la fabrication de pièces de très grandes dimensions.

Le domaine de l'impression 3D est un domaine qui évolue rapidement. Il offre d'importants avantages mais présente également quelques limites. Parmi ces avantages on retrouve :

- La capacité à fabriquer des pièces de **géométrie complexe** sans entraîner d'augmentation de coût. Ce procédé de fabrication par addition de couches permet d'atteindre des géométries précises de pièces plus aisément que par une fabrication « traditionnelle » parfois même pour un coût moins élevé car la quantité de matière utilisée est moindre.

- Le fait de **ne pas nécessiter d'outillage spécifique** pour la création d'un produit (en opposition avec les appareils d'outillages ou les moules employés dans la fabrication par mise en forme). Le coût d'une pièce imprimée en 3D dépend uniquement de la quantité de matière utilisée, du temps nécessaire à sa réalisation et des opérations ultérieures de traitement.

- La facilité à créer des **pièces personnalisées**. Les coûts de mise en route étant bas, chaque production peut être personnalisée simplement en modifiant le modèle numérique 3D.

- **Le rapide prototypage à faible coût**. La rapidité de fabrication des pièces permet d'accélérer grandement l'exécution du « cycle de conception » (conception, essais, amélioration, modifications, ...)

- La **large gamme de matériaux** utilisables. Même si les matériaux les plus employés sont les matériaux plastiques, les métaux et les composites trouvent de plus en plus d'applications industrielles permettent de répondre à des besoins toujours plus spécifiques.

Néanmoins, le procédé de fabrication par impression 3D présente quelques limites :

- Pour la plupart des procédés d'impression 3D les propriétés physiques des produits ne sont pas aussi bonnes que celles des matériaux employés.

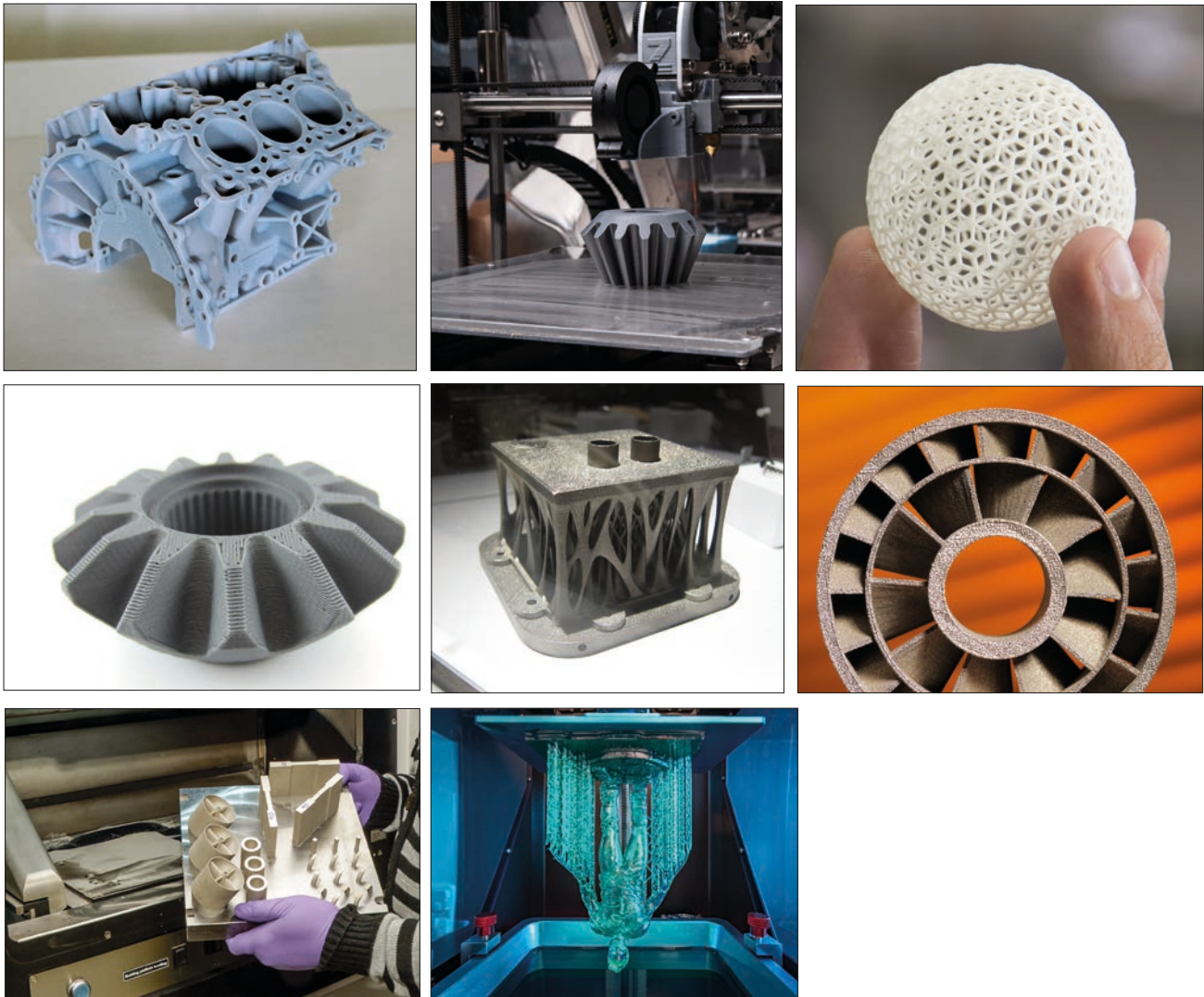
Cependant, les procédés de fusion sélective de métal par laser (DMLS) produisent dans certains cas des pièces avec d'excellentes propriétés mécaniques.

- La fabrication additive est limitée par le nombre de produit à fabriquer en série. Elle ne peut pas concurrencer les autres procédés concernant les très grandes séries de production.

