

# PRÉPARATION MÉTALLOGRAPHIQUE AÉRONAUTIQUE

## INTRODUCTION

Si aux origines de l'aviation les matériaux utilisés pour la structure des avions étaient la toile et le bois, aujourd'hui les technologies ont connu des avancées spectaculaires. Les matériaux employés actuellement permettent de remplir des caractéristiques et des critères techniques exceptionnels et font de l'aéronautique un domaine de pointe.

Néanmoins les recherches et les développements sur ces matériaux demeurent essentiels. Les constructeurs aéronautiques se doivent de répondre continuellement à des enjeux fondamentaux qui sont les suivants :

- **Les contraintes techniques**, qui consistent à fournir les meilleures performances possibles. Dans ce domaine, les matériaux employés sont soumis à des conditions extrêmes. Lors de la construction d'un avion, ils doivent présenter des caractéristiques bien précises en fonction de leur(s) futur(s) rôle(s) et de leur localisation dans la structure. Il s'agira alors de résister aux contraintes mécaniques, de pression, de températures (très faibles ou très élevées), de corrosion, de chocs ou encore d'exposition à la foudre. L'objectif demeure de combiner les excellentes propriétés mécaniques avec toujours plus de légèreté, de fiabilité et de durabilité.
- **Les contraintes économiques**, qui sont définies par la réduction des coûts à tous les niveaux. Il s'agit d'améliorer et maîtriser les procédés de fabrication. Cela permet, par la même occasion, l'amélioration de la fiabilité des équipements et la réduction des non-conformités. La totalité de la chaîne d'approvisionnement (élaboration, mise en forme, traitements, assemblage, outillage, contrôles...) doit entreprendre des actions dans cet objectif de réduction des coûts. C'est pourquoi des partenariats industriels sont établis pour faciliter la production.
- **Les contraintes environnementales**, qui visent à la réduction du bruit, la réduction des émissions polluantes et au respect des réglementations de développement durable.

**Parmi la multitude de matériaux employés dans l'aéronautique, il se distingue :**

### **LES ACIERS ALLIÉS**

Sont des alliages métalliques entre l'élément fer, l'élément carbone et d'autres éléments appelés « éléments d'additions » (en général : nickel, cobalt, chrome, molybdène et titane). Ce sont ces teneurs en carbone et en éléments d'additions qui confèrent à l'acier ses propriétés. Ils sont par conséquent utilisés principalement pour leurs excellentes caractéristiques mécaniques. Ils présentent néanmoins des inconvénients tels que leur mauvaise tenue à la corrosion et leur densité élevée (Ex : Dacier = 7,8 pour le fer).

Parmi eux on retrouve, les aciers faiblement alliés à hautes résistances, (au nickel, chrome et molybdène pour la boulonnerie ou les trains d'atterrissage Ex : 35NiCrMo16), les aciers maraging, combinant résistance, dureté et ductilité, (Ex : X2NiCoMo18-9-5 « Durnico »), le Fe-Ni36 « Invar » (bénéficiant d'un coefficient de dilatation thermique très faible) ou les aciers rapides (Ex : HS 6-5-2, utilisé pour les roulements).

Il se distingue également les aciers inoxydables, qui sont des aciers (avec au maximum 1,0% de carbone) ayant une teneur en chrome d'au minimum 12% en masse. Ils présentent l'avantage de résister à la corrosion (grâce à leur teneur en chrome), d'avoir de bonnes caractéristiques mécaniques (ductilité, résistance au fluage, résistants aux températures élevées, ...) et d'être soudables.

### **LES ALLIAGES D'ALUMINIUM**

Sont incontournables dans le domaine du transport pour leurs qualités telles que leur résistance à la corrosion (une couche d'oxyde, l'alumine, se forme naturellement et protège la surface), leurs très bonnes conductivités thermique et électrique, leur résistance au froid et évidemment pour leur faible densité (D'aluminium = 2,7). De plus l'utilisation de l'aluminium est facilitée par sa bonne malléabilité, soudabilité, ductilité et usinabilité. Des traitements thermiques, mécaniques et de surfaces sont réalisables pour modifier selon le besoin les propriétés physico-chimiques des alliages d'aluminium. Un alliage très fréquemment rencontré est l'alliage 7075 (Zicral) qui allie l'aluminium avec du zinc, du cuivre et du silicium.

### **LES ALLIAGES DE TITANE**

Possèdent d'excellentes propriétés mécaniques (bonne résistance à la fatigue, résilience élevée, résistance à la chaleur et à la cryogénie, résistance au fluage acceptable...) pour une densité à environ 60% de celle de l'acier (Dtitane = 4,5). Leur résistance spécifique (rapport résistance mécanique/densité) est plus élevée que celle de l'aluminium ou de l'acier. En plus de leur densité très intéressante, les alliages de titane présentent une exceptionnelle résistance à la corrosion (supérieure à celle des aciers inoxydables) même dans les environnements les plus agressifs. En revanche sa température maximale d'utilisation est de 600°C.

L'aéronautique est un des principaux domaines d'utilisation du titane métallique. Il est employé pour la boulonnerie ou sous forme de pièces forgées (trains d'atterrissage) ainsi que dans les éléments de moteurs (aubages et disques de compresseurs, carters structuraux, ...). Un alliage de titane très couramment employé est le TA6V (TiAl6V4).

### **LES SUPERALLIAGES BASE NICKEL**

Sont des alliages à hautes performances. Initialement, ils désignent les alliages mis au point pour les pièces de turboréacteurs. Leurs intérêts résident principalement dans leurs excellentes tenues mécaniques à haute température (résistance fluage, résistance à l'oxydation/corrosion, ductilité, résistance à la fatigue, ...). Certains alliages présentent également des qualités en cryogénie. Ils sont utilisés principalement dans des conditions sévères de température telles que les aubes, les disques de compresseurs et les chambres de combustion.

Les superalliages base nickel ont une teneur en nickel supérieure à 50%. Une multitude d'éléments d'additions peut être ajoutée (généralement cobalt, chrome et fer) et des traitements thermiques sont réalisables dans l'objectif d'influencer les propriétés mécaniques en modifiant la microstructure des alliages. Des traitements de surfaces tels que les projections thermiques plasma sont possibles dans le but d'améliorer : les résistances (usure, fatigue, corrosion, ...) et les températures d'usages. Des alliages très fréquemment utilisés sont : Inconel (625 ou 718) ; Hastelloy et Nimonic.

## LES CÉRAMIQUES

Bénéficient de propriétés très intéressantes telles que leur résistance aux hautes températures, leur isolation électrique, leur résistance à la corrosion et aux vibrations et leur dureté. Ces avantages et leur caractère réfractaire, permettent l'utilisation des céramiques pour des pièces techniques employées à hautes températures. Parmi ces applications on retrouve différents capteurs (thermocouples, capteurs de moteurs, d'incendie, de précision, des traversées, ...) et des protections de surface.

En revanche, les céramiques présentent l'inconvénient d'être très sensibles aux chocs, leur ténacité est faible. Ce défaut peut être diminué lorsque les céramiques sont utilisées pour la réalisation de composites. Quelques céramiques couramment rencontrées sont l'alumine, la zircone, le carbure de silicium, ...

