

Journée scientifique du 19 septembre 2019

Thématique M3S: Mécanique et Morphologie Multi-échelles des Surfaces

Caractérisation des surfaces fonctionnalisées : projet Interreg V Transport



Stephania Kossman (Arts et Métiers)
stephania.kossman@ensam.eu

Contexte projet Interreg V Transport

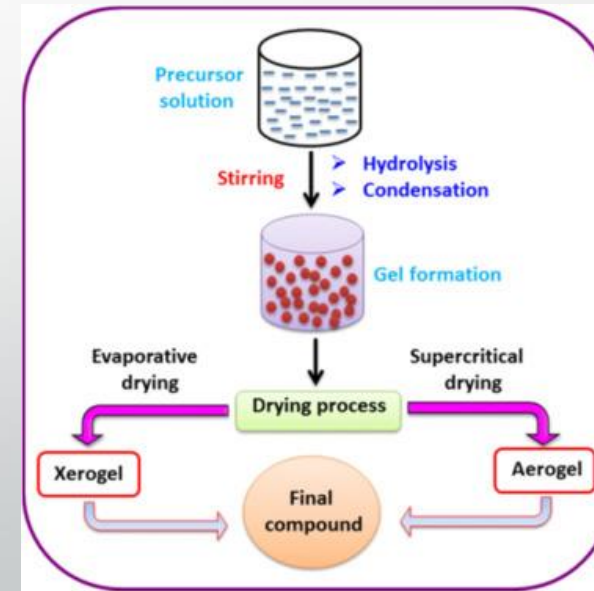
Développement de revêtements sol-gel pour augmenter la longévité et la fiabilité des pièces métalliques soumises au frottement et à la corrosion.

Développement des revêtements qui correspondent aux exigences de la réglementation européenne REACH

sol-gel = solution – gélification

chimie douce, facilité de dépôt,
température de fabrication

- **Différents types** : inorganique, organique, hybride
- **Différents types de substrats** : verres, métaux, polymères
- **Nombreuses fonctionnalités** : anticorrosion, propriétés optiques, senseurs, hydrophobicité, autonettoyante, antibactérienne, coloration ...



Contexte projet Interreg V Transport

France

Belgique



UMONS
Université de Mons


MateriaNova
MATERIALS R&D CENTRE


Fédération Lilloise Mécanique
FED 4282


Université Polytechnique
HAUTS-DE-FRANCE

Substrat pour déposition du sol-gel

Choix du substrat : **acier inox 316L**

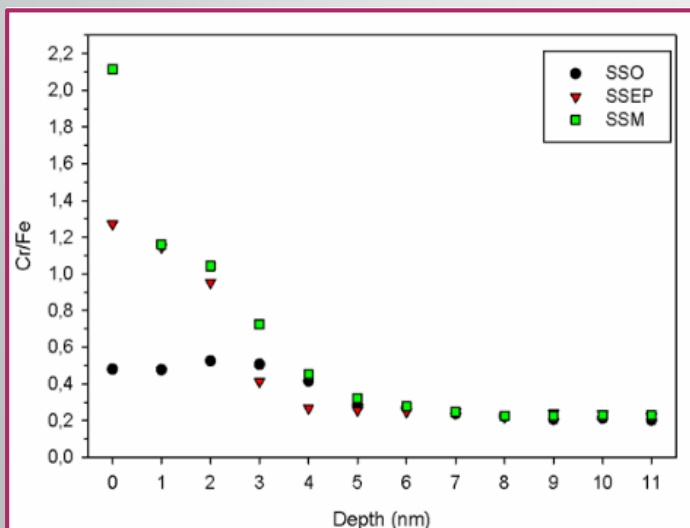


- Bonne résistance à la corrosion
- Faible rugosité
- Généralement, bonne résistance à la tribocorrosion

316L acier inoxydable → **3** traitements de surface (Packo Inox) :

- Laminé (**SSO**) : finition de surface 2B (laminage à froid, traité thermiquement, décapé, traité par *skin pass*)
- Electropoli (**SSEP**) : SSO + électropolissage
- Micro-ondulé (**SSM**) : SSO + traitement déformation plastique + électropolissage

Analyse XPS (316L)



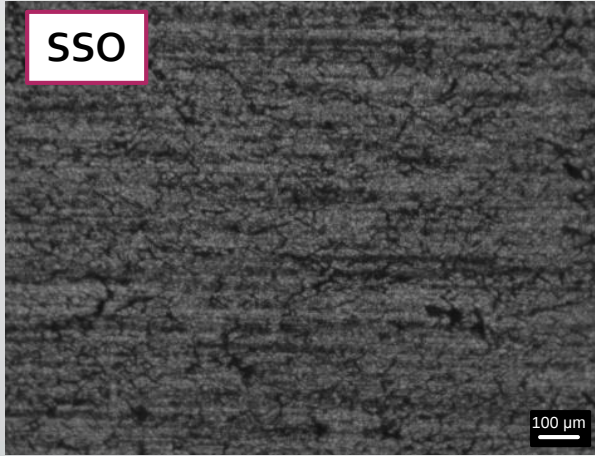
% m	Cr	Ni	Mo	Mn	C	Fe
316L	17	10,5	>2,0	<2	0,02	balance

effet de la topographie
et microstructure dans
la tribocorrosion

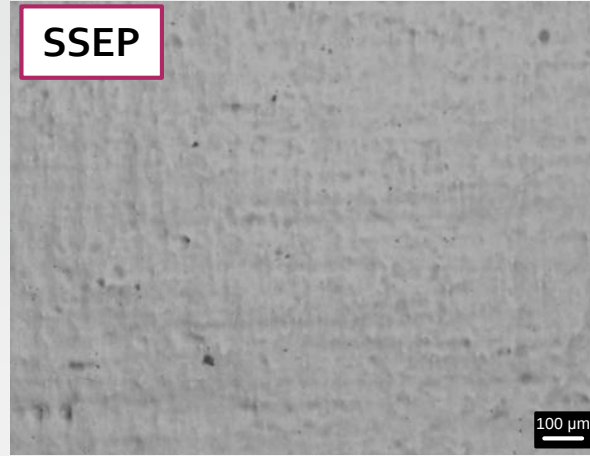
Caractérisation microstructurale (316L)

