



RENAULT NISSAN MITSUBISHI

Séminaire cold spray

Etude des propriétés tribologiques d'un revêtement composite
métal-céramique-lubrifiant solide obtenu par projection
dynamique par gaz froid « cold spray »

Encadrants:

The logo for LTDS (Laboratoire Tribologie et Dynamique des Surfaces), featuring the letters 'LTDS' in blue with horizontal lines.



The logo for irCer (Institut de recherche sur les céramiques), featuring the text 'irCer' in a bold, sans-serif font with 'institut de recherche sur les céramiques' in smaller text below.

Mines Paristech:

Jean-François Hochepped
Francesco Delloro

Renault:

Elodie Bonay

Glwadys GARCIN

11/03/2021



SOMMAIRE

- 1. Contexte et objectifs**
- 2. Essais de projection**
- 3. Essais tribologiques**
- 4. Conclusions et perspectives**



Contexte et objectifs

Contexte industriel et objectifs

→ Volonté de réduire les émissions de CO₂ dans l'industrie automobile

Deux principaux moyens mis en œuvre:

⇒ Réduction de la masse

⇒ Réduction des frottements

Objectif:

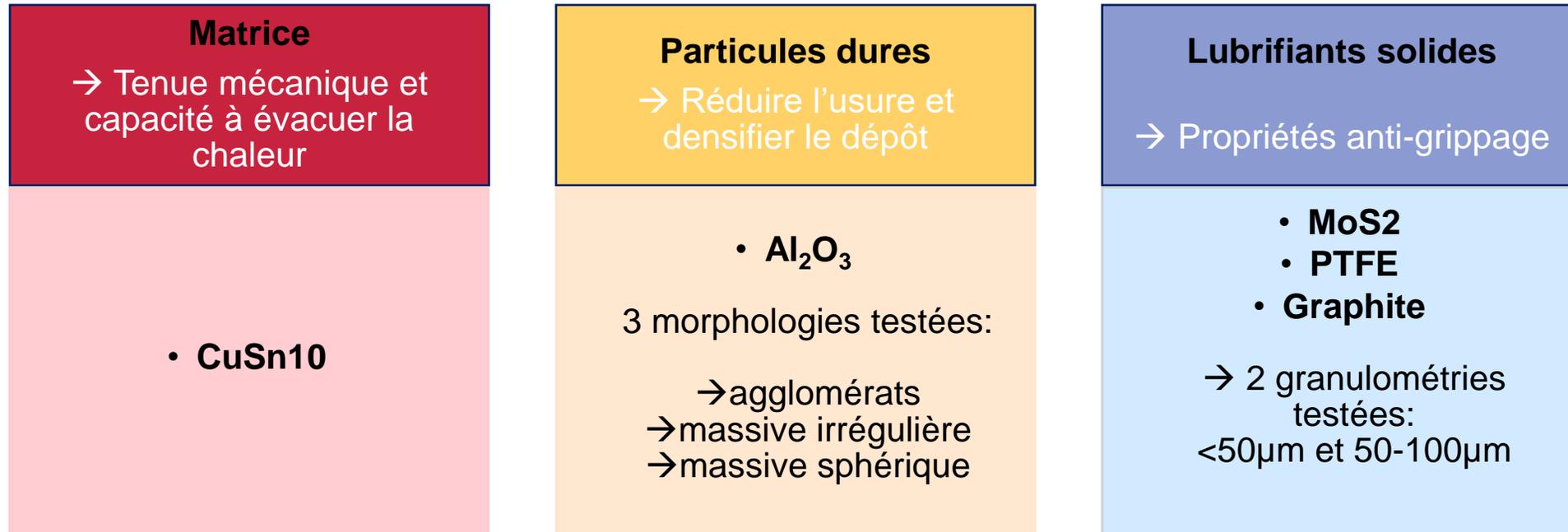
Mise au point d'un revêtement pour remplacer une pièce moteur fortement sollicitée

⇒ Nécessité d'avoir une bonne résistance au grippage, à l'usure et en fatigue.

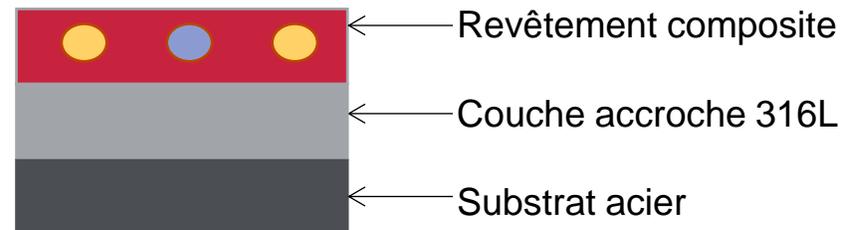
⇒ Revêtement composite envisagé métal-céramique-lubrifiant solide



Matériaux



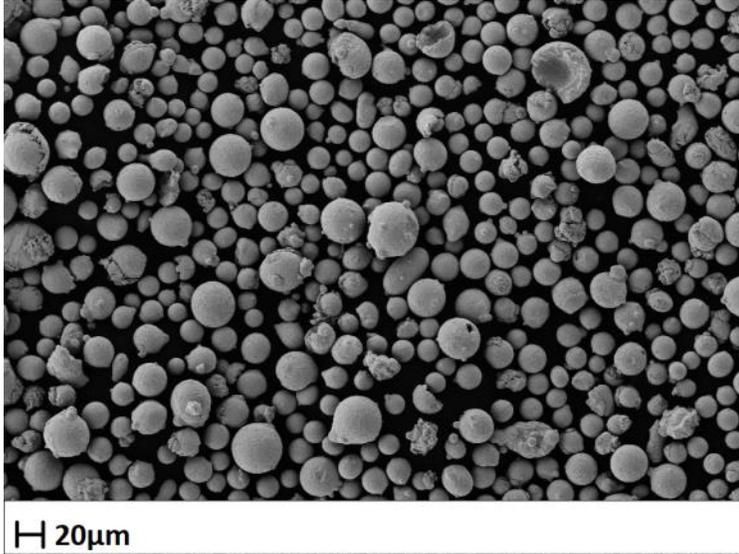
Structure de revêtement pour les essais tribologiques:





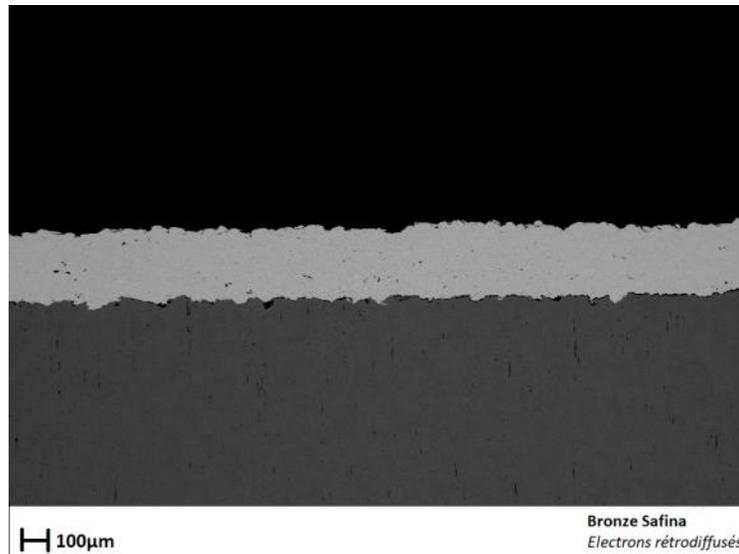
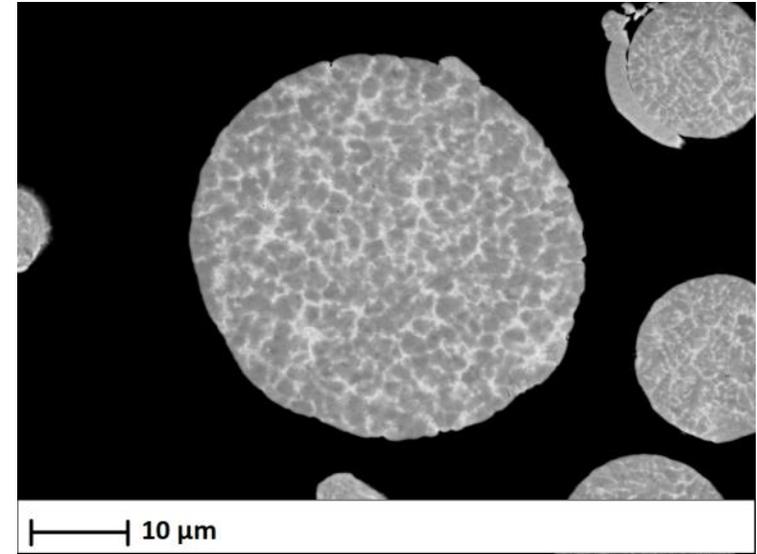
Essais de projection