## LES COMPOSITES (à haute performance)

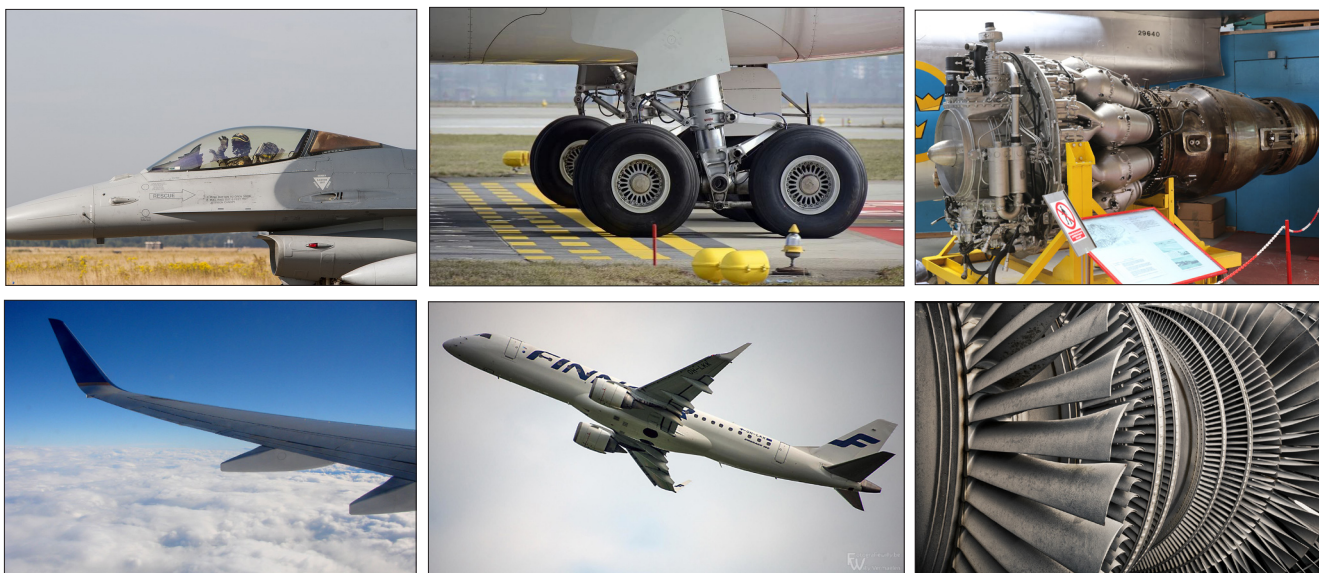
Sont comme leur nom l'indique, des matériaux composés généralement de deux éléments. Ces éléments sont : le renfort qui se constitue de fibres (très fréquemment de fibres de carbone ou fibres de verre) et d'une matrice dont le rôle est d'assurer le maintien et la continuité de ces fibres.

La nature de cette matrice définit trois catégories de composites : Les composites à matrice organique CMO (matrice en résine polymère), les composites à matrice céramique CMC et les composites à matrice métallique CMM.

L'intérêt des composites réside dans leur faible densité (ex : DCMO < 2), autrement dit leur légèreté qui, associée à leurs caractéristiques mécaniques, permet la substitution des pièces métalliques. Le choix de la composition des matériaux composites se fait selon leurs futures utilisations. Le principal inconvénient de ces matériaux est leur faible température de service, en d'autres termes, ils peuvent difficilement être employés à haute température.

Ces matériaux présentent un fort potentiel de progrès et de développement.

=> Au cours de la fabrication des pièces aéronautiques, chacun des matériaux employés fait l'objet d'une multitude d'opérations (l'élaboration, les mises en forme, les transformations, les traitements mécaniques, thermiques et de surface, etc...). Toutes ces opérations ont pour but de répondre à un cahier des charges très exigeant. Un grand nombre de contrôles qualité est réalisé au cours de chaque étape de cette fabrication, parmi lesquels certains nécessitent **une préparation métallographique**.



## PRÉPARATION MÉTALLOGRAPHIQUE

Les objectifs des contrôles nécessitant une préparation métallographique sont de manière générale des mesures de dimensionnement, de taille de grain et/ou d'épaisseurs de revêtement, des contrôles de microstructures ou de traitements, des recherches et analyses de porosités, d'inclusions, de précipités ou d'hétérogénéités, des essais de dureté, ...

L'obtention d'une surface d'examen nécessite une succession d'opérations aussi importantes les unes que les autres et 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 ou une déformation pouvant entraîner une dégradation du matériau. 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 T205



Fig 2 : MECATOME T335



Fig 3 : EVO 400

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.



	Aciers non traités et inoxydables	Aciers traités et superalliages	Titane et Aluminium	Céramiques	Composites
Micro-tronçonnage	UTW S Ø180 mm AO AOF II	UTW S Ø180 mm CBN	UTW S Ø180 mm MNF	LM / LM+ LR	UTW S Ø180 mm MNF LM+ / LR
Tronçonnage de moyenne capacité	A AO AOF II	A S CBN	T MNF F	LM / LM+ LR	MNF LM+ LR
Tronçonnage de grande capacité	A AO	AO S CBN	T MNF	LM / LM+ LR	MNF LM+ LR

Tableau 1 : Choix du type de meule de tronçonnage

=> Le choix du type de meule de tronçonnage doit se faire judicieusement dans le but d'éviter un éventuel refus de coupe, 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 cet espace 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'examen 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.



	Aciers non traités et inoxydables	Aciers traités et superalliages	Titane et Aluminium	Céramiques	Composites
A chaud	Epoxy Phénolique Allylique	Epoxy Phénolique Allylique	Epoxy Phénolique Allylique	Ø	Ø
A froid	KM-U KM-B IP / IP-FAST 2S*	KM-U KM-B IP / IP-FAST 2S*	KM-U KM-B IP / IP-FAST 2S*	KM-U KM-B IP / IP-FAST	KM-U KM-B IP / IP-FAST 2S*

Tableau 2 : Choix du type de résine d'enrobage adapté  
\* Adaptée pour les très grandes séries

A noter que des résines conductrices (à chaud et à froid) sont disponibles en cas de besoin d'observation au Microscope Electronique à Balayage ou de polissage et/ou d'attaque électrolytique.

Les céramiques et les composites 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 avec 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.