Microscopie optique

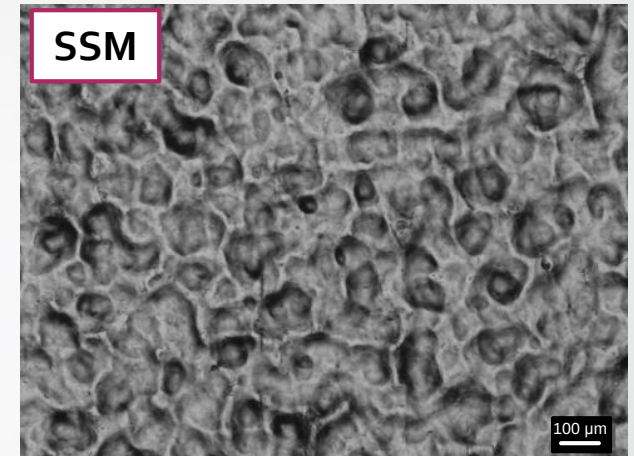
SSO



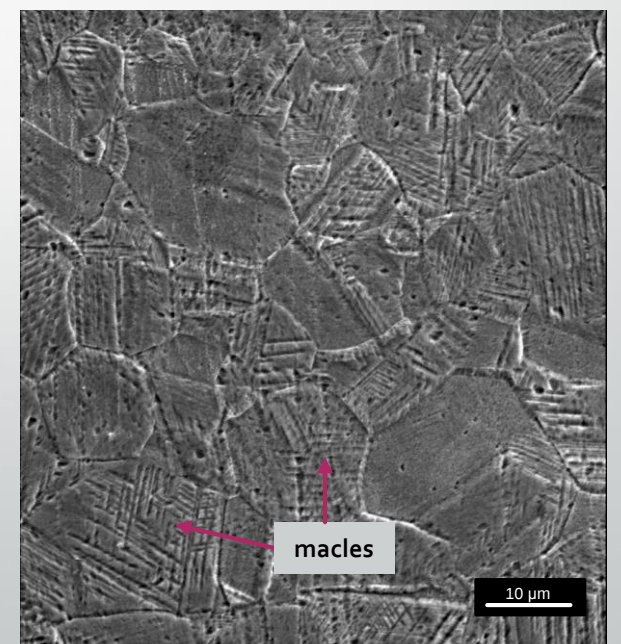
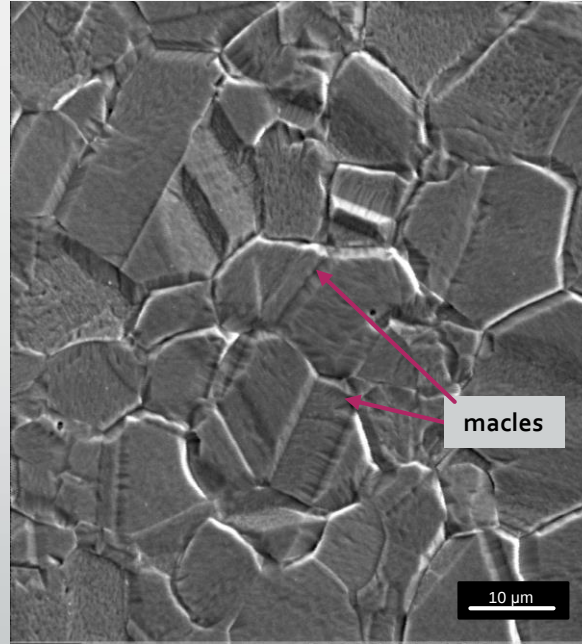
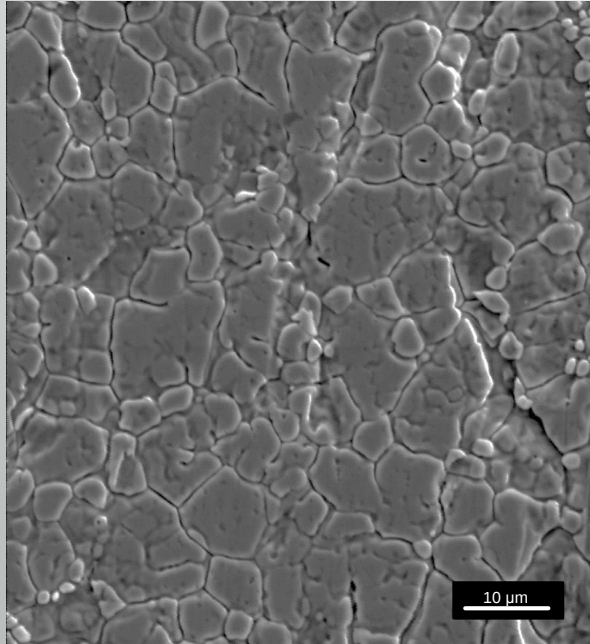
SSEP