Dépôts de bronze:

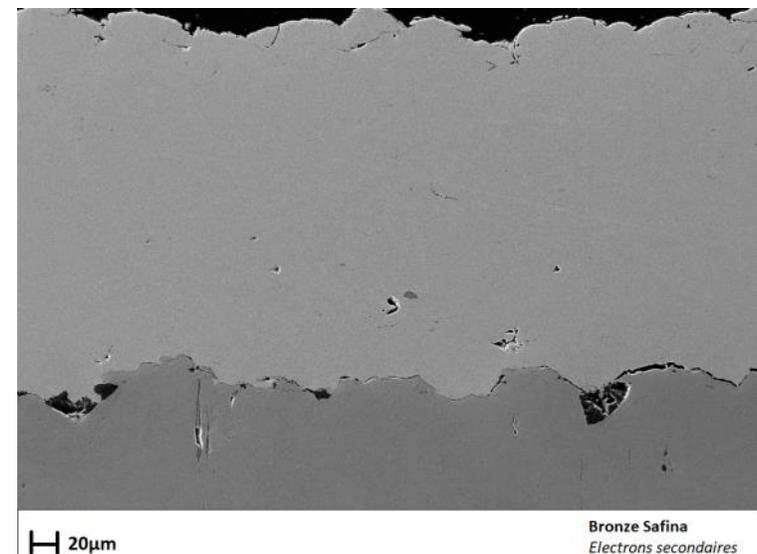


- Bronze CuSn10
- Granulométrie:
-32+15μm; d50=24μm
- Dureté: 171 +/- 6 HV0,01

Conditions de projection:
pression 4 MPa
température 800°C
distance de projection 30 mm



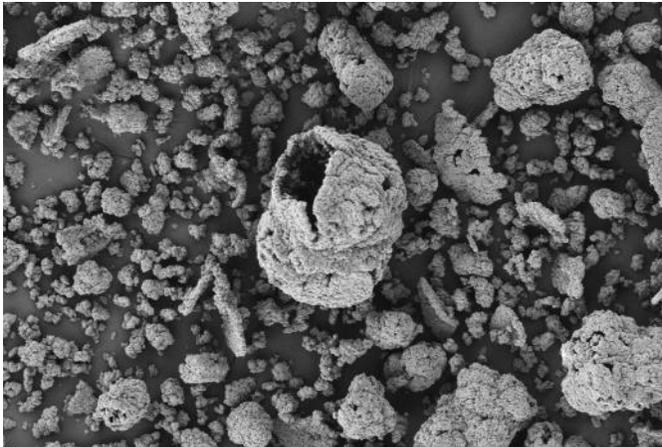
- Rendement de projection: 60%
- Taux de porosité: 0,3%
- Dureté: 271 +/- 3 HV0,3
- Adhérence: 17 MPa (essai plot collé)