- La tolérance et la précision des pièces sont limitées. Elles varient selon le procédé d'impression mais les pièces nécessitent souvent des opérations de finition visant à optimiser les caractéristiques, les tolérances et les états de surface. Les pièces imprimées en 3D sont alors rarement prêtes à l'emploi en sortie d'impression. Les opérations de finition nécessaires sont en général, le retrait du support (c'est-à-dire l'ensemble des structures imprimées pour ancrer la pièce et/ou combler un « porte-à-faux »), un ponçage, un polissage, de la peinture, ...

=> L'impression 3D est par conséquent utilisée dans de nombreux domaines industriels. Elle trouve des applications dans beaucoup de secteurs d'activités tels que : l'automobile (étrier de frein en titane), l'aéronautique (allègement des structures), l'aéronavale (hélices de bateau), l'énergie (aubes de turbines à gaz), le médical (implants en titane), l'aérospatial (miroir télescopique en aluminium, support d'antenne satellite, turbopompe de moteur de fusée), la construction métallique (pont en acier) l'horlogerie, la bijouterie ou l'orfèvrerie, ...

C'est la fabrication additive métallique qui fera le plus souvent objet de préparation métallographique.



PRÉPARATION MÉTALLOGRAPHIQUE

De manière générale, en fonction de la technologie d'impression, du procédé, de l'élaboration, des opérations de transformations et des différents traitements de finitions, les propriétés et les microstructures des matériaux de la pièce sont influencées.

Toutes ces influences amènent alors à la réalisation de contrôles qualité métallographiques tels que : les examens de microstructures, les recherches de porosités et/ou d'hétérogénéités, la recherche et les examens d'inclusions et/ou de précipités, les essais de dureté, les contrôles d'écrouissage, de taille de grain, de dimensionnement, ...

L'obtention d'une surface d'examen nécessite une succession d'opérations aussi importantes les unes que les autres quel que soit le matériau. Ces étapes sont dans l'ordre :

- Le prélèvement du produit à examiner (si nécessaire), appelé « TRONCONNAGE ».
- La standardisation de la géométrie de l'échantillon prélevé (si nécessaire), appelée « ENROBAGE ».
- L'amélioration de l'état de surface de cet échantillon, appelée « POLISSAGE ».
- La caractérisation de l'échantillon : révélation de la microstructure de l'échantillon par un réactif d'attaque (si nécessaire) appelée « ATTAQUE METALLOGRAPHIQUE » et l'observation microscopique (optique ou électronique).

=> Chacune de ces étapes doit être effectuée rigoureusement sous peine de rendre les étapes suivantes irréalisables.

TRONÇONNAGE

Le tronçonnage a pour but de prélever une partie précise d'un produit, de manière à obtenir une surface d'examen convenable, sans altérer les propriétés physico-chimiques du matériau.

En d'autres termes il est indispensable d'éviter un échauffement, une déformation ou une dégradation quelconque de la pièce. Le tronçonnage est une étape fondamentale qui conditionne la suite de la préparation et l'observation des pièces.

La large gamme de micro-tronçonneuses et tronçonneuses de moyenne et grande capacité PRESI permet de s'adapter à n'importe quel besoin en termes de précision de découpe, de dimensionnement ou de quantité de produits à découper :



Fig 1 : MECATOME T210



Fig 2 : MECATOME T260



Fig 3 : MECATOME T330

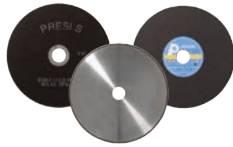
Chacune des tronçonneuses de la gamme bénéficie de consommables et d'accessoires qui leur sont adaptés. Le système de bridage et le choix de ces consommables sont toujours des éléments essentiels pour la réussite d'une coupe métallographique.

=> Le bridage, autrement dit le maintien de la pièce, est primordial. Si la pièce n'est pas bien maintenue, la coupe pourra présenter des risques pour la meule de tronçonnage, pour la pièce voire également pour la machine.

CONSOMMABLES

Toutes les tronçonneuses sont employées avec un liquide de lubrification/refroidissement composé d'un mélange d'eau et d'additif antirouille dans le but d'obtenir une découpe propre et sans échauffement. L'additif permet également de protéger l'échantillon et la machine de la corrosion.

Le choix du type de meule de tronçonnage se fait en fonction des propriétés du matériau et tout particulièrement de sa dureté. Il est donc nécessaire d'adapter les consommables en fonction de la constitution du matériau à découper (Cf. Lab'Notes associée au matériau pour plus d'informations). Le choix des consommables a été effectué en fonction du matériau majoritaire (polymère, métal ou céramique).



	Matériaux polymères	Matériaux métalliques		Matériaux céramiques
		Non ferreux	Ferreux	
Micro-tronçonnage	UTW S Ø180 MNF LM+ LR	UTW S Ø180 mm MNF	UTW S Ø180 A CBN	LM / LM+ LR
Tronçonnage de moyenne capacité	MNF LM+ LR	T MNF F	A AO S CBN	LM / LM+ LR
Tronçonnage de grande capacité	MNF LM+ LR	T MNF	A AO S CBN	LM / LM+ LR

Tableau 1 : Choix du type de meule de tronçonnage adapté

=> Le choix du type de meule de tronçonnage doit se faire judicieusement dans le but d'éviter d'éventuels refus de coupe, une trop grande agressivité, une usure trop importante ou encore une casse de la meule.

ENROBAGE

Les échantillons peuvent être difficiles à manipuler du fait de leur forme complexe, de leur fragilité ou de leur petite taille. L'enrobage facilite ainsi leur manipulation en standardisant leur géométrie et leurs dimensions.

=> Réaliser un enrobage de qualité est essentiel afin de protéger les matériaux fragiles mais également pour obtenir de bons résultats de préparation en vue du polissage et des futures analyses.

Avant d'être enrobé, l'échantillon doit être ébavuré à l'aide par exemple d'un papier abrasif grossier dans le but d'éliminer les éventuelles bavures de coupe. Un nettoyage à l'éthanol (dans un bac à ultrasons pour encore plus d'efficacité) est également envisageable. Cette opération permet à la résine d'adhérer au mieux sur l'échantillon et limite ainsi le phénomène de retrait (espace entre la résine et l'échantillon).