SSM

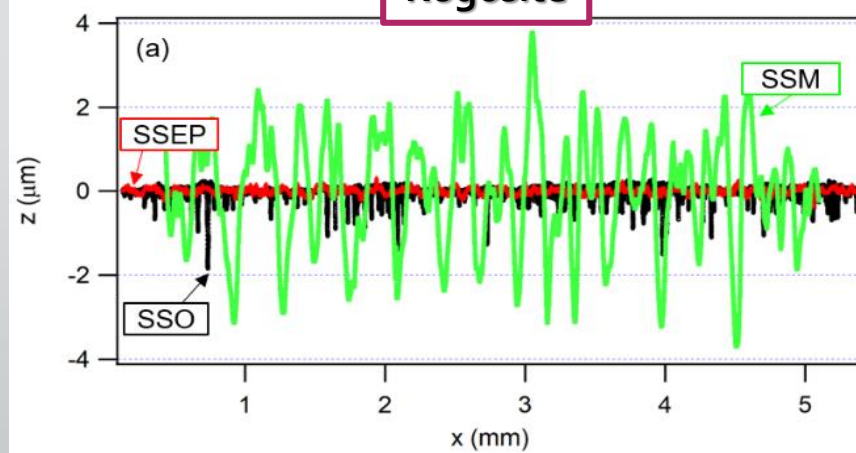


MEB

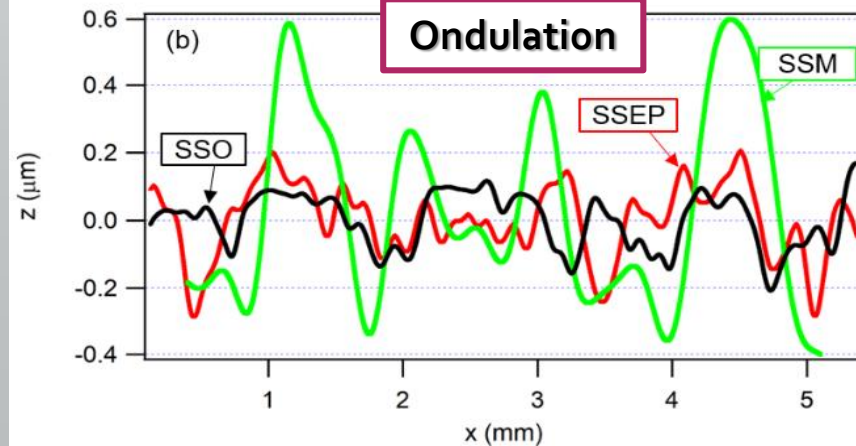


Topographie des surfaces (316L)

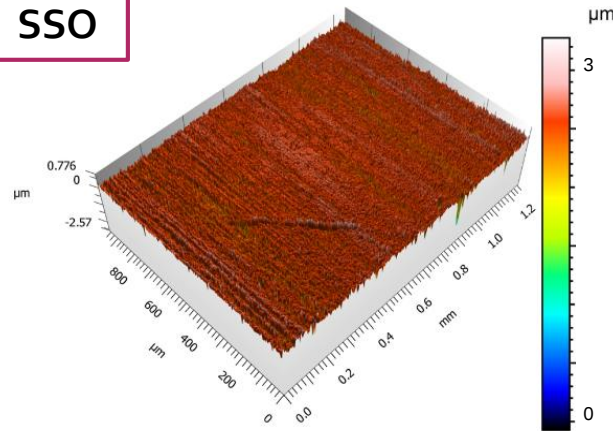
Rugosité



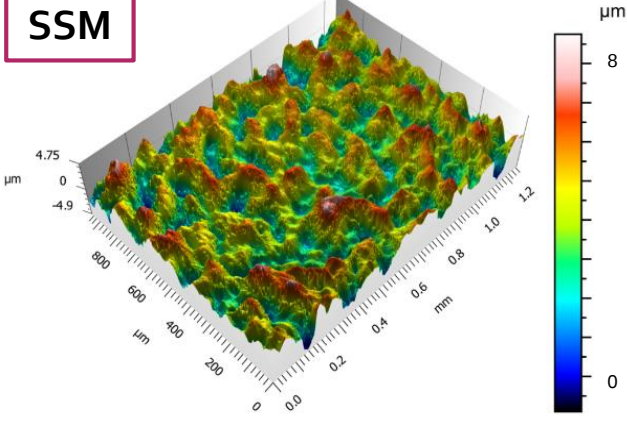
Ondulation



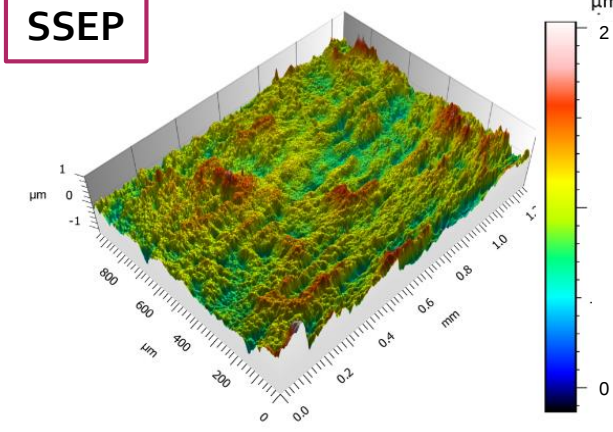
SSO



SSM



SSEP



	Rt (μm)	Ra (μm)	Wt (μm)	Wa (μm)
SSO	2,39 ± 0,52	0,10 ± 0,01	0,56 ± 0,31	0,064 ± 0,015
SSEP	1,12 ± 0,59	0,064 ± 0,008	0,55 ± 0,19	0,073 ± 0,009
SSM	6,57 ± 0,73	0,97 ± 0,12	1,16 ± 0,19	0,240 ± 0,018