Ajouts d' Al_2O_3 _ 5%vol

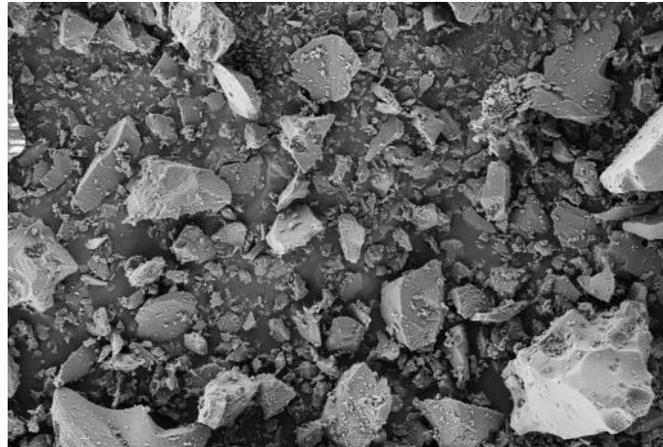
→ Trois morphologies testées

Agglomérats



20 μm

Massive irrégulière



10 μm

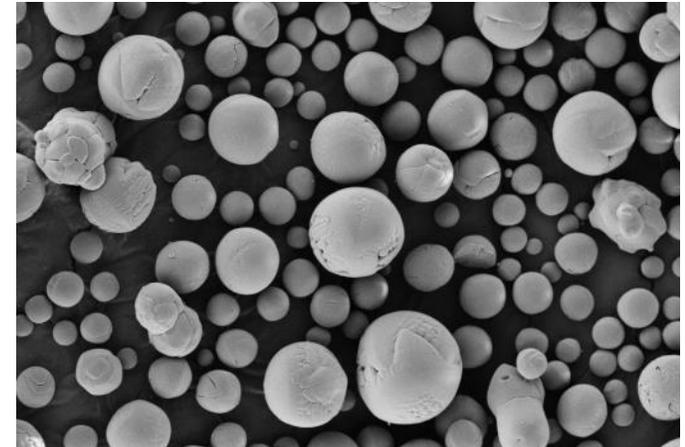


Al_2O_3

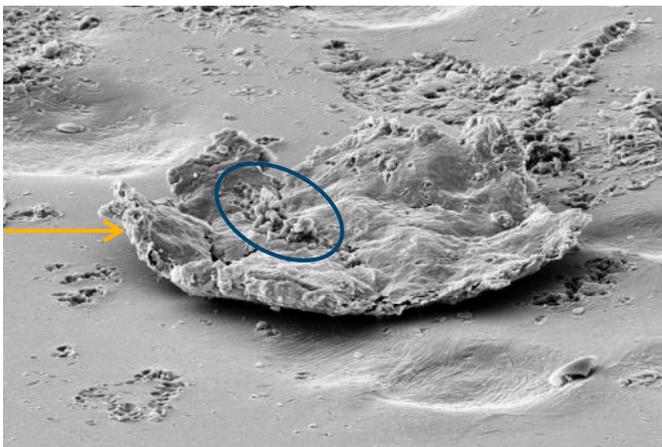


Splat bronze

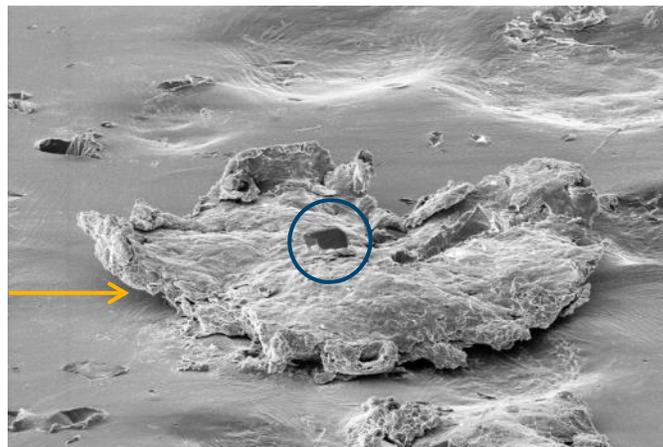
Massive sphérique



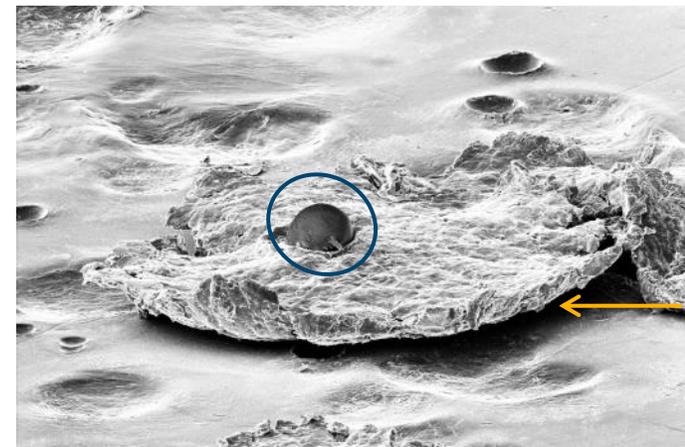
10 μm



2 μm



2 μm

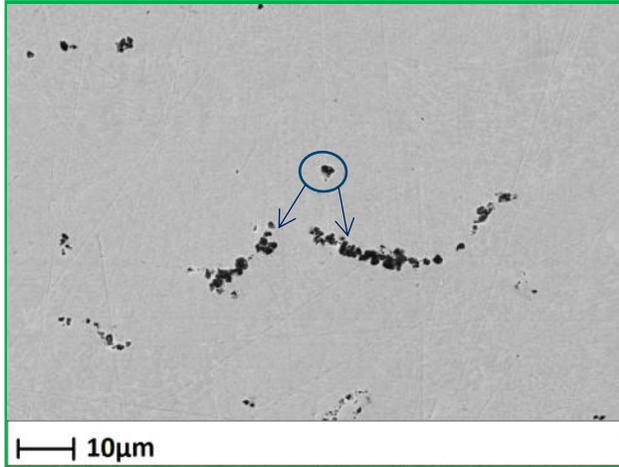


10 μm

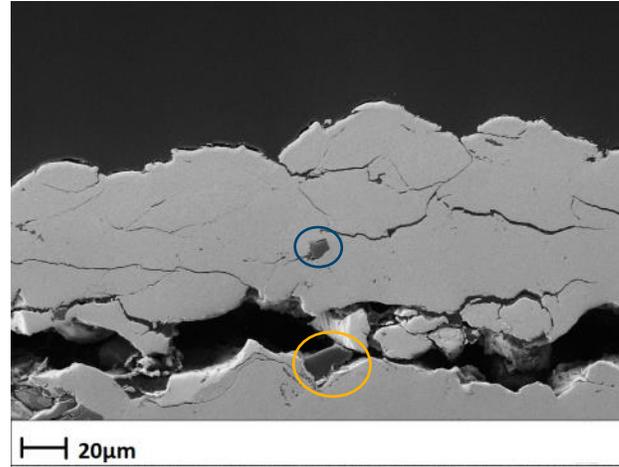
Ajouts d'Al₂O₃ _ dépôts bronze + 5%vol Al₂O₃

- Al₂O₃
- Al₂O₃ sablage

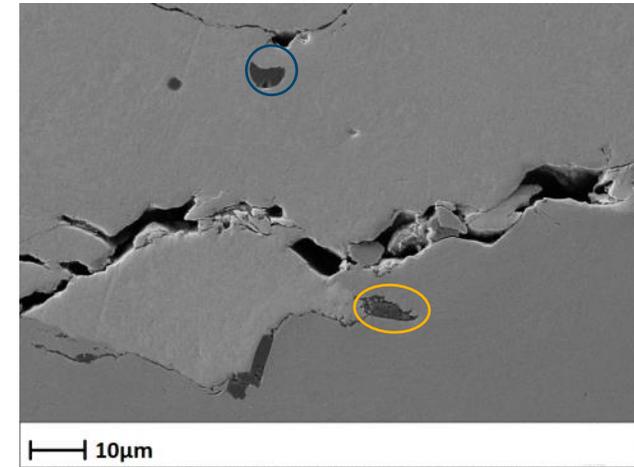
Agglomérats



Massive irrégulière

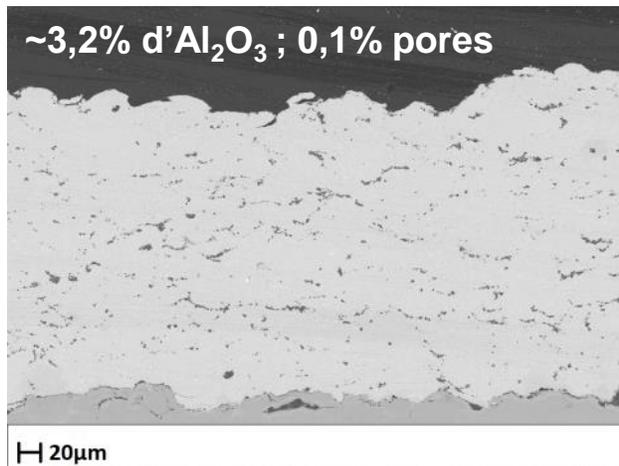


Massive sphérique

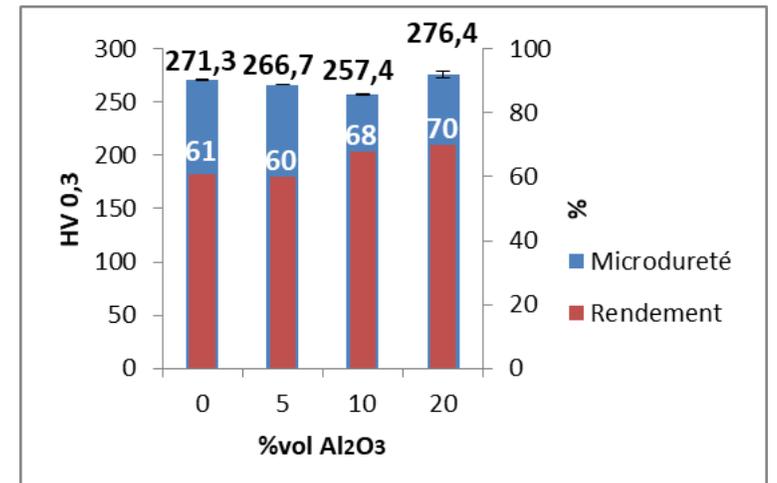
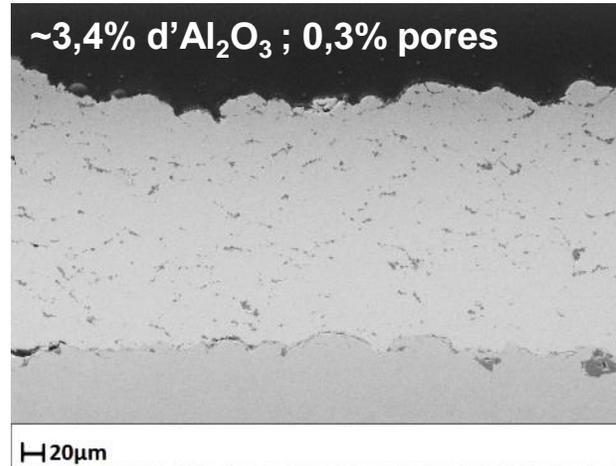


Variation pourcentage d'Al₂O₃:

10%vol



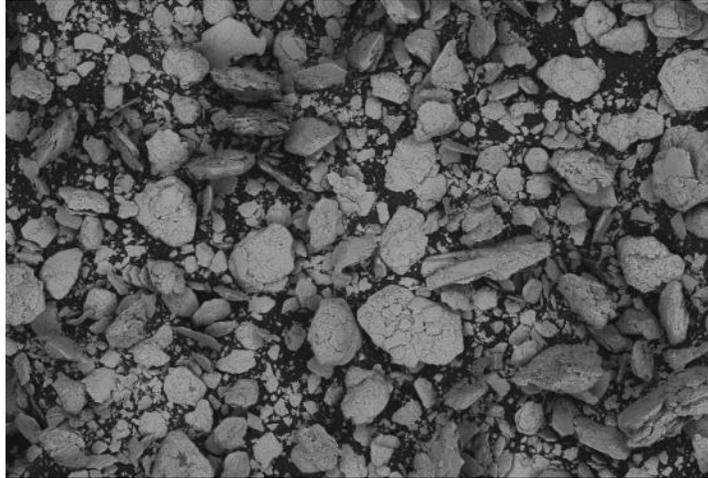
20%vol



Ajouts de lubrifiants solides 5%vol

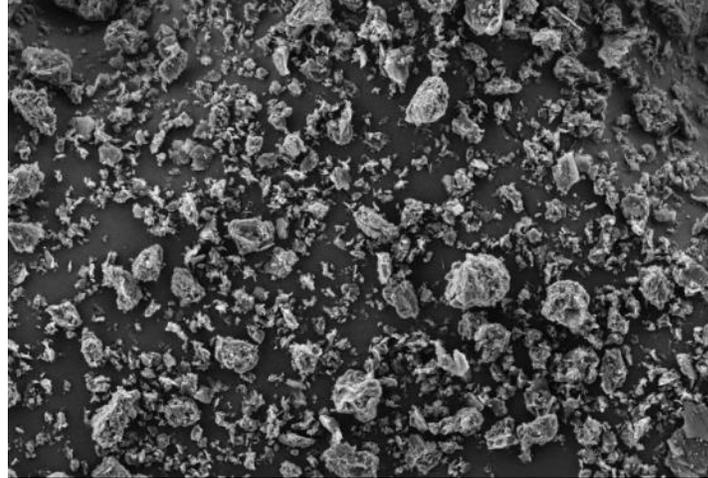
- Graphite
- PTFE

MoS₂



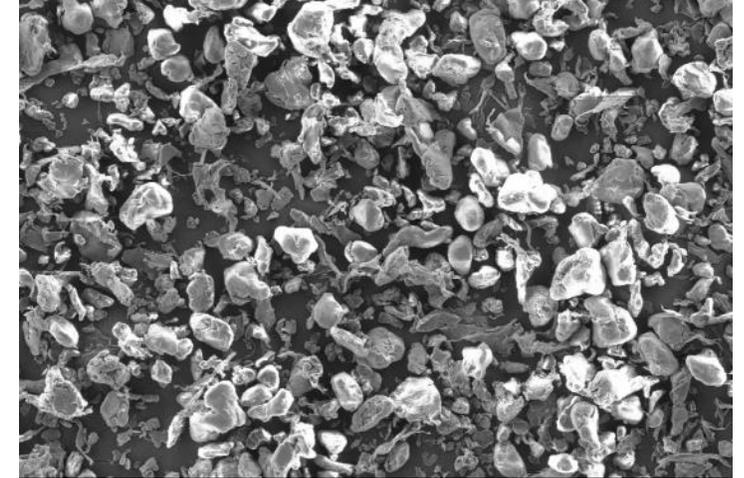
20µm

Graphite

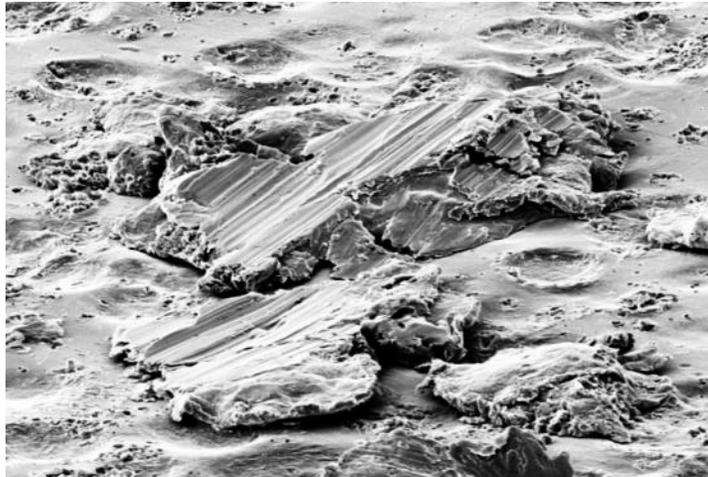


20µm

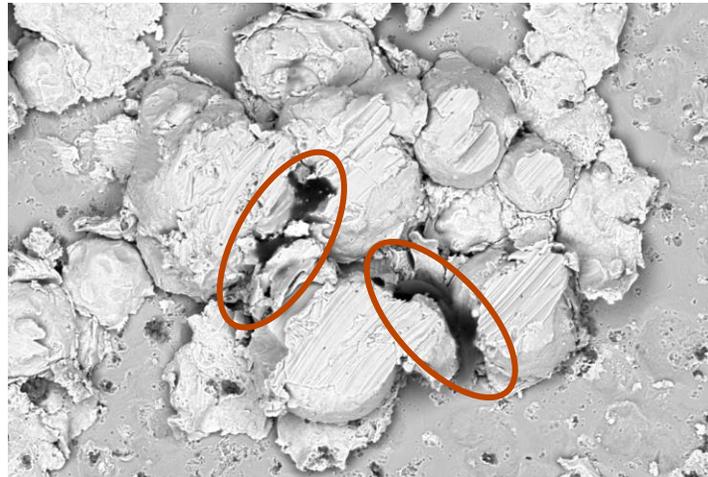
PTFE



20µm



10µm



10µm



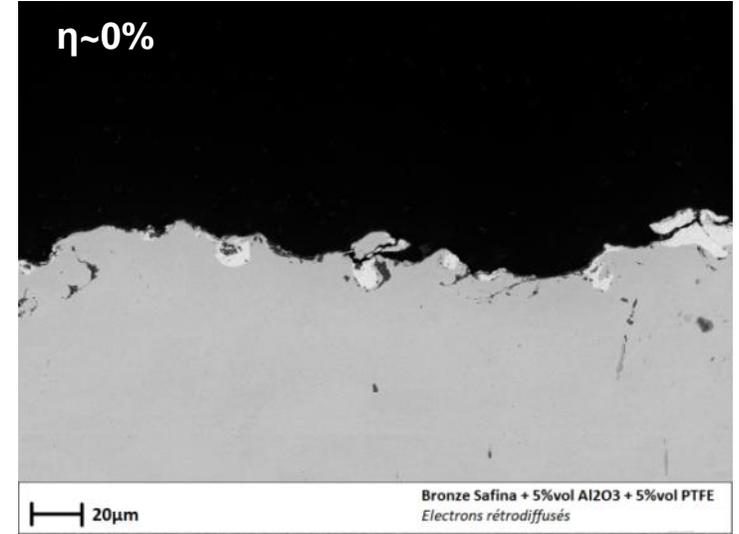
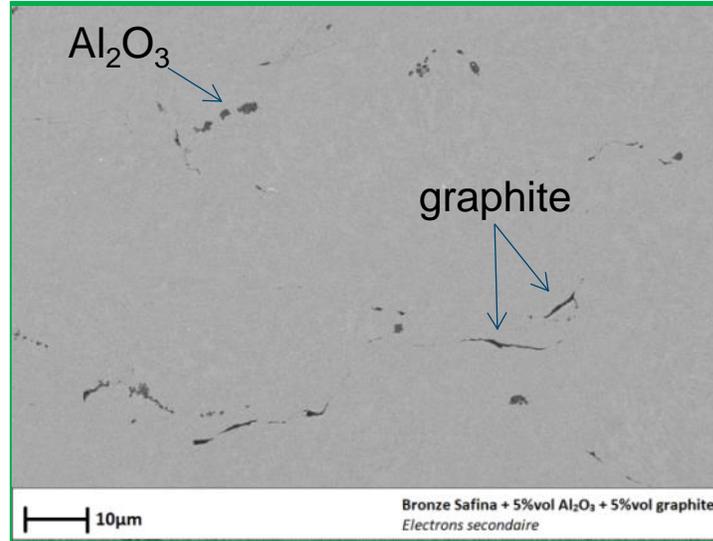
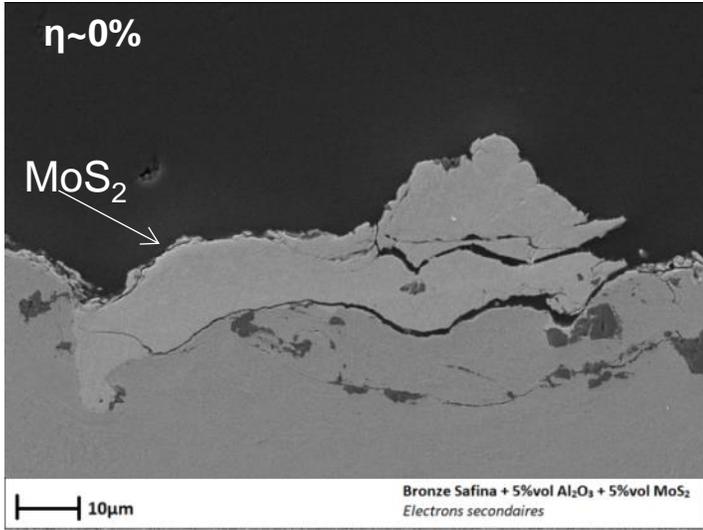
10µm