Si ce phénomène de retrait persiste, il peut amener des problèmes lors du polissage. Des grains d'abrasifs sont susceptibles de se loger dans le retrait puis de se libérer lors d'une étape ultérieure, il y a alors un risque de pollution pour l'échantillon et le support de polissage. Dans ce cas, un nettoyage au bac à ultrasons entre chaque étape est recommandé.

Il existe deux procédés d'enrobages :

- **LE PROCÉDÉ À CHAUD** est à privilégier pour des besoins d'examens de bords ou si la préparation métallographique est effectuée dans le but de réaliser des essais de dureté. **Le procédé à chaud nécessite l'utilisation d'une enrobeuse à chaud.**



Fig 4 : MECAPRESS 3

La machine nécessaire à l'enrobage à chaud est la Mecapress 3 :

- Presse d'enrobage à chaud totalement automatique.
- Simple d'utilisation, la mémorisation, l'ajustement des procédés et la rapidité d'exécution en font une machine de haute précision.
- L'enrobeuse à chaud propose six moules de diamètres différents allant de Ø25,4mm à Ø50mm.

LE +

Un des principaux avantages que présente ce procédé est la réalisation d'un enrobage aux faces parfaitement parallèles.

- **LE PROCÉDÉ À FROID** est à privilégier quand :
 - Les pièces à examiner sont fragiles / sensibles à la pression
 - Les pièces présentent une géométrie complexe (structure en nid d'abeille).
 - Le besoin est d'enrober un grand nombre de pièces en série.

Le procédé à froid peut être utilisé avec :



Fig 5 : Appareil d'enrobage sous pression

LE +

Améliore considérablement la qualité, notamment en diminuant le phénomène de retrait (espace entre la résine et l'échantillon), en optimisant la transparence de la résine.



Fig 6 : Appareil d'enrobage sous vide POLY'VAC


LE +

Machine permettant l'imprégnation sous vide de matériaux poreux enrobés par le biais d'une résine époxy.

Les résines à froid ne fournissent pas toujours un « dos » d'enrobage plan à cause du ménisque. Avant toute opération de polissage, il est possible d'effectuer une courte étape sur un papier abrasif pour éliminer ce ménisque. L'important est de s'assurer que cette rectification rend les deux faces de l'enrobage parallèles.

CONSOMMABLES

Afin de répondre aux besoins, PRESI propose toute une gamme de moules d'enrobage à froid. Ces moules d'enrobage sont de diamètre allant de Ø20mm à Ø50mm. Ces derniers sont répartis en plusieurs sortes : des moules optimisés appelés « KM2.0 », des moules en caoutchouc, en téflon ou bien en polyéthylène. L'enrobage à froid permet aussi plus de liberté, c'est pourquoi il existe des moules rectangulaires pour des besoins plus spécifiques.



	Matériaux polymères	Matériaux métalliques	Matériaux céramiques
A chaud	∅	Epoxy Phénolique Allylique	∅
A froid	KM-U KM-B IP / IP-FAST MA2+	KM-U KM-B IP / IP-FAST 2S*	KM-U KM-B IP / IP-FAST

Tableau 2 : Choix du type de résine d'enrobage adapté

* Adaptée pour les très grandes séries

Les céramiques et les matériaux polymères sont des matériaux fragiles et sensibles à la chaleur et/ou à la pression. Il est par conséquent déconseillé d'effectuer un procédé d'enrobage à chaud pour ce type de matériau.

POLISSAGE

La dernière phase incontournable et cruciale du processus de préparation d'un échantillon est le polissage. Le principe est simple, chaque étape utilise un abrasif plus fin que le précédent. L'objectif consiste à obtenir une surface plane et à éliminer les rayures et les défauts résiduels qui gêneraient la réalisation des examens de contrôles métallographiques tels que les analyses microscopiques, les essais de dureté, les contrôles de microstructure ou les contrôles dimensionnels.

PRESI propose une grande gamme de polisseuses manuelles et automatiques, avec un large choix d'accessoires, afin de couvrir tous les besoins, du pré-polissage à la super-finition et du polissage d'échantillons unitaires ou en série.



Fig 7 :
Le CUBE 250

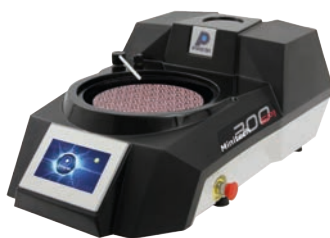


Fig 8 :
MINITECH 300 SPI



Fig 9 :
MECATECH 250 SPI

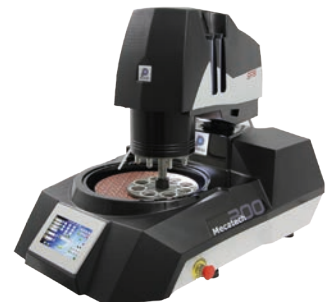


Fig 10 :
MECATECH 300 SPS

La gamme de polisseuses manuelles MINITECH intègre les technologies les plus avancées. Conviviales, fiables et robustes, elles apportent une réponse simple à tous les besoins.

La gamme de polisseuses automatiques MECATECH permet un polissage aussi bien manuel qu'automatique. Avec ses technologies avancées, ses puissances moteur de 750 à 1500 W, toute l'expérience de PRESI est concentrée dans cette gamme très complète. Peu importe le nombre ou la taille des échantillons, MECATECH garantit un polissage optimal.

CONSOMMABLES ET GAMMES DE POLISSAGE

Toutes les gammes de polissage ci-dessous sont données pour une préparation automatique des échantillons (pour du polissage manuel : ne pas prendre en compte les paramètres de tête). Elles sont les plus couramment utilisées et sont renseignées à titre d'information et de conseil.

Toutes les premières étapes de chaque gamme sont appelées « mise à niveau » et consistent à retirer de la matière rapidement afin de mettre à niveau la surface de l'échantillon (et de la résine). Celles données ci-dessous sont standards et peuvent, par conséquent, être modifiées selon le besoin.