Profilométrie de contact

ISO 4287

Rt, Wt : hauteur entre la vallée la plus profonde et le pic le plus haut
Ra, Wa : hauteur moyenne arithmétique

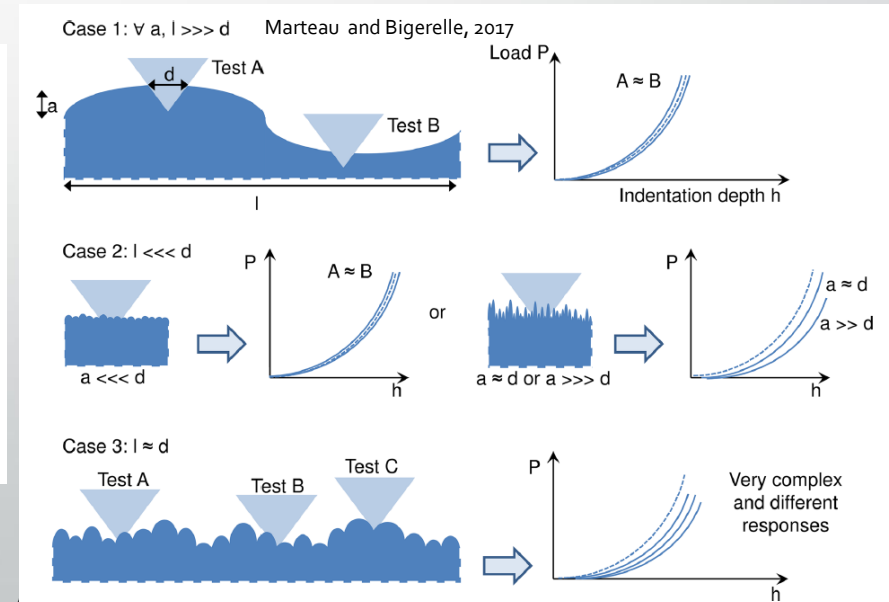
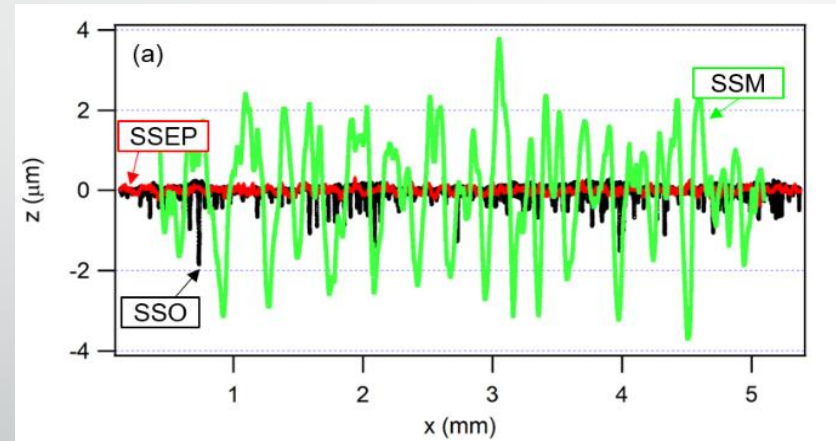
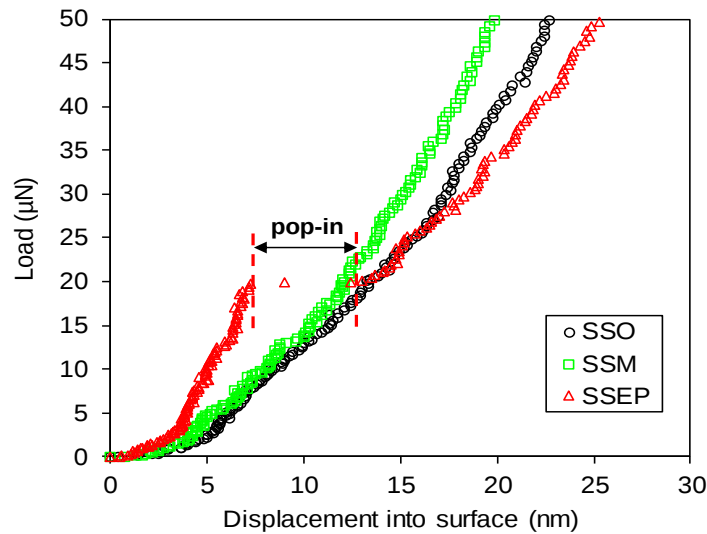
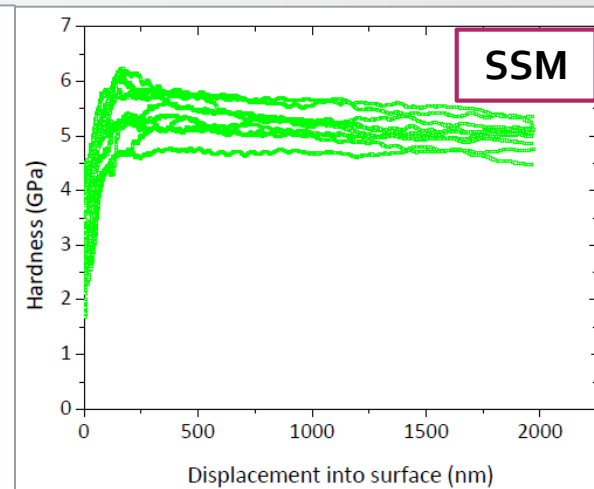
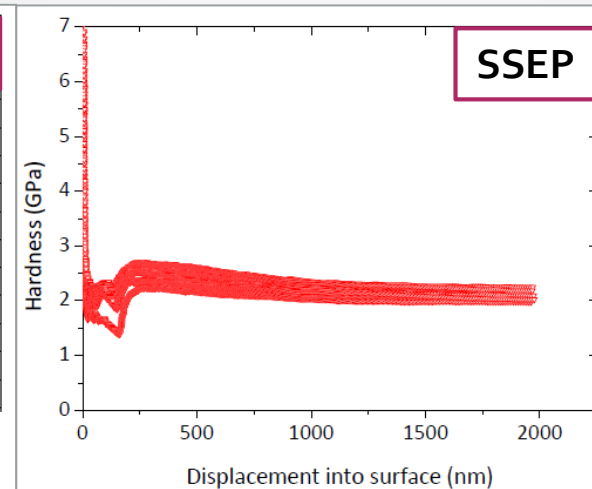
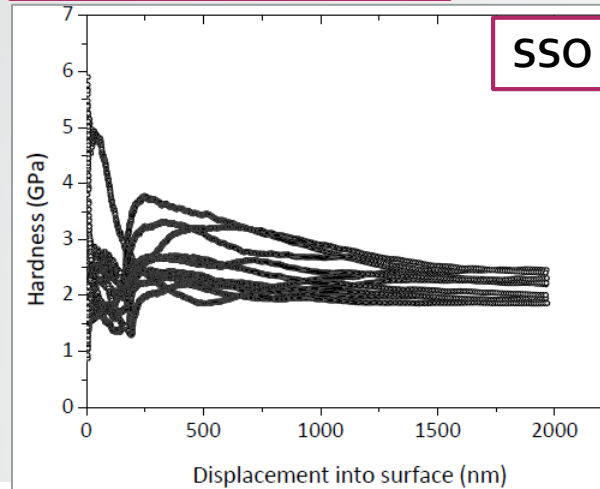
Caractérisation mécanique (316L)