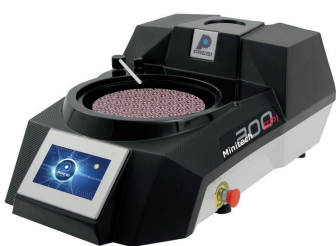


Fig 7 :  
MINITECH 300 SP1

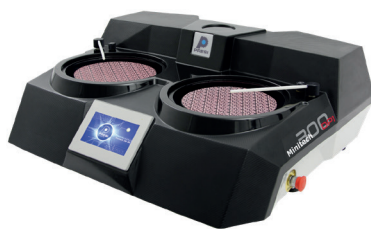


Fig 8 :  
MINITECH 300 DP1 et DP2



Fig 9 :  
MECATECH 300 SPC

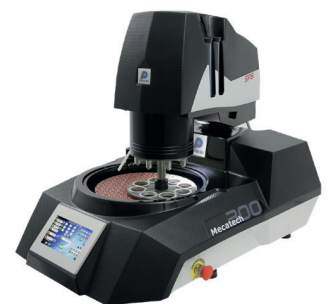


Fig 10 :  
MECATECH 300 SPS

**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.

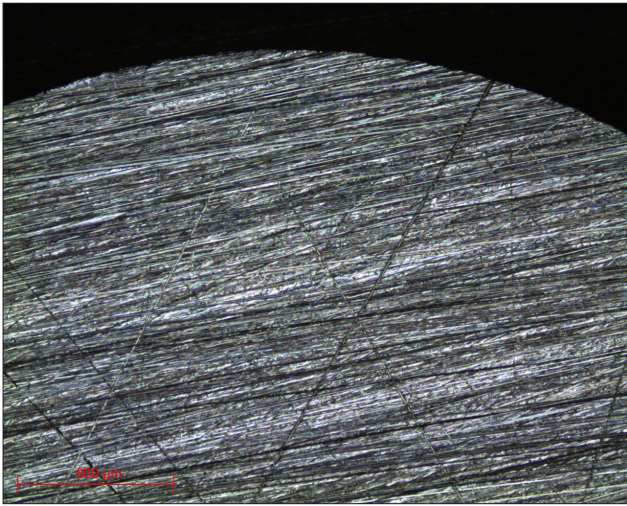
Les forces d'appui varient selon la taille des échantillons mais de manière générale il sera appliqué : 1daN par 10mm de diamètre d'enrobage pour les étapes de pré-polissage (ex : Ø40mm = 4 daN) puis la force sera diminuée de 0,5daN à chaque étape de polissage avec une suspension abrasive.

Gamme	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6
Matériau	Aciers non traités, inoxydables, superalliages	Aciers traités et superalliages	Titane	Aluminium	Céramiques	Polymères (composites)

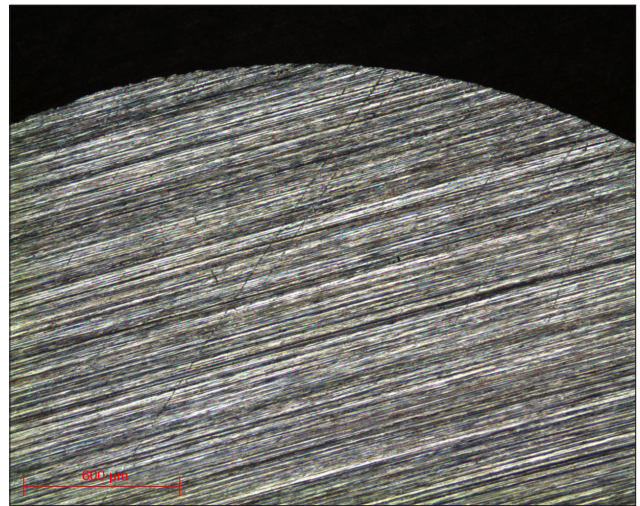
Tableau N°3 : Choix de la gamme de polissage

### Gamme N°1

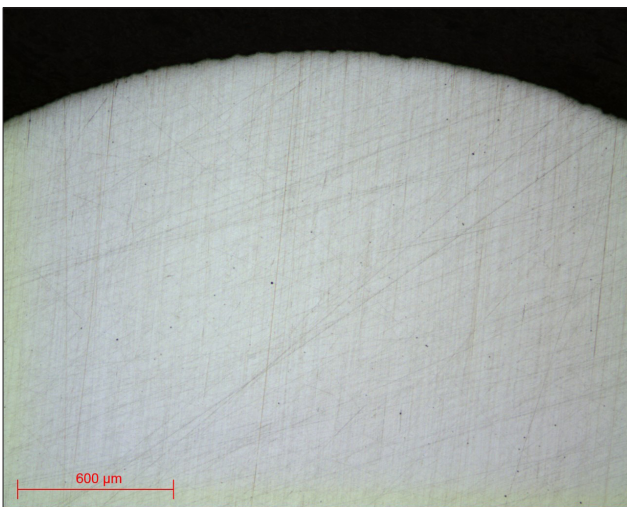
N°	Support	Suspension / Lubrifiant	Vplateau (tr/min)	Vtête (tr/min)	Sens de rotation Plateau / tête	Temps
1	SiC P320	Ø / Eau	300	150	→ →	1'
2	SiC P1200	Ø / Eau	300	150	→ →	1'
3	RAM	3µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	3'
4	NT	1µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	1'
5	NT	Al2O3 / Eau	150	100	→ ←	1'



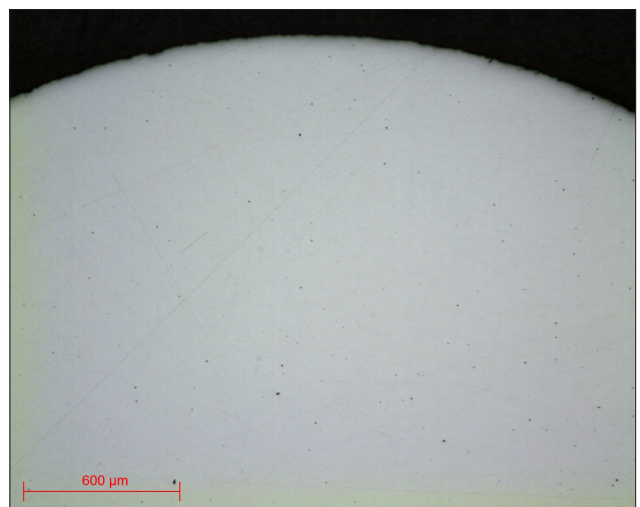
Micrographie 1 : Etat de surface P320 obj x5



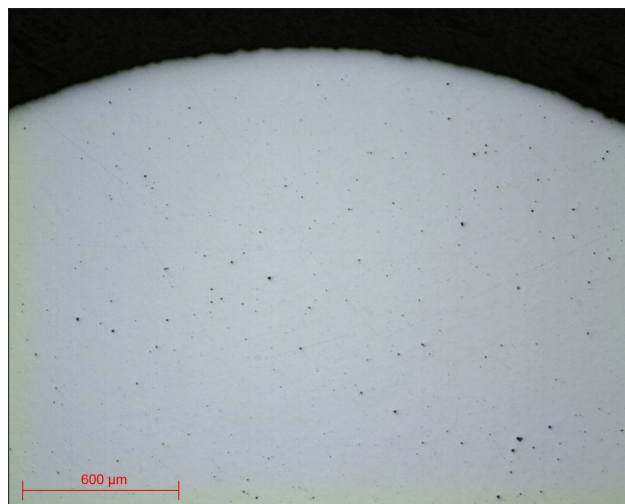
Micrographie 2 : Etat de surface P1200 obj x5