Les forces d'appui varient selon la taille des échantillons mais de manière générale il sera appliqué : 1daN par 10mm de diamètre d'enrobage pour les étapes de pré-polissage (ex : Ø40mm = 4 daN) puis la force sera diminuée de 0,5daN à chaque étape de polissage avec une suspension abrasive.

Gamme	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5
Matériau	Matériaux polymères	Aciers et métaux durs	Métaux tendres	Titane	Matériaux céramiques

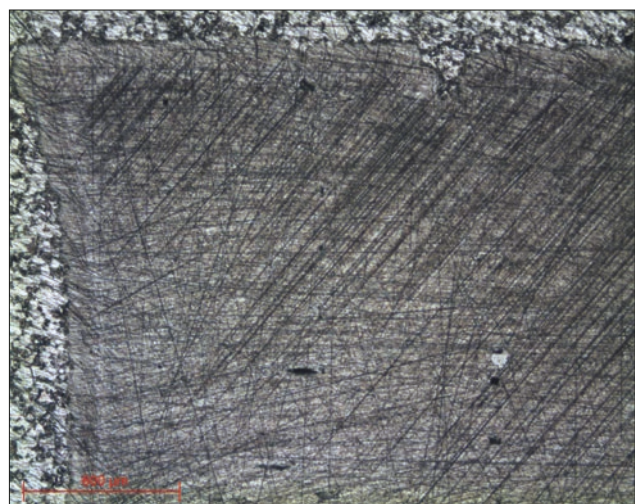
Tableau 3 : Choix de la gamme de polissage

Gamme N°1

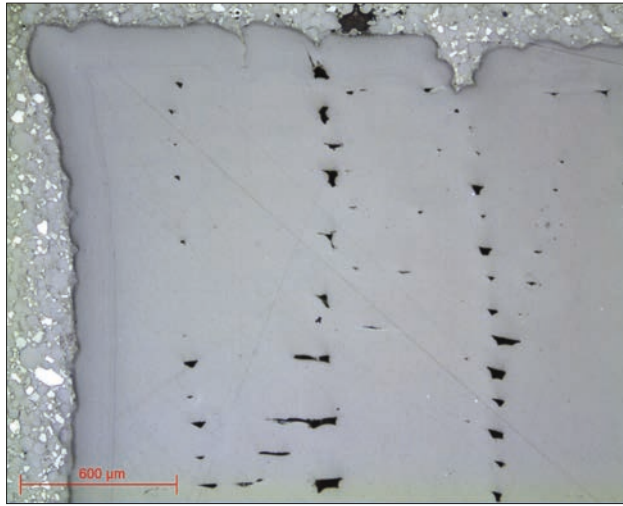
N°	Support	Suspension / Lubrifiant	Vplateau (tr/min)	Vtête (tr/min)	Sens de rotation Plateau / tête	Temps
1	SiC P600	Ø / Eau	300	150	→ →	1'
2	TOP	9µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	4'
3	STA	3µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	3'
4	NT	Al ₂ O ₃ n°1 / Eau	150	100	→ ←	1'



Micrographie 1 : PLA -
Etat de surface TOP 9µm obj x5



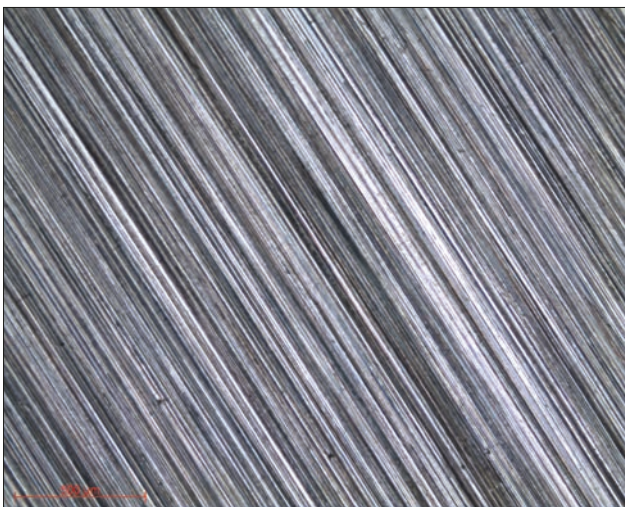
Micrographie 2 : PLA -
Etat de surface STA 3µm obj x5



Micrographie 3 : PLA -
Etat de surface NT Al₂O₃ N°1 obj x5

Gamme N°2

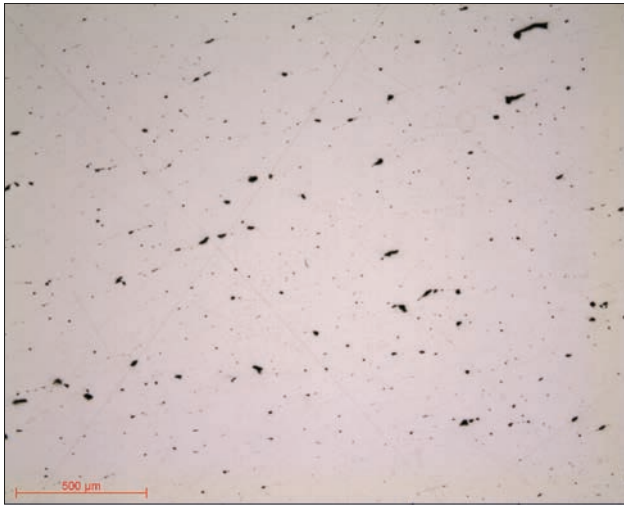
N°	Support	Suspension / Lubrifiant	Vplateau (tr/min)	Vtête (tr/min)	Sens de rotation Plateau / tête	Temps
1	SiC P320	Ø / Eau	300	150	→ →	1'
2	TOP	9μm LDP / Reflex Lub	300	150	→ →	4'
3	RAM	3μm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	2'
4	NT	1μm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	1'
5	NT	Al ₂ O ₃ n°3 / Eau	150	100	← →	1'