Nanoindentation

Méthode CSM

	E_{IT} (GPa)	H_{IT} (GPa)
SSO	198 ± 11	$2,1 \pm 0,2$
SSEP	189 ± 10	$2,1 \pm 0,1$
SSM	235 ± 12	$5,0 \pm 0,3$

Effet de la rugosité



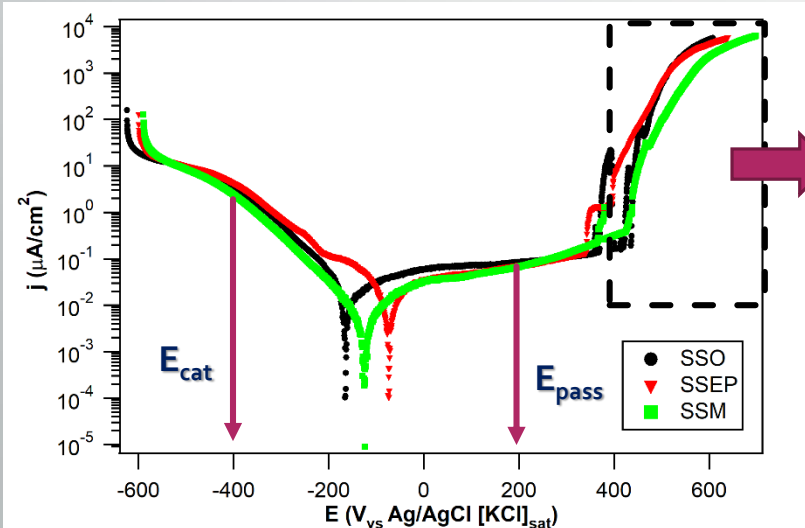
Tribocorrosion (316L)

Paramètres des essais de corrosion (potentiostatique) :

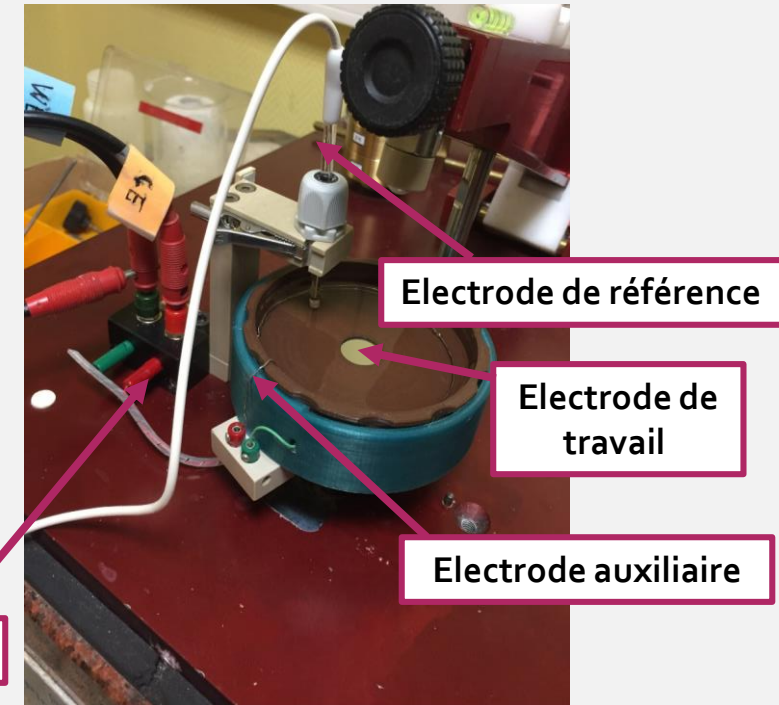
- Electrolyte : solution 0,5M NaCl
- Electrode de référence : Ag/AgCl (KCl sat.)
- Electrode auxiliaire : fil de Pt
- Potentiel fixe : $E_{\text{pass}} +200 \text{ mV}$ et $E_{\text{cat}} -400 \text{ mV}$ (courbes de polarisation)