Micrographie 3 : Etat de surface RAM 3μm obj x5



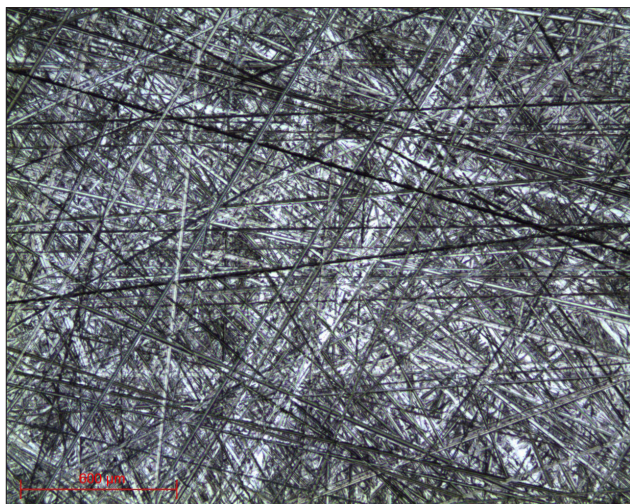
Micrographie 4 : Etat de surface NT 1μm obj x5



Micrographie 5 : Etat de surface Al2O3 N°3 obj x5

## Gamme N°2

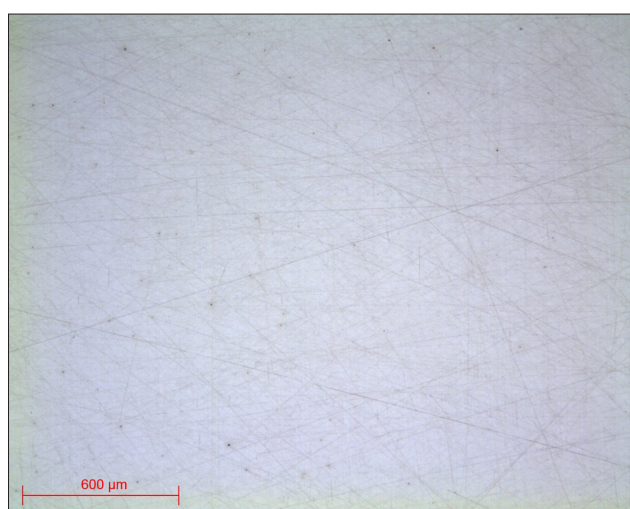
N°	Support	Suspension / Lubrifiant	Vplateau (tr/min)	Vtête (tr/min)	Sens de rotation Plateau / tête	Temps
1	I-MAX R 54µm	∅ / Eau	300	150	→ →	3'
2	I-MAX R 18µm	∅ / Eau	300	150	→ →	3'
3	ADR II	3µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	4'
4	NT	1µm LDP / Re- flex Lub	150	135	→ →	1'
5	NT	Al2O3 / Eau	150	100	← →	1'



Micrographie 6 : Etat de surface I-Max R 54µm obj x5



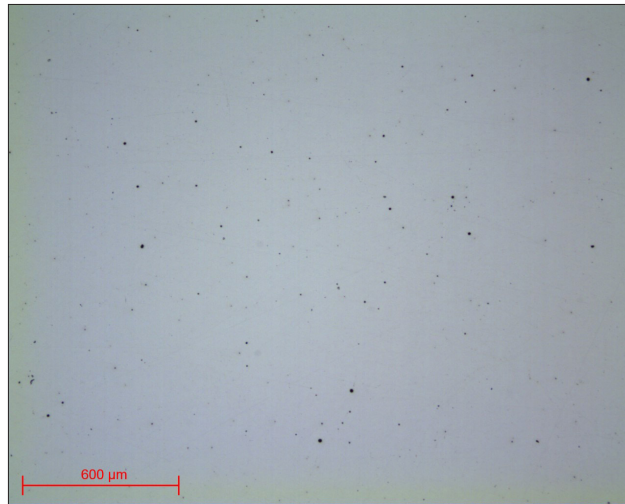
Micrographie 7 : Etat de surface I-Max R 18µm obj x5



Micrographie 8 : Etat de surface ADR II 3µm obj x5



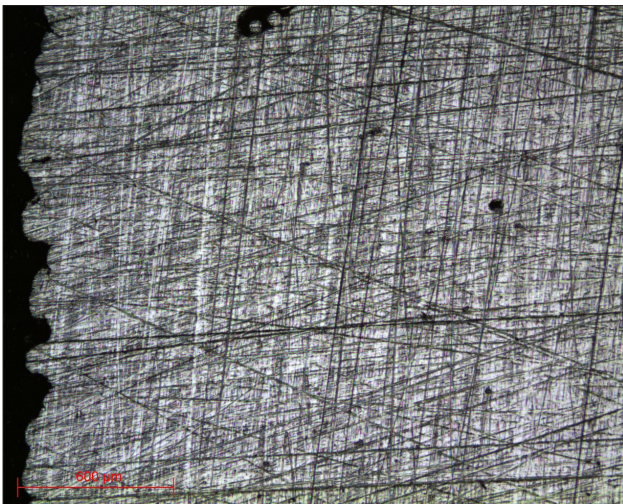
Micrographie 9 : Etat de surface NT 1µm obj x5



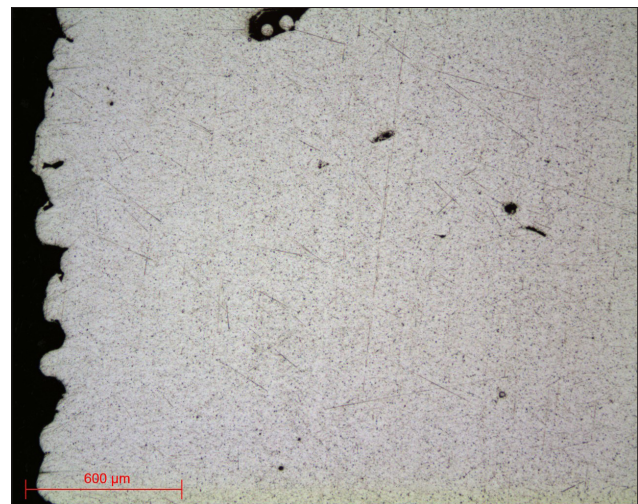
Micrographie 10 : Etat de surface Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> N°3 obj x5

### Gamme N°3

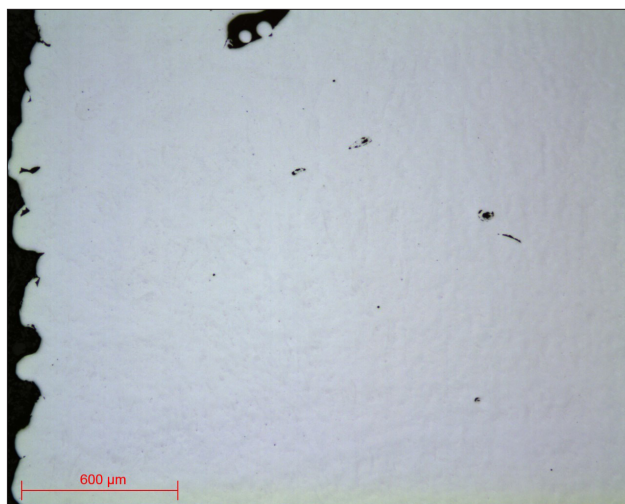
N°	Support	Suspension / Lubrifiant	Vplateau (tr/min)	Vtête (tr/min)	Sens de rotation Plateau / tête	Temps
1	SiC P320	Ø / Eau	300	150	→ →	1'
2	TOP	9µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	5'
3	SUPRA	SPM / Eau	150	100	→ ←	5'