Micrographie 4 : Alliage de Cobalt-Chrome -
Etat de surface P320 obj x5



Micrographie 5 : Alliage de Cobalt-Chrome -
Etat de surface TOP 9μm obj x5



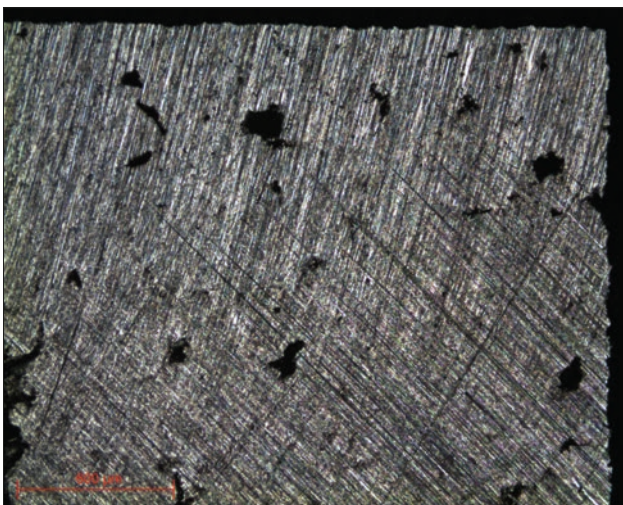
Micrographie 6 : Alliage de Cobalt-Chrome -
Etat de surface RAM 3µm obj x5



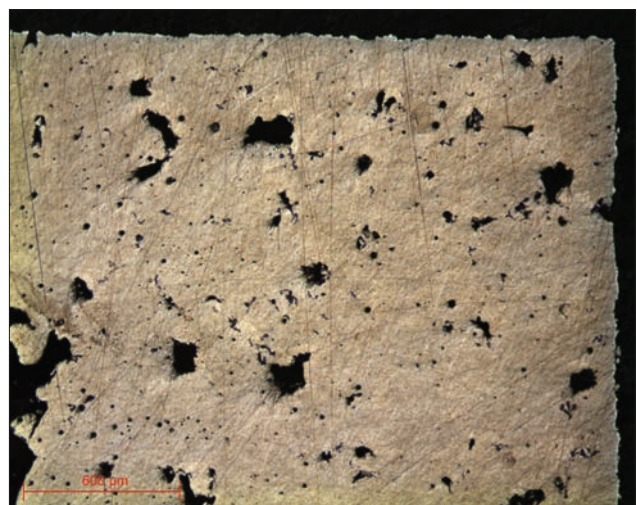
Micrographie 7 : Alliage de Cobalt-Chrome -
Etat de surface NT 1µm obj x5

Gamme N°3

N°	Support	Suspension / Lubrifiant	Vplateau (tr/min)	Vtête (tr/min)	Sens de rotation Plateau / tête	Temps
1	SiC P320	Ø / Eau	300	150	→ →	1'
2	SiC P120	Ø / Eau	300	150	→ →	1'
3	RAM	3µm LDM / Reflex Lub	150	135	→ →	3'
4	NT	1µm LDM / Reflex Lub	150	135	→ →	1'
5	SUPRA	SPM / Eau	150	100	← →	1'



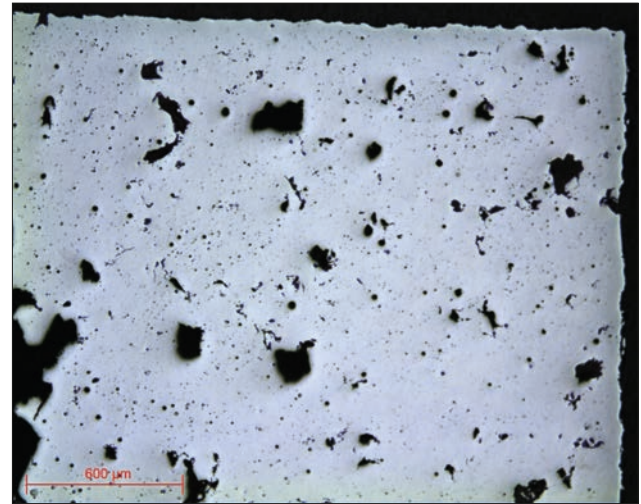
Micrographie 8 : Alliage d'aluminium -
Etat de surface P1200 obj x5



Micrographie 9 : Alliage d'aluminium -
Etat de surface RAM 3µm obj x5



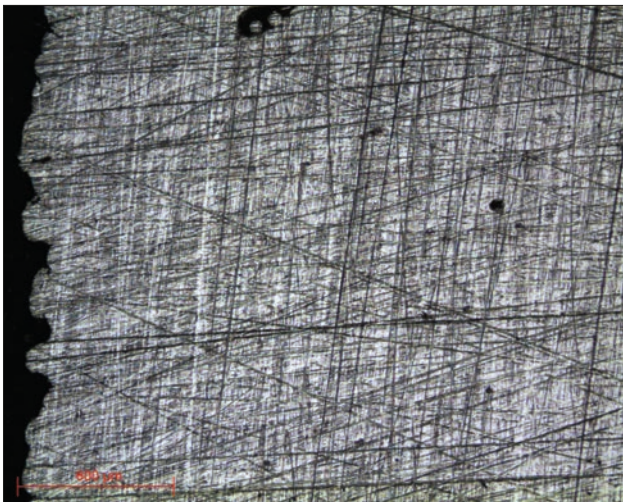
Micrographie 10 : Alliage d'aluminium –
Etat de surface NT 1µm obj x5