Essais d'usure (pion-disque)

- Pion : bille Al_2O_3 ($\varnothing = 10 \text{ mm}$)
- Vitesse : 12 mm/s
- Charge : 1 et 5 N
- Distance : 10 m (800 cycles)



Connexions au potentiostat



piqûres

SSO

SSEP

SSM

SU8020 5.0kV 11.9mm x250 SE(L)

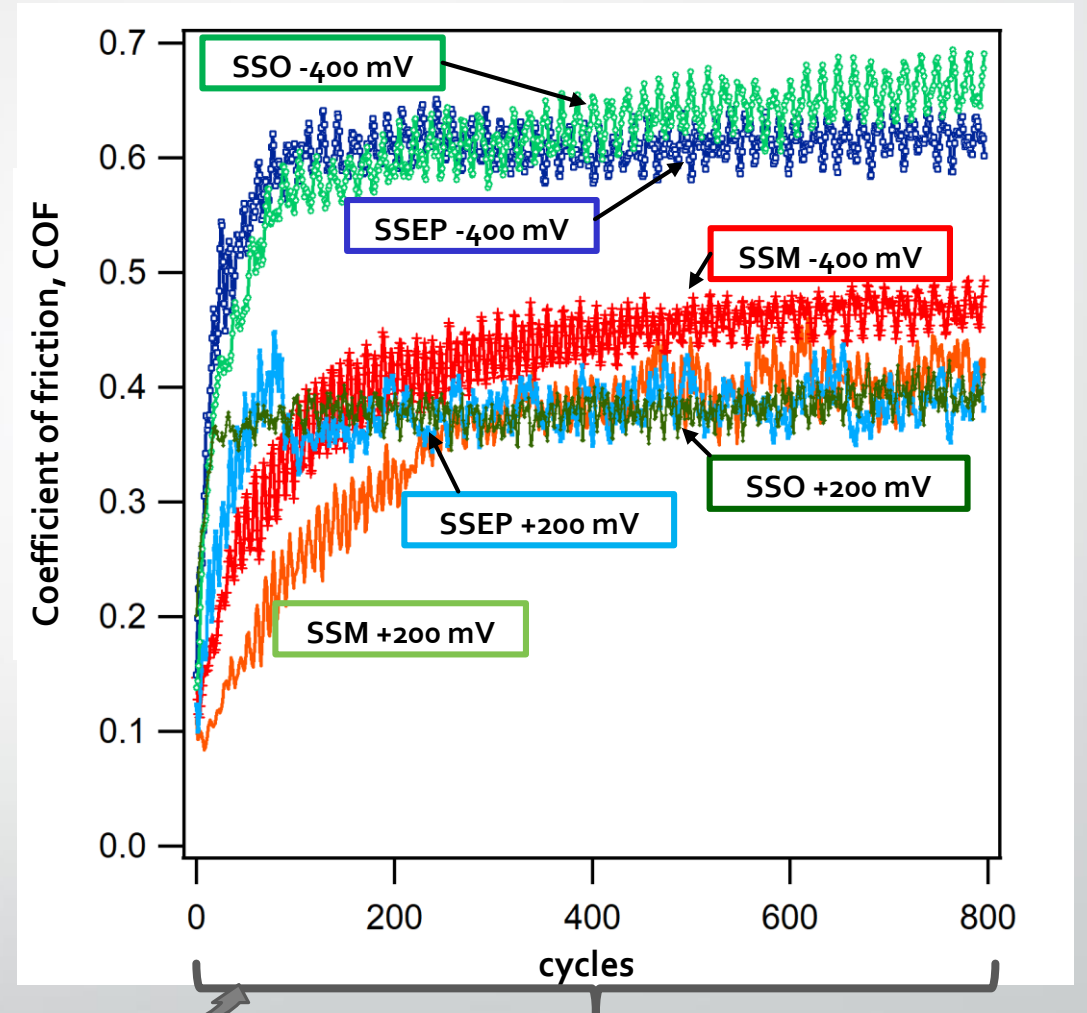
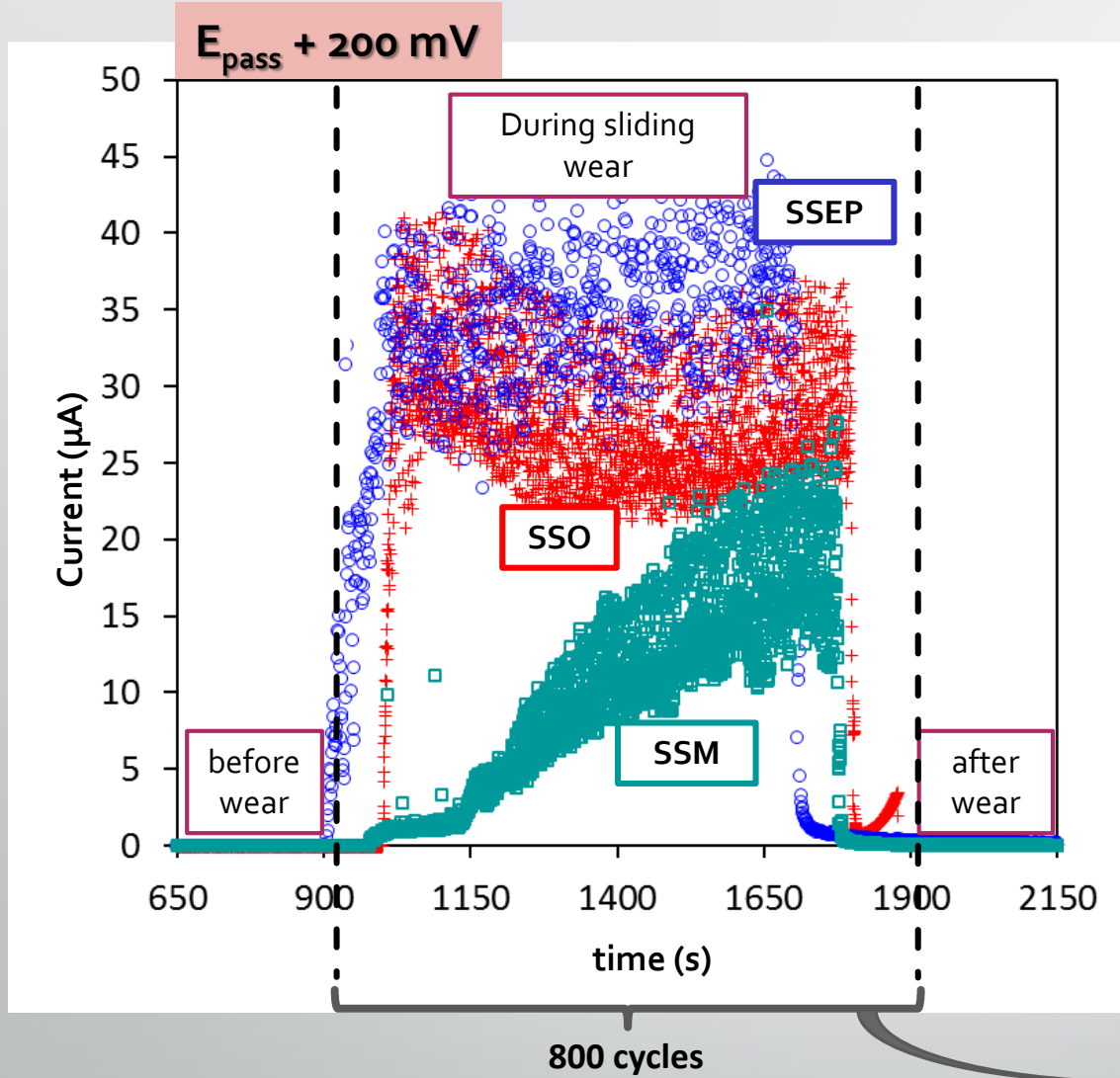
200µm SU8020 5.0kV 14.4mm x250 SE(L)