Dépôts bronze + lubrifiants solides 5%vol

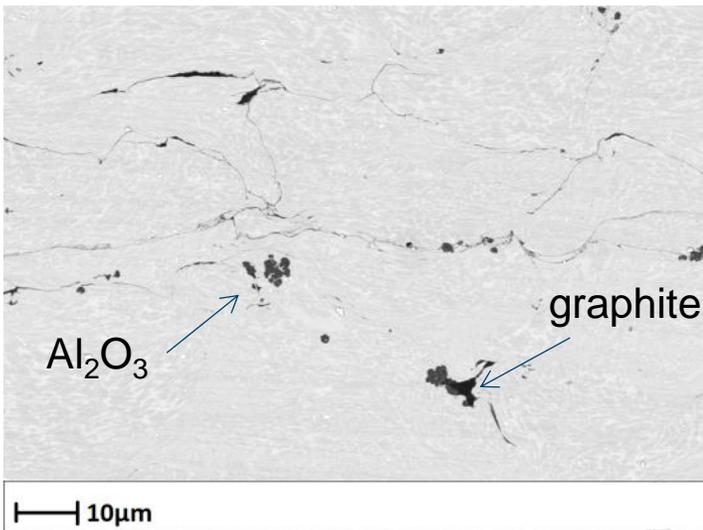
MoS₂

Graphite (<50µm)

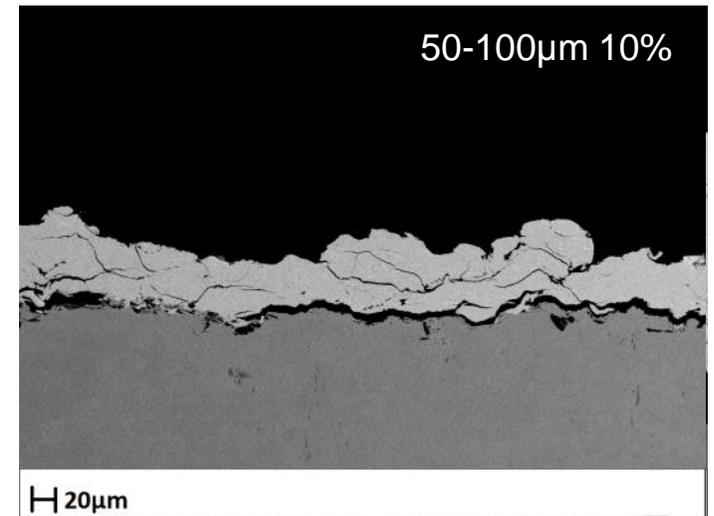
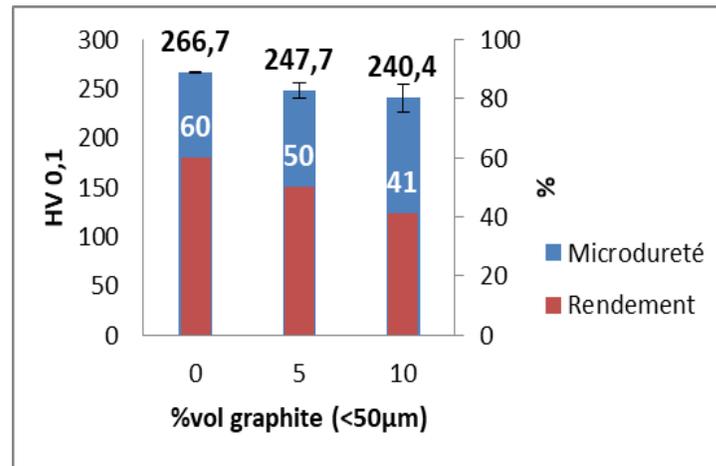
PTFE



Variation pourcentage de graphite:
10%vol



Variation granulométrie du graphite:



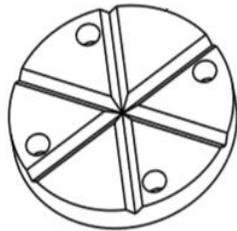


Essais tribologiques

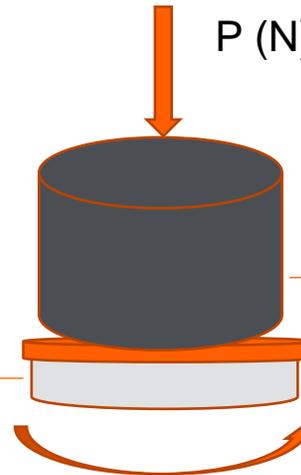
Essai screener

LTDS

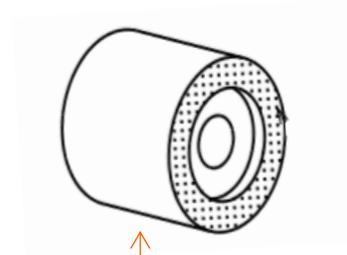
Disque:
Acier inoxydable



P (N)



w (tr/min)