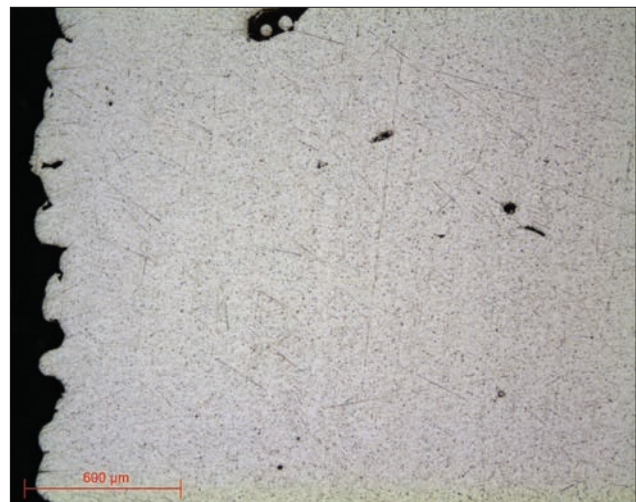
Micrographie 11 : Alliage d'aluminium –
Etat de surface SUPRA SPM obj x5

Gamme N°4

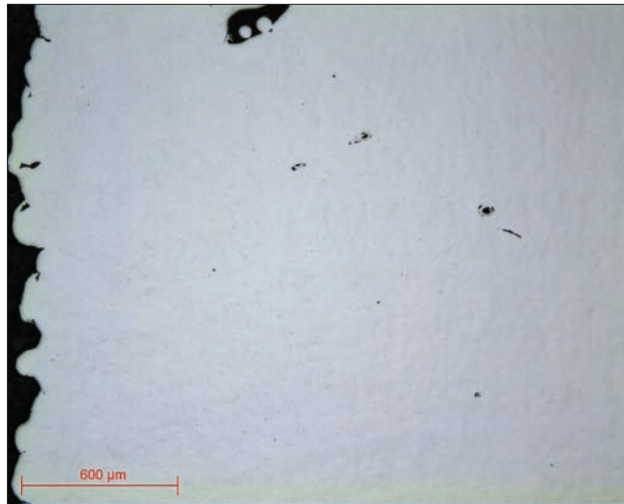
N°	Support	Suspension / Lubrifiant	Vplateau (tr/min)	Vtête (tr/min)	Sens de rotation Plateau / tête	Temps
1	SiC P320	Ø / Eau	300	150	→ →	1'
2	TOP	9µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	5'
3	SUPRA	SPM / Eau	150	100	← →	5'



Micrographie 12 : Alliage de titane –
Etat de surface P320 obj x5



Micrographie 13 : Alliage de titane –
Etat de surface TOP 9µm obj x5



Micrographie 14 : Alliage de titane -
Etat de surface SUPRA SPM obj x5

Gamme N°5

N°	Support	Suspension / Lubrifiant	Vplateau (tr/min)	Vtête (tr/min)	Sens de rotation Plateau / tête	Temps
1	Tissediam 40μm	∅ / Eau	300	150	→ →	2'
2	Tissediam 20μm	∅ / Eau	300	150	→ →	2'
3	TOP	9μm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	5'
4	NWF+	3μm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	2'
5	SUPRA	SPM / Eau	150	100	← →	2'

Toutes les gammes de polissage renseignées ci-dessus sont des gammes standards et polyvalentes qui peuvent être modifiées en fonction des subtilités des échantillons. (Cf Lab'Notes du matériau associé).

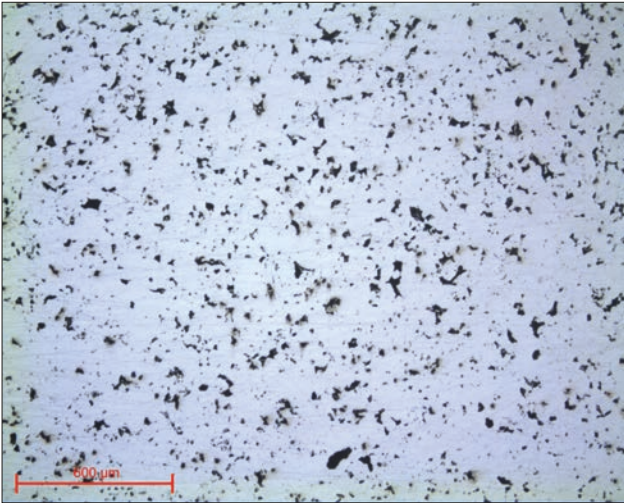
De plus, elles ne sont pas nécessairement à réaliser dans leur entièreté en fonction des besoins d'observations (à l'exception des échantillons en titane pour lesquels toutes les étapes de la gamme doivent être effectuées).

A l'issue de cette préparation, les échantillons polis peuvent être observés directement sans attaque métallographique. Sinon l'attaque métallographique permet de créer des différences de relief et/ou de couleur entre les différents constituants et permet leur observation. Elle se pratique majoritairement sur les métaux (Cf Lab'Notes du matériau associé).

Il est important de noter que le polissage de pièces imprimées en 3D révèle et met souvent en évidence des porosités dont l'origine est due aux différents procédés de fabrications.

MICROSCOPIE

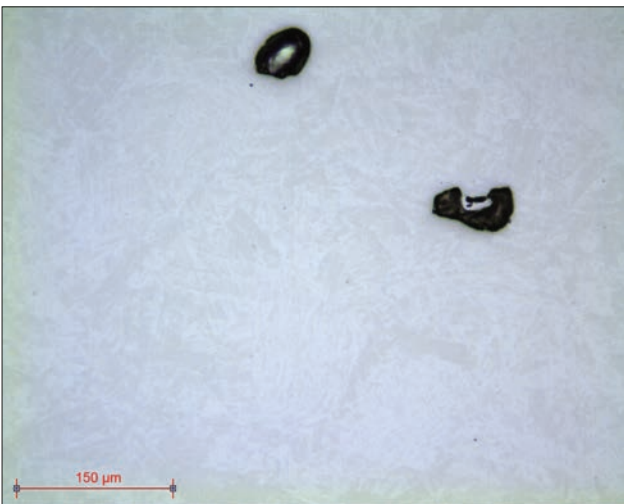
La totalité des micrographies présentée a été réalisée au moyen du logiciel **PRESI VIEW** :