Micrographie 11 : Etat de surface P320 obj x5



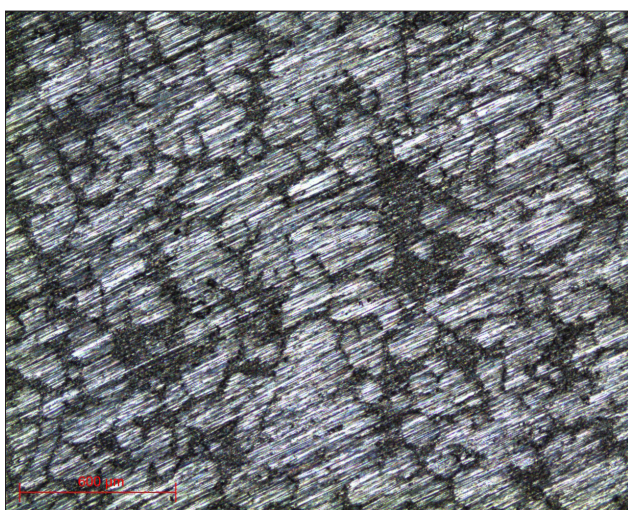
Micrographie 12 : Etat de surface TOP 9µm obj x5



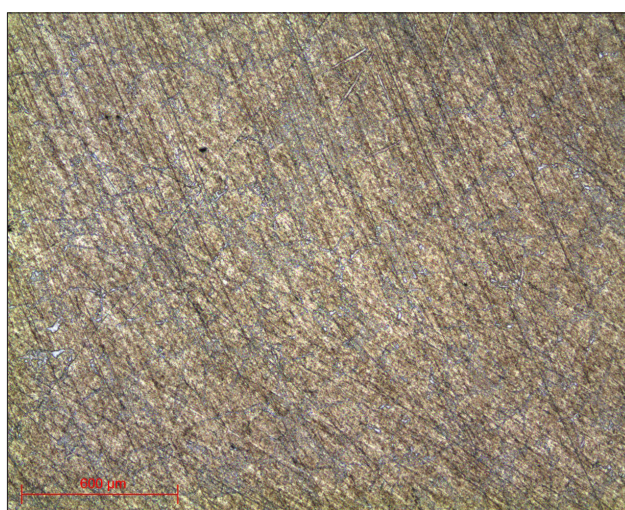
Micrographie 13 : Etat de surface SPM obj x5

#### Gamme N°4

N°	Support	Suspension / Lubrifiant	Vplateau (tr/min)	Vtête (tr/min)	Sens de rotation Plateau / tête	Temps
1	SiC P1200	Ø / Eau	300	150	→ →	1'
2	TOP	9μm LDM / Reflex Lub	150	135	→ →	2'
3	RAM	3μm LDM / Reflex Lub	150	135	→ →	2'
4	NT	1μm LDM / Reflex Lub	150	135	→ →	1'
5	SUPRA	SPM / Eau	150	100	← →	1'



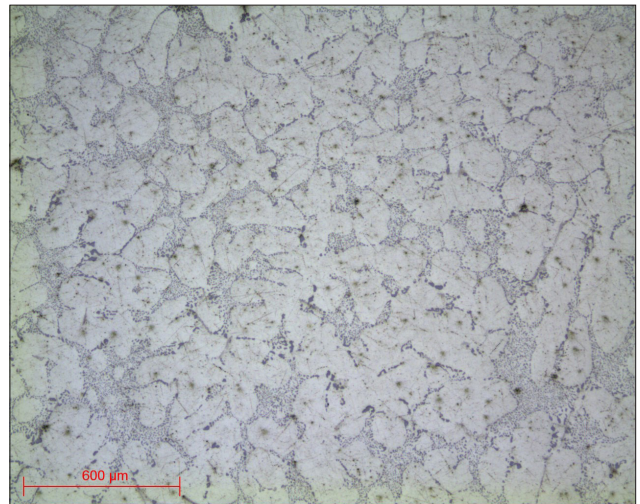
Micrographie 14 : Etat de surface P1200 obj x5



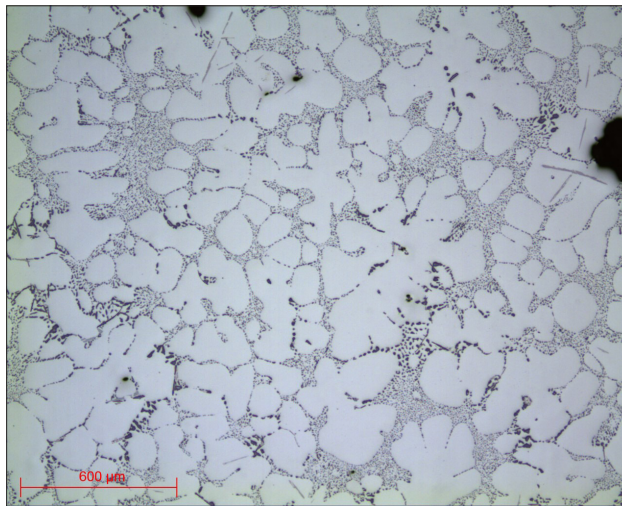
Micrographie 15 : Etat de surface TOP 9μm obj x5



Micrographie 16 : Etat de surface RAM 3µm obj x5



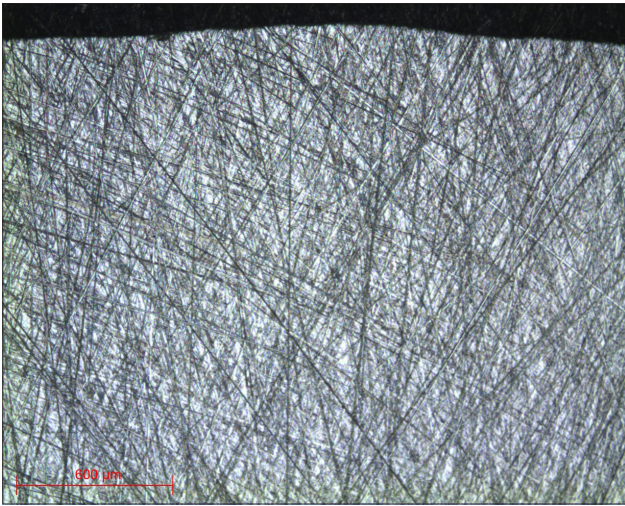
Micrographie 17 : Etat de surface NT 1µm obj x5