200µm SU8020 5.0kV 15.2mm x250 SE(L)

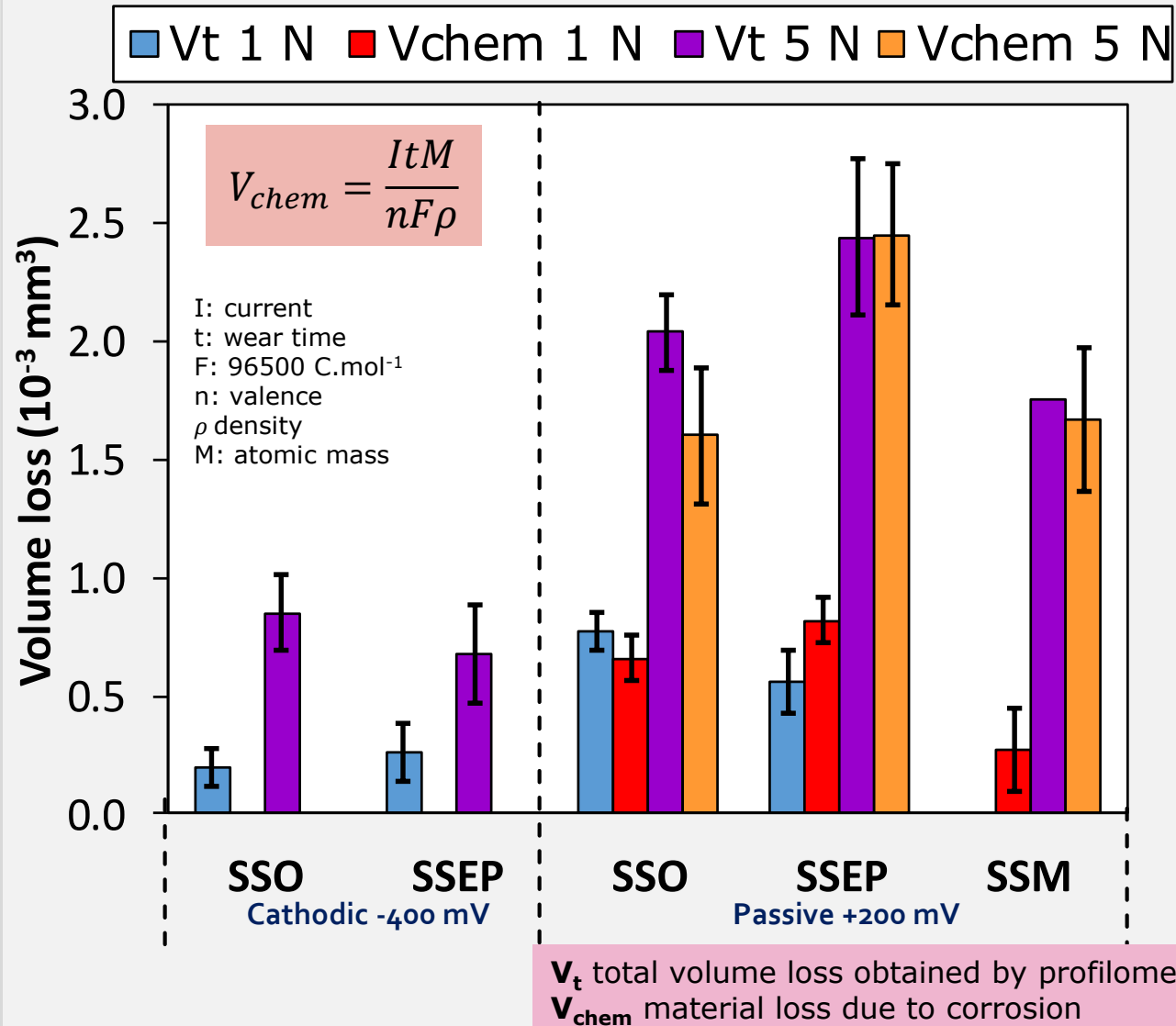
200µm

Tribocorrosion (316L)

1 N



Tribocorrosion (316L)

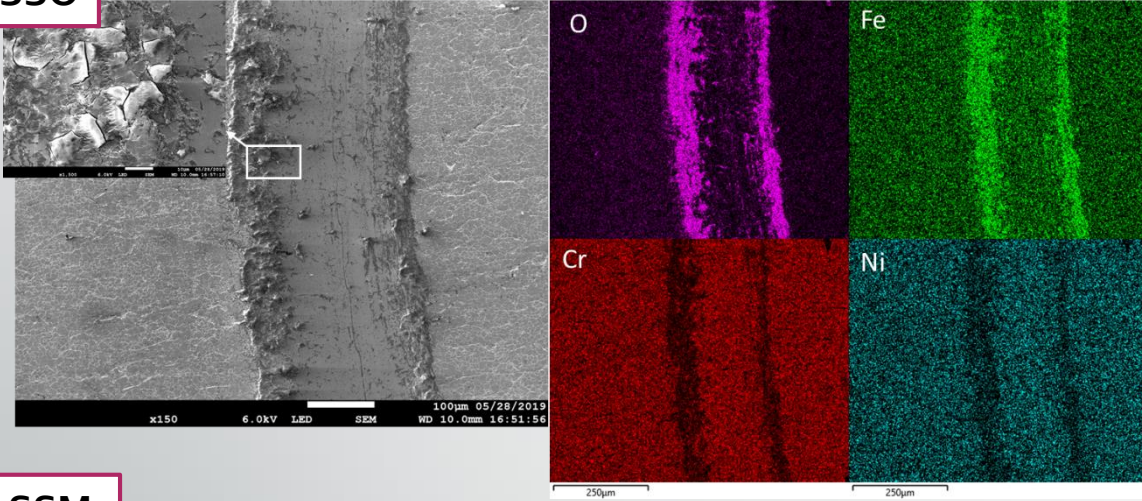


- Corrosion négligeable à E_{cat}
- Réponse modifiée par le potentiel appliqué
- À 5 N mécanismes + agressifs

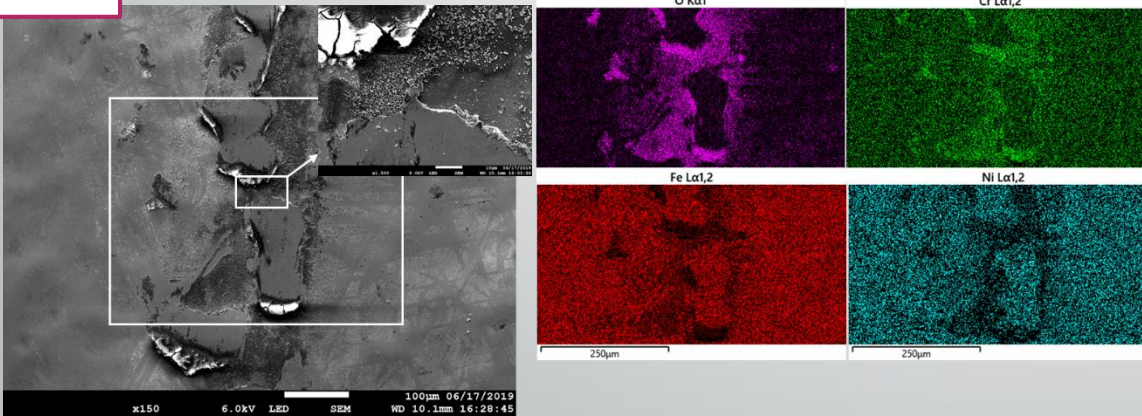
Tribocorrosion (316L)

$E_{\text{cat}} -400 \text{ mV}, 5 \text{ N}$

SSO