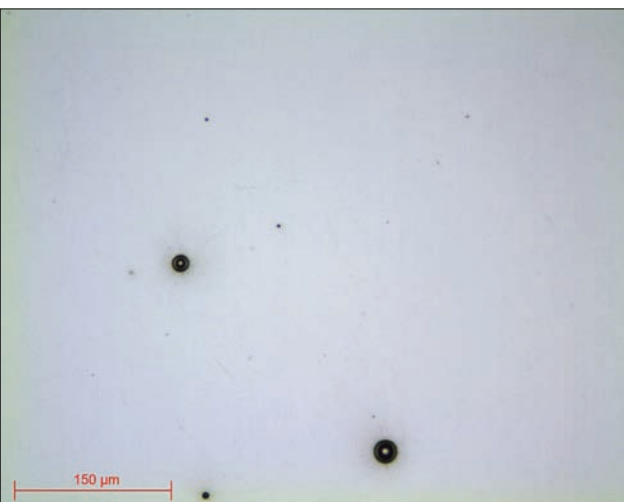
Micrographie 15 : Acier fritté poli à l'état 3µm pour essais de dureté obj x5



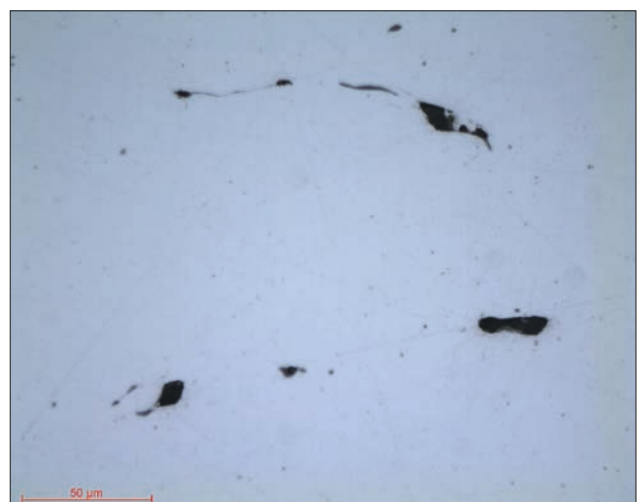
Micrographie 16 : Acier inoxydable poli à l'état 1µm obj x50



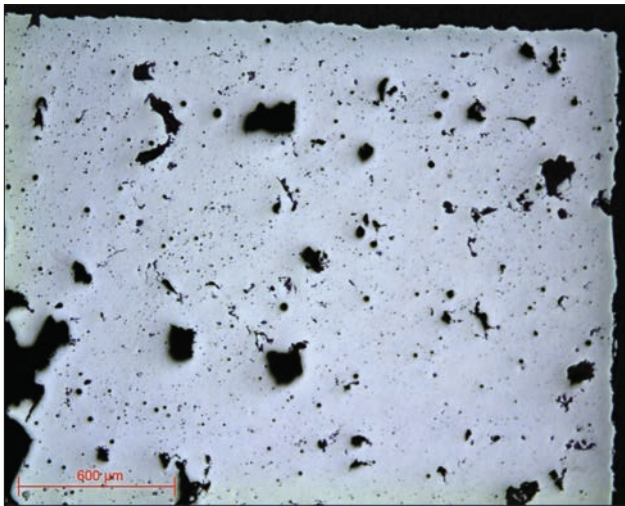
Micrographies 17 et 18 : Alliages de titane polis à l'état SPM obj x20 et x50



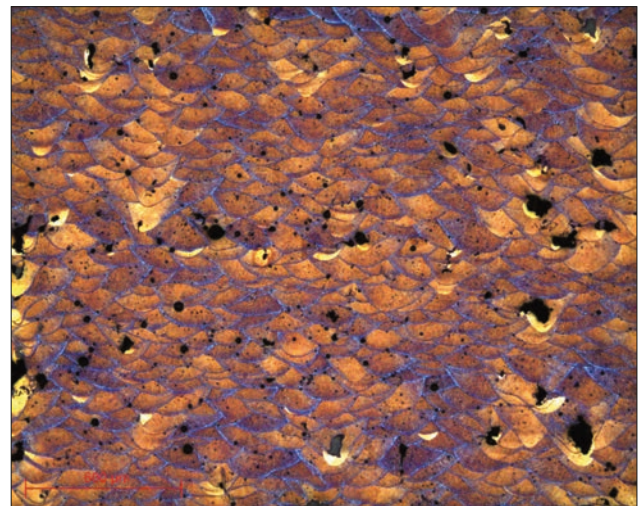
Micrographie 19 : Inconel poli à l'état Al₂O₃ N°3 obj x20



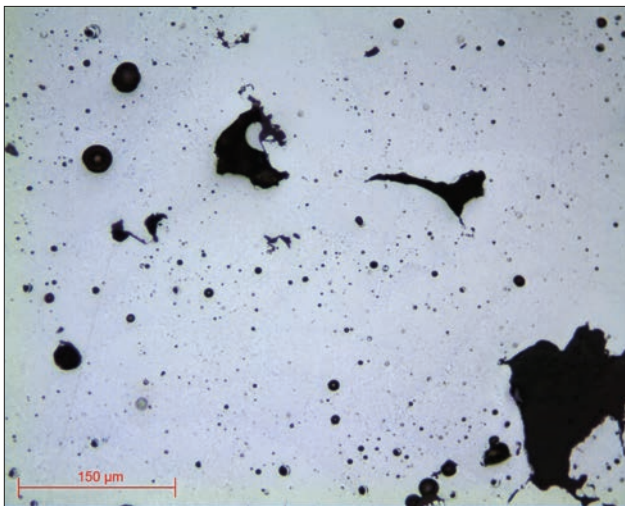
Micrographie 20 : Alliage de cobalt-chrome poli à l'état 1µm obj x50