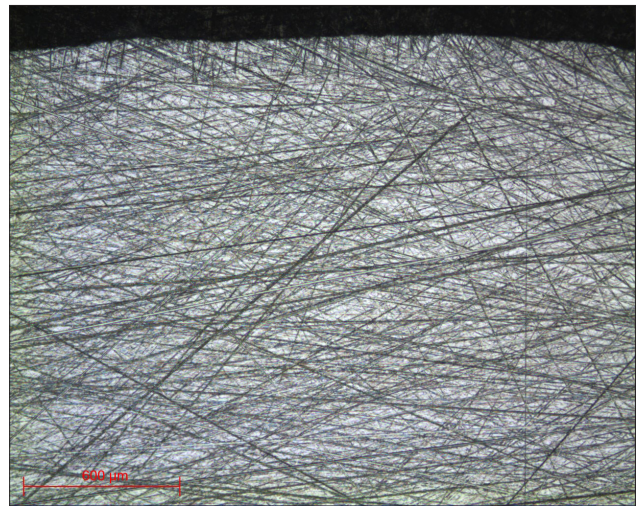
Micrographie 18 : Etat de surface SPM obj x5

### Gamme N°5

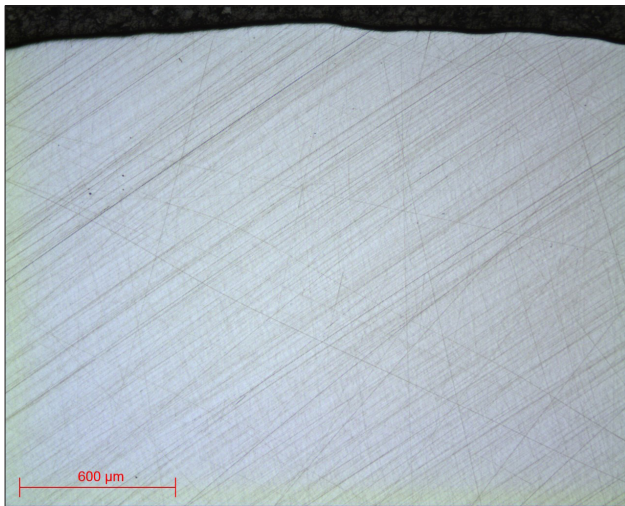
N°	Support	Suspension / Lubrifiant	Vplateau (tr/min)	Vtête (tr/min)	Sens de rotation Plateau / tête	Temps
1	Tissediam 40 µm	Ø / Eau	300	150	→ →	2'
2	Tissediam 20 µm	Ø / Eau	300	150	→ →	2'
3	TOP	9µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	5'
4	NWF+	3µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	2'
5	SUPRA	SPM / Eau	150	100	←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



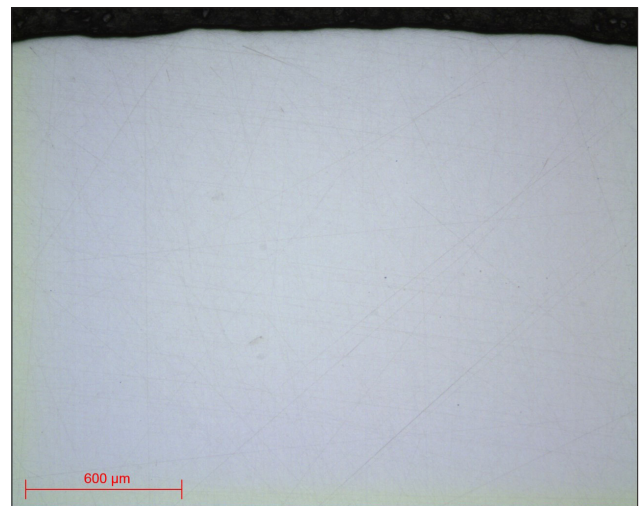
Micrographie 19 : Etat de surface TISSEDIAM 40µm obj x5



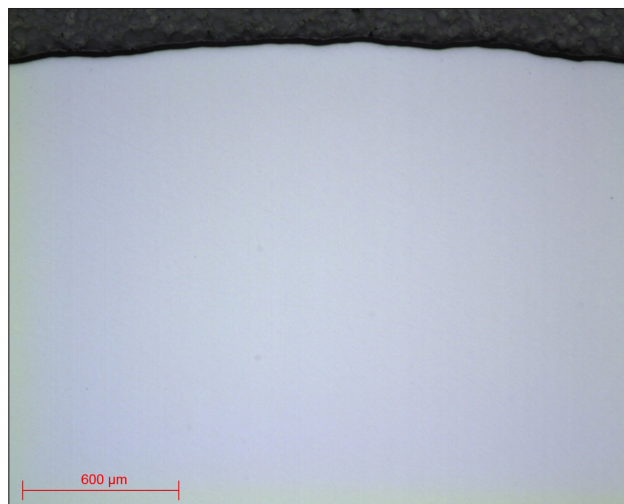
Micrographie 20 : Etat de surface TISSEDIAM 20µm obj x5



Micrographie 21 : Etat de surface TOP 9µm obj x5



Micrographie 22 : Etat de surface NWF+ 3µm obj x5



Micrographie 23 : Etat de surface SPM obj x5

## Gamme N°6

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 P1200	Ø / Eau	300	150	→ →	1'
3	STA	3µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	5'
4	NT	Al2O3 n°1 / Eau	150	100	→ ←	1'

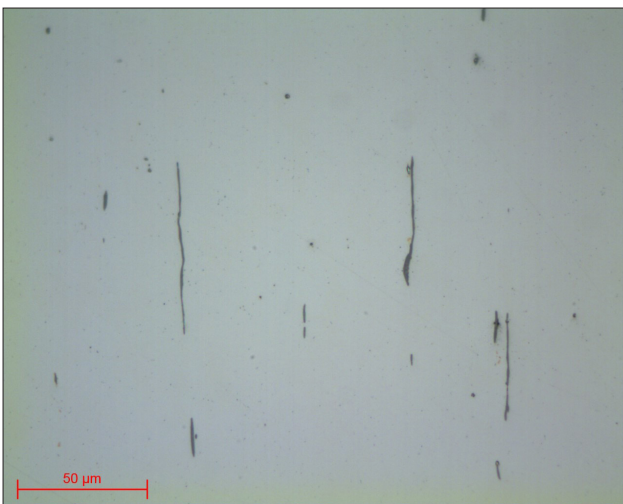
Toutes les gammes de polissage renseignées ci-dessus sont des gammes standards et polyvalentes qui peuvent être modifiées en fonction des subtilités des échantillons. (Cf Lab'Notes du matériau associé).