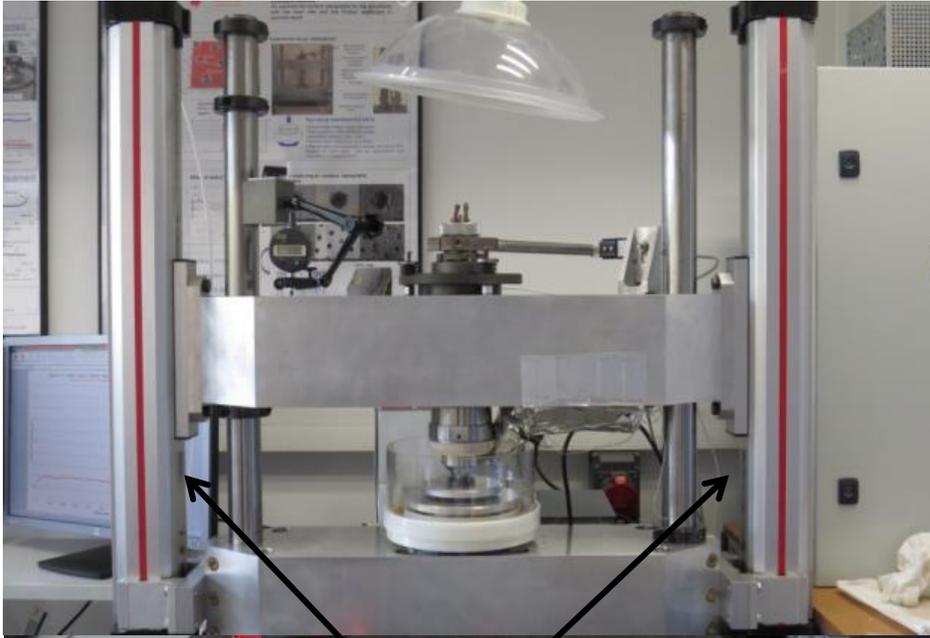


Couronne:
Acier

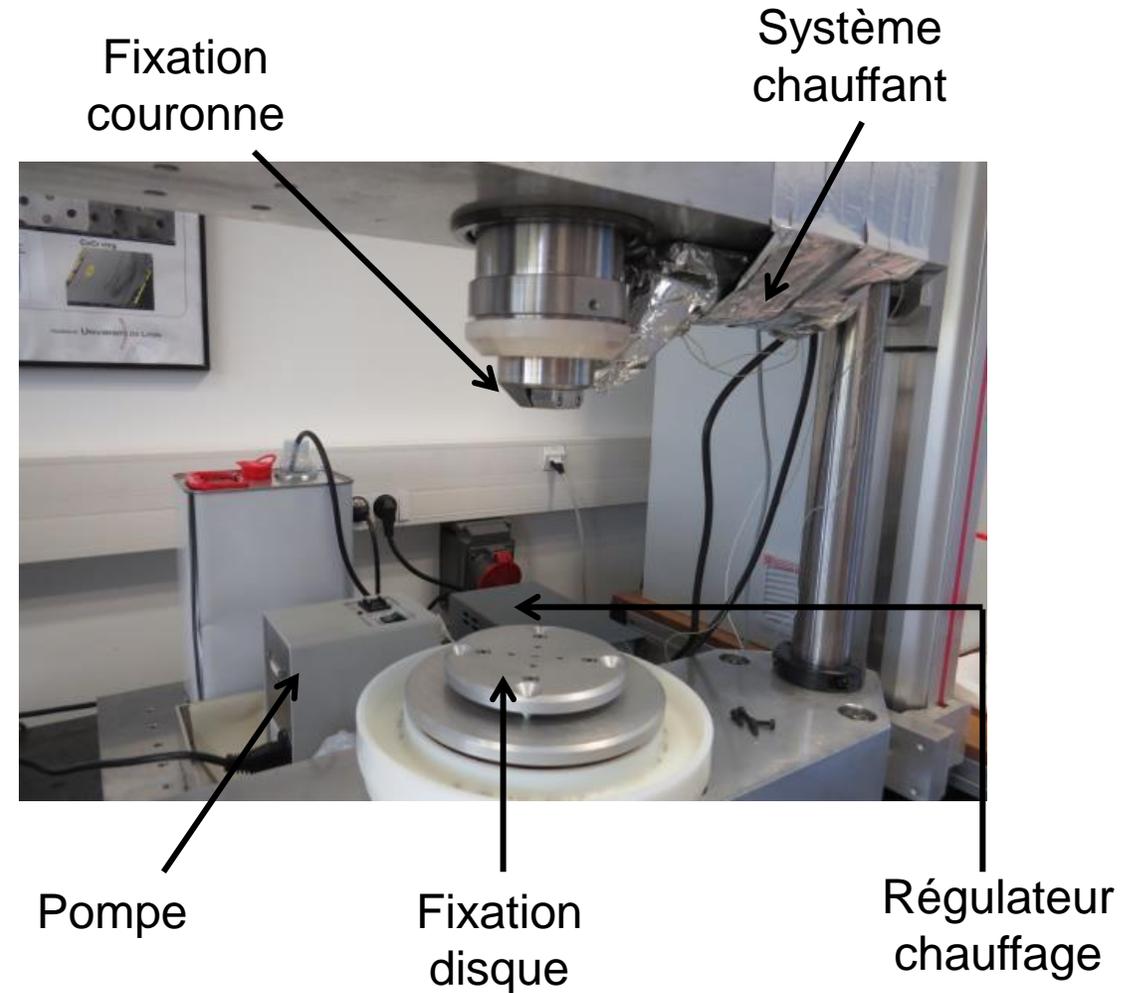
Film d'huile:
Lubrification mixte

Essai screener couronne sur disque

Présentation de l'essai tribologique



Vérins pneumatiques



Débit d'huile minimal utilisé : $0,276 \text{ L.h}^{-1}$

Essais tribologiques réalisés

→ Mise en évidence de l'influence des différents composants du revêtement composite:

%vol du mélange	Bronze	graphite	Al ₂ O ₃
B	100		
BG	95	5	
BAI	95		5
BGAI	90	5	5
BGAI10	85	5	10
BG10AI	85	10	5

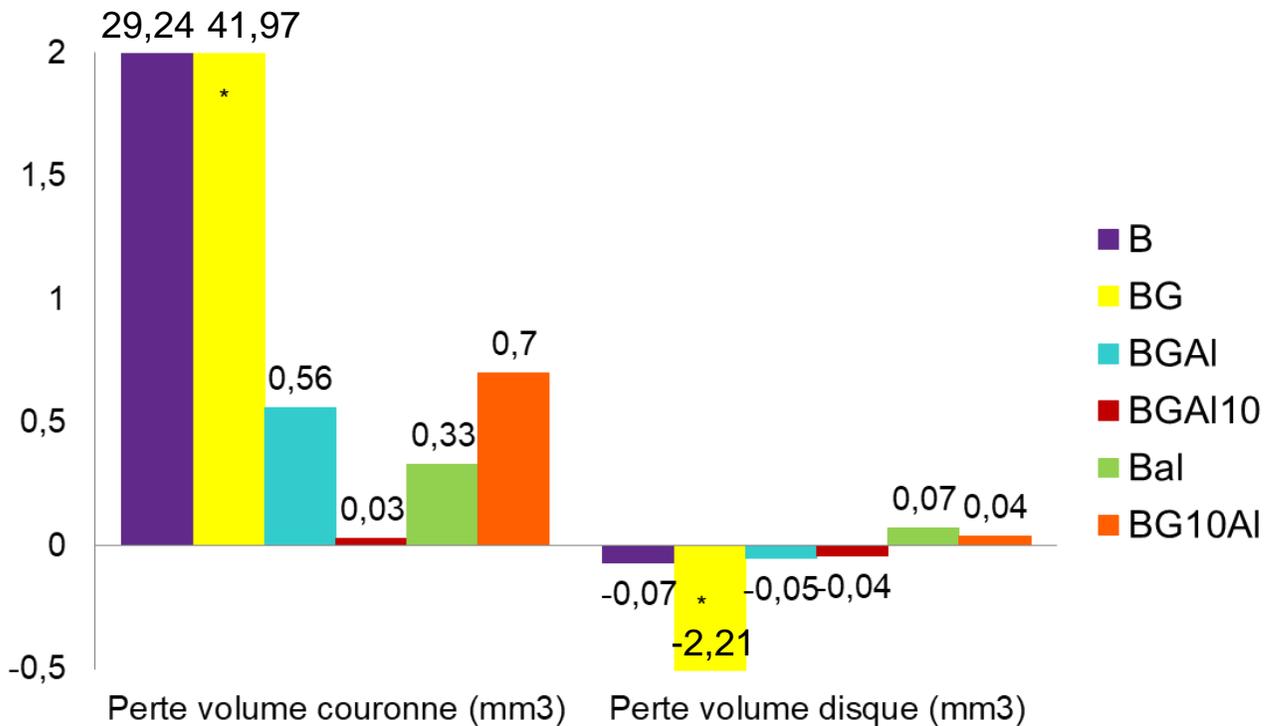
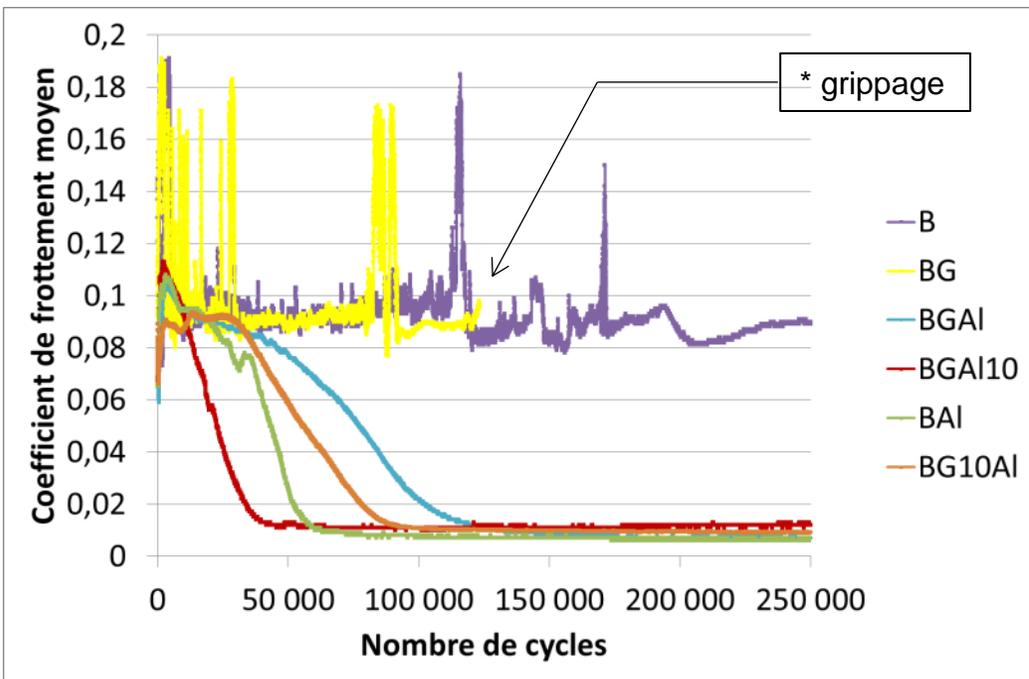
→ Influence de la charge appliquée:

P = pression générée dans le contact pour l'application industrielle

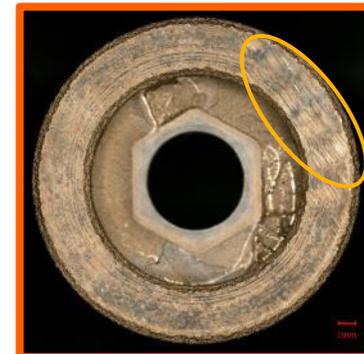
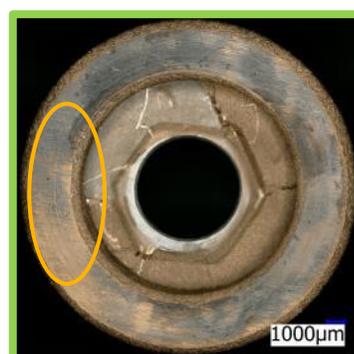
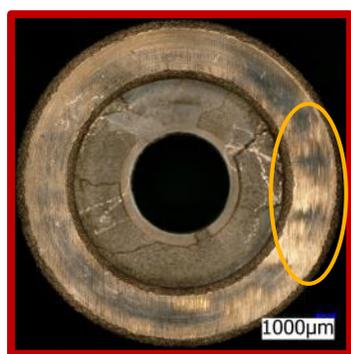
- Charge C1 => 50%P
- Charge C2 => 87,5%P

Influence des composants et de l'état de surface

C1- 1000 rpm - 110°C - 250 000 cycles

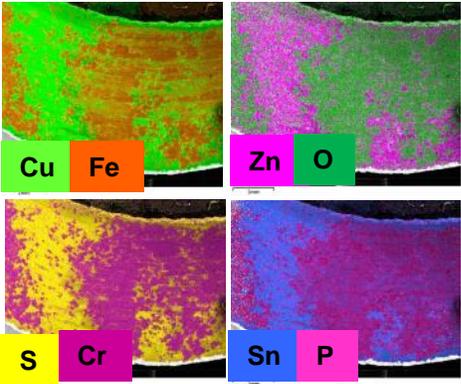
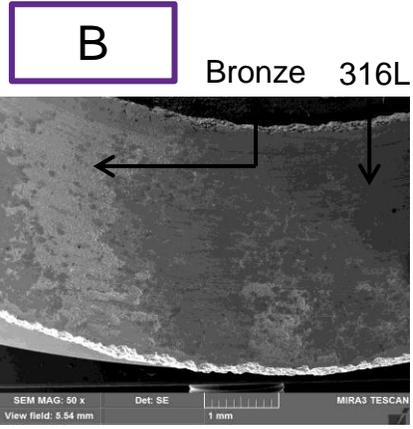


Traces de rectification

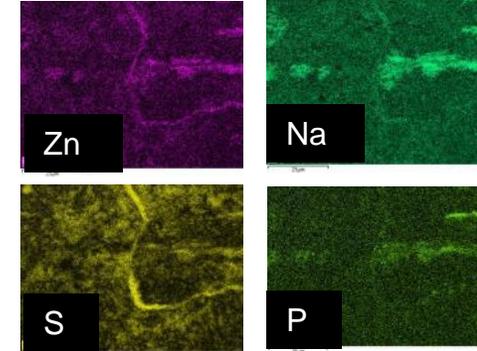
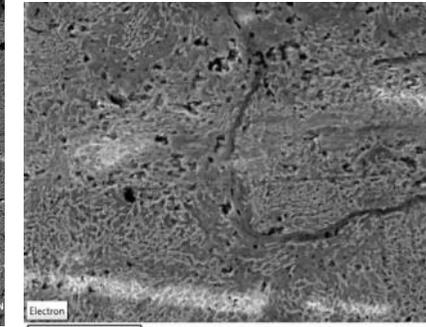
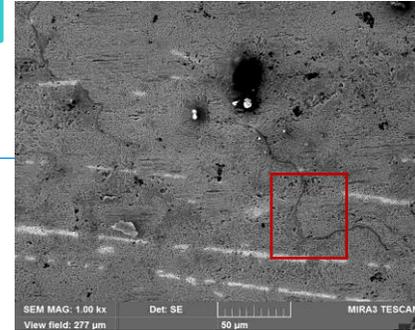


Analyses des surfaces et en coupe

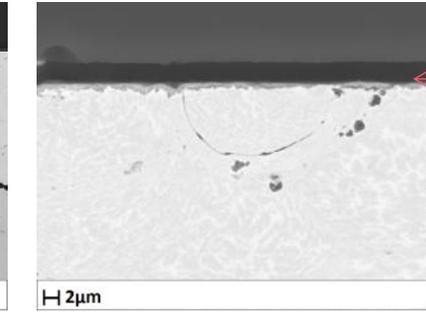
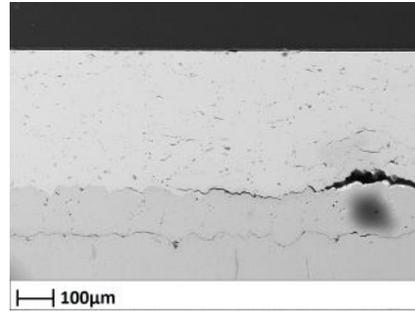
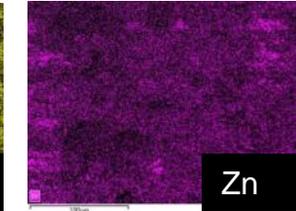
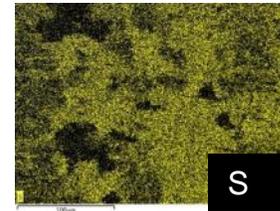
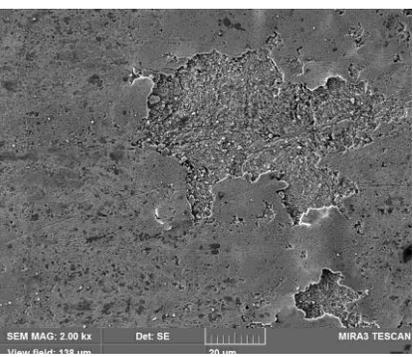
Essais à faible charge C1- 1000 rpm - 110°C - 250 000 cycles