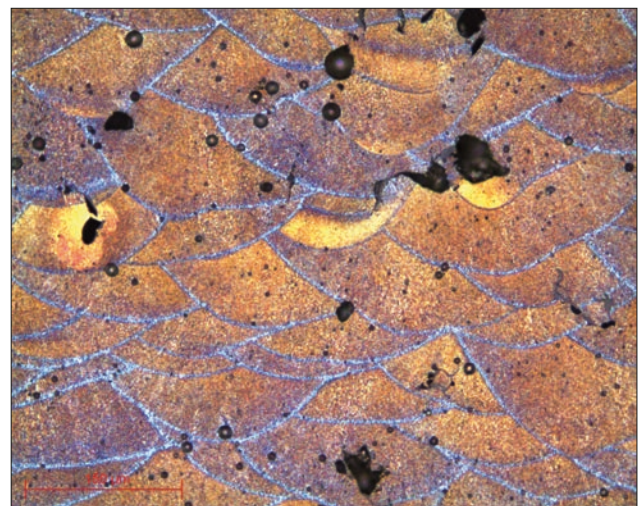
Micrographie 21 : Alliage d'aluminium poli à l'état SPM obj x5



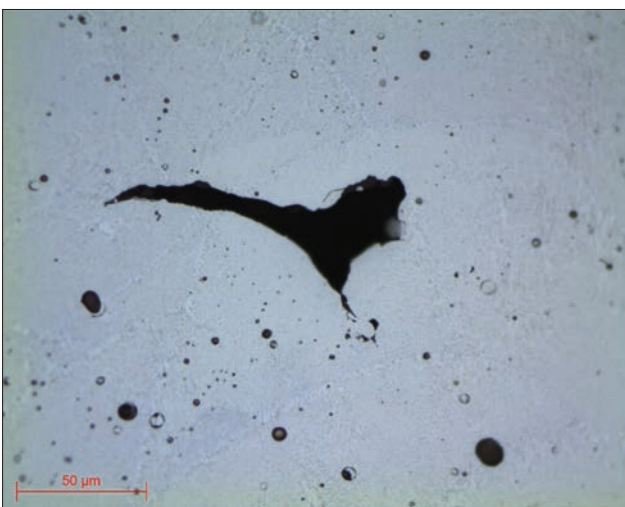
Micrographie 22 : Alliage d'aluminium poli à l'état SPM et attaqué au réactif de Keller obj x5



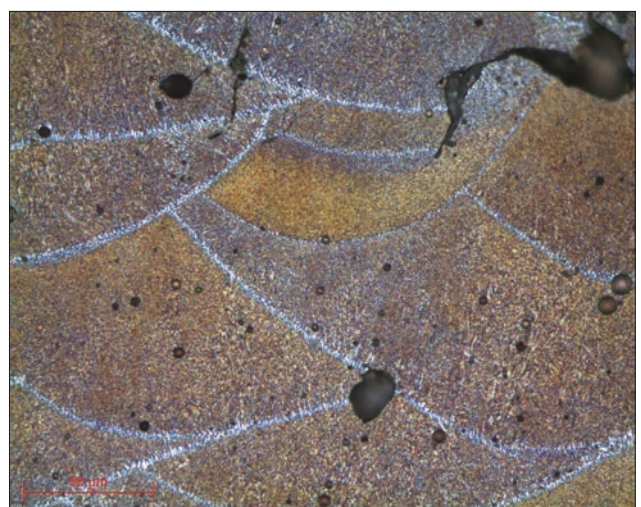
Micrographie 23 : Alliage d'aluminium poli à l'état SPM obj x20



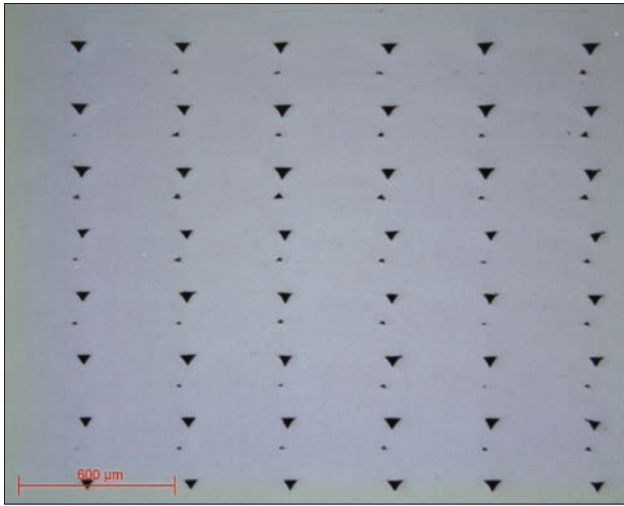
Micrographie 24 : Alliage d'aluminium poli à l'état SPM et attaqué au réactif de Keller obj x20



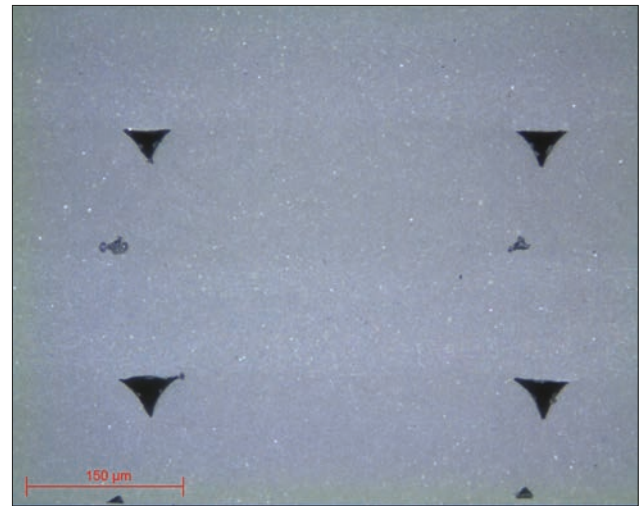
Micrographie 25 : Alliage d'aluminium poli à l'état SPM obj x50



Micrographie 26 : Alliage d'aluminium poli à l'état SPM et attaqué au réactif de Keller obj x20



Micrographie 27 : Polymère PLA poli à l'état Al_2O_3 N°1
obj x5



Micrographie 28 : Polymère PLA poli à l'état Al_2O_3 N°1
obj x20