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

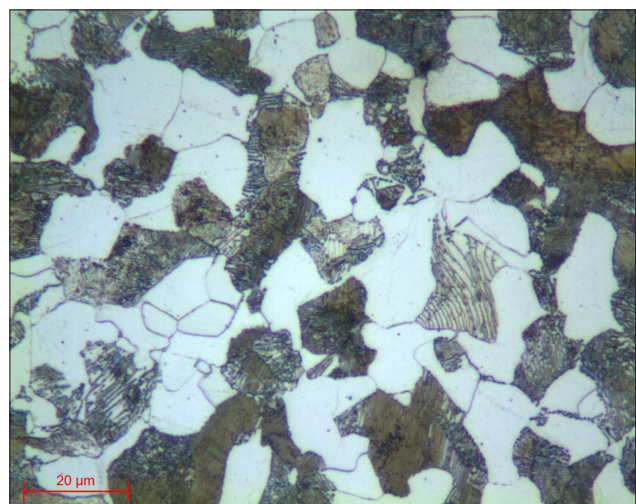
A l'issue de cette préparation, les échantillons polis peuvent être observés directement sans attaque métallographique. Sinon l'attaque métallographique permet de créer des différences de relief et/ou de couleur entre les différents constituants et permet leur observation. Elle se pratique majoritairement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

## MICROSCOPIE

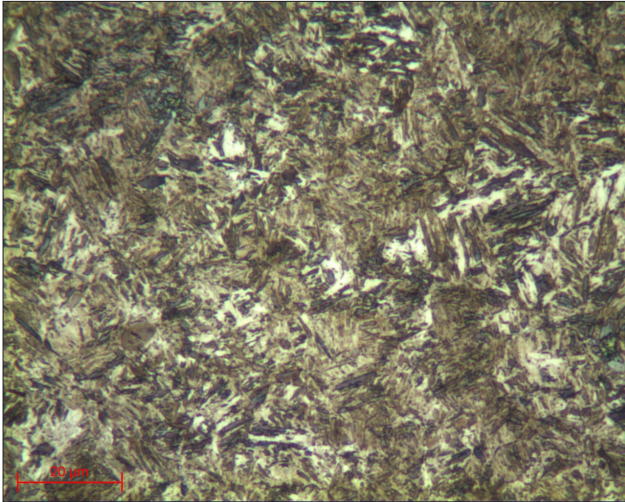
Les micrographies présentées ont été réalisées au moyen du logiciel **PRESI VIEW** :



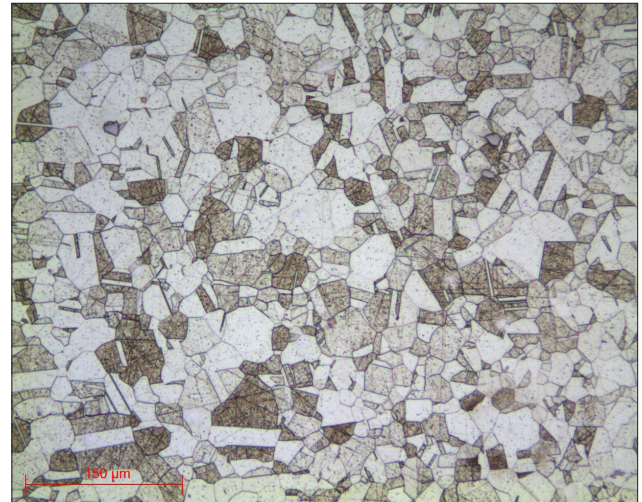
Micrographie 24 :  
Acier bas carbone, poli jusqu'à Al2O3 N°3  
Observation d'inclusions type sulfure et silicate obj x50



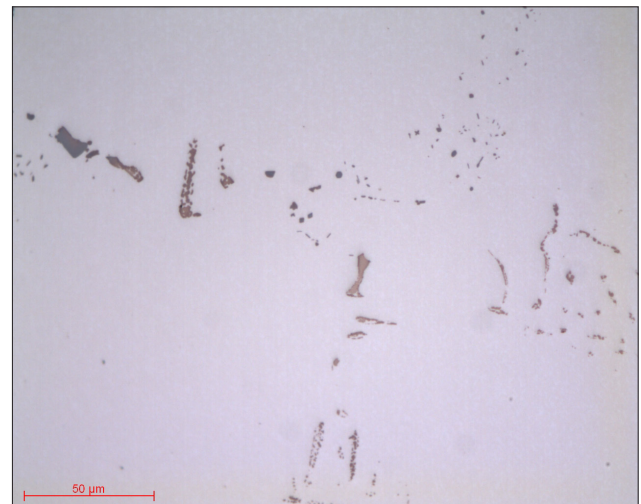
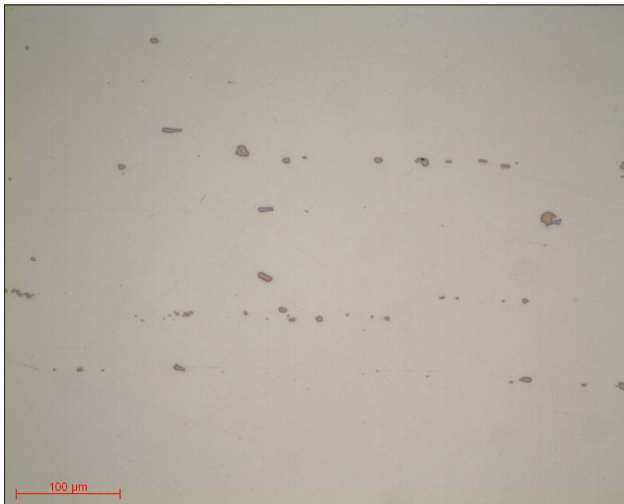
Micrographie 25 : Acier hypoeutectoïde - Ferrite et Perlite  
Attaqué au NITAL 4 obj x100



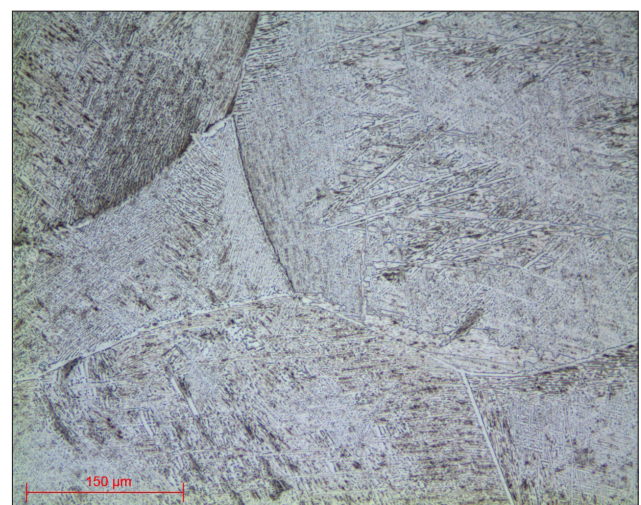
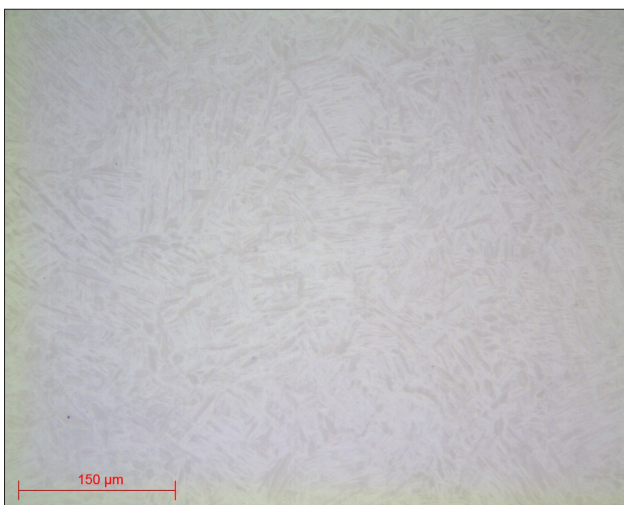
Micrographie 26 : Acier traité – Martensite et Bainite  
Attaqué au NITAL 4 obj x50