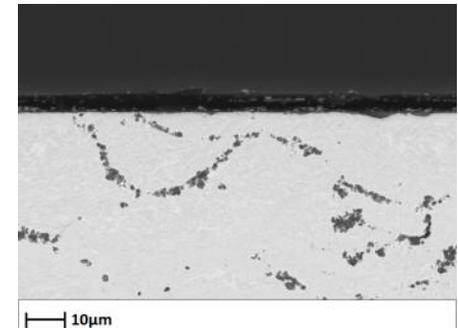
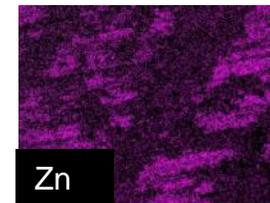
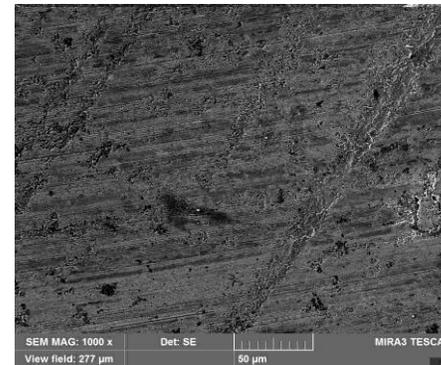
BGAI



BAI



BGAI10

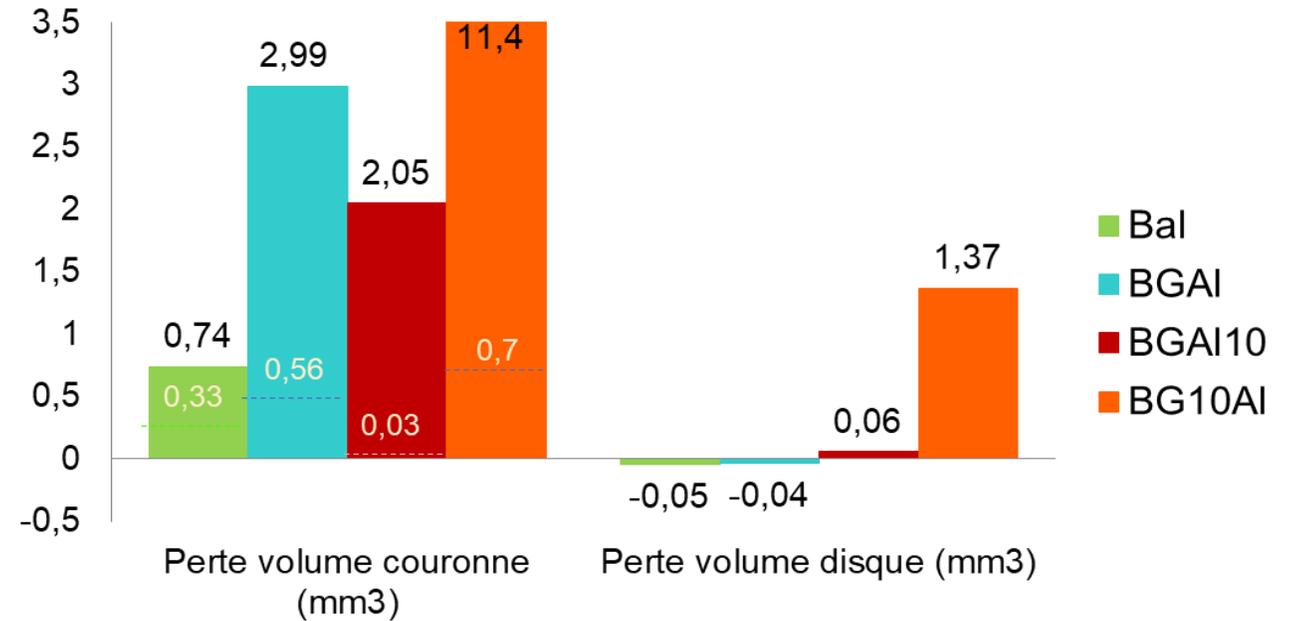
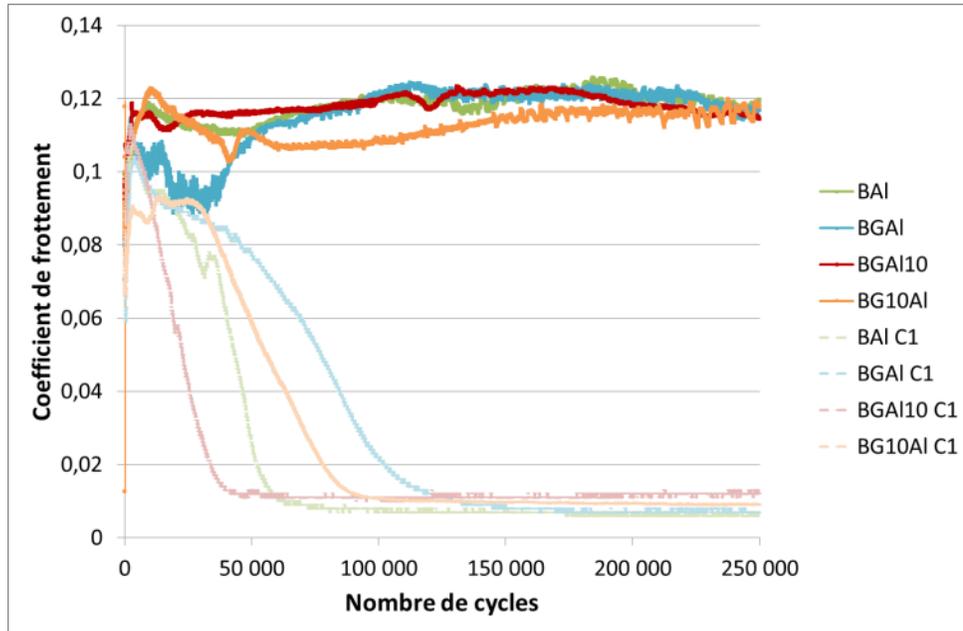


⇒ Présence d'éléments tribochimiques en surface.
 Tribofilm riche en S, Zn, P, Na, Ca mis en évidence pour BGAI

Influence de la charge appliquée pour les revêtements avec Al_2O_3

C2 – 500 rpm – 20°C – 250 000 cycles

→ Réduction de la vitesse de rotation du disque et huile non préchauffée afin de réduire les effets de la température et les problèmes de surchauffe au niveau du contact.





Conclusions et perspectives

Projection cold spray

Ajout d' Al_2O_3

- **Agglomérats favorables:**
 - Erosion des particules massives
- **Proportions augmentées:**
 - ↗ rendement, ↘ porosité
- **Micro-dureté non affectée:**
 - Energie cinétique plus faible
 - En partie consommée par la fragmentation
 - Réduction effet de martelage

Ajout de graphite

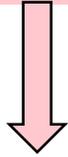
- **Proportions augmentées:**
 - ↘ rendement et micro-dureté
- **Granulométrie 50-100 μm non adaptée:**
 - Délaminations, problèmes d'adhérence

Ajout de MoS_2 / PTFE

- **MoS_2 :**
 - Fragmentation à l'impact
- **PTFE:**
 - Paramètres de projection trop sévères pour le polymère

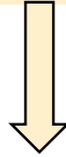
Essais tribologiques:

Essais faible charge:



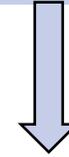
- Coefficient de frottement et usure réduits avec l'ajout d' Al_2O_3
- Intérêt du graphite non mis en évidence

Essais forte charge:



- Coefficient de frottement stable, non influencé par la proportion d' Al_2O_3
- Usure favorisée par l'ajout de graphite

Eléments tribochimiques:



- Additifs de l'huile mis en évidence à la surface du revêtement
- Tribofilm formé au cours de l'essai
→ favorise un faible coefficient de frottement et une faible usure

Perspectives

Essais tribologiques:

- Augmentation des proportions d' Al_2O_3 sans graphite
- ⇒ 10%vol et 20%vol
- ⇒ Influence des proportions d' Al_2O_3 à faible et forte charge

Caractérisations:

- Analyse XPS en surface
- ⇒ Analyse composition chimique en surface plus précise

Revêtements:

- Solution à base polymère envisagée
- Réalisation de revêtements à base PEEK avec et sans additifs.

MERCI