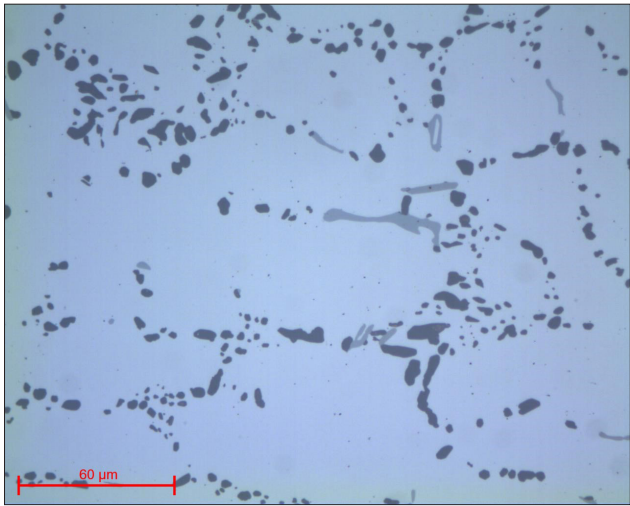
Micrographie 27 : Acier inoxydable, attaqué avec  
ADLER obj x20



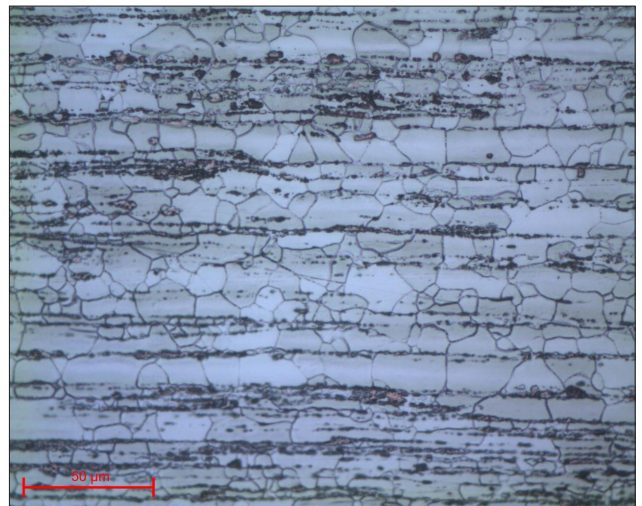
Micrographies 28 et 29 :  
Superalliages base nickel, polis jusqu'au SPM obj x20 et obj x50



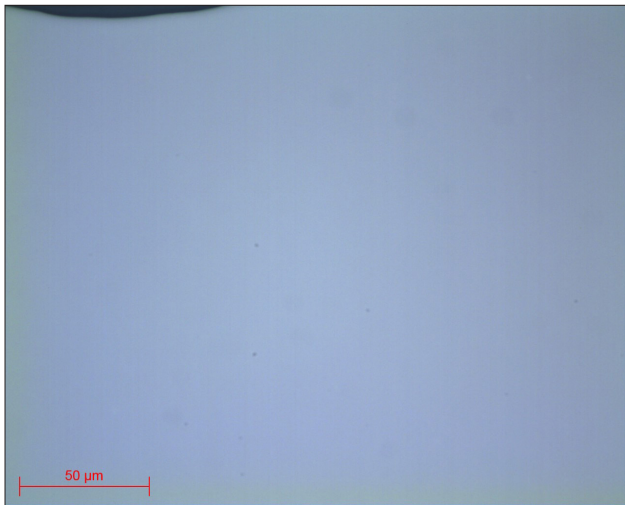
Micrographies 30 et 31 :  
Alliage de titane traité, poli jusqu'au SPM et attaqué à l'aide de KROLL obj x20



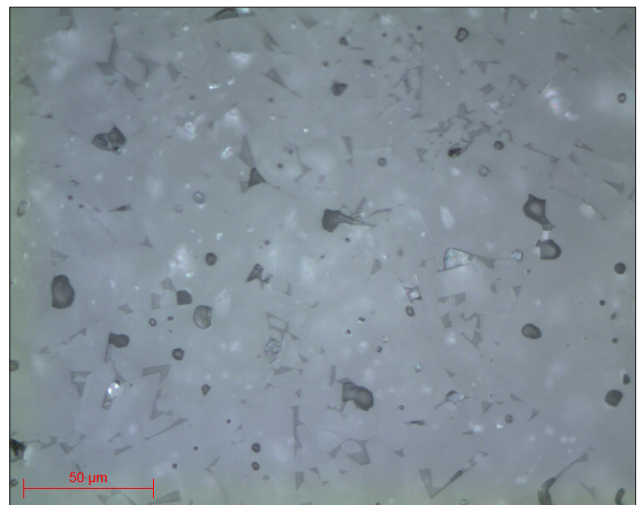
Micrographie 32 : Alliage d'aluminium, poli jusqu'au SPM obj x50



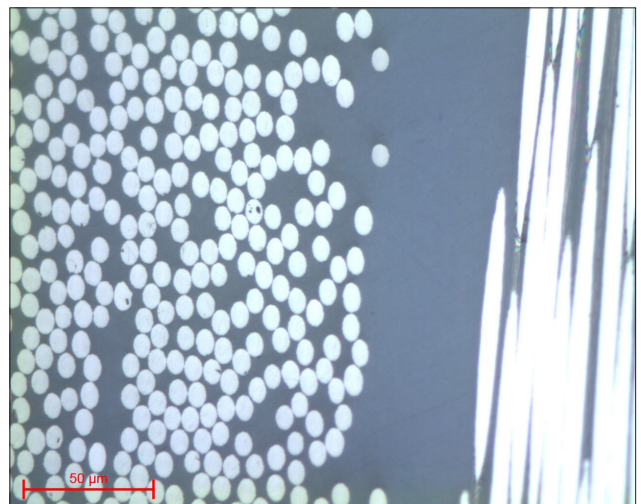
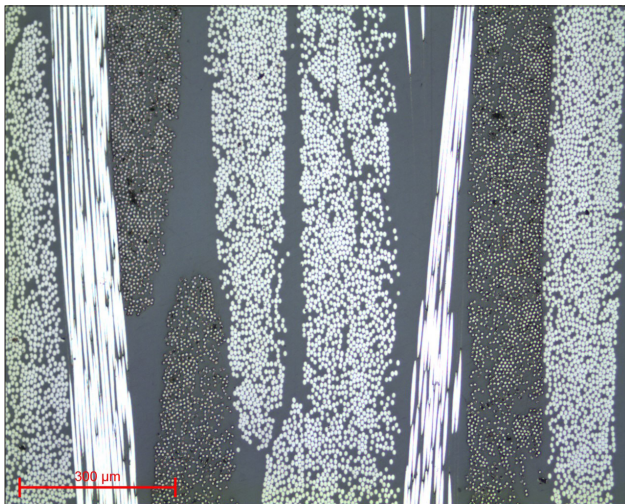
Micrographie 33 : Alliage d'aluminium, attaqué avec KELLER obj x50



Micrographie 34 : Zircone (ZrO2) obj x50



Micrographie 35 : Alumine (Al2O3) obj x50



Micrographie 36 et 37 : Composite obj x10 et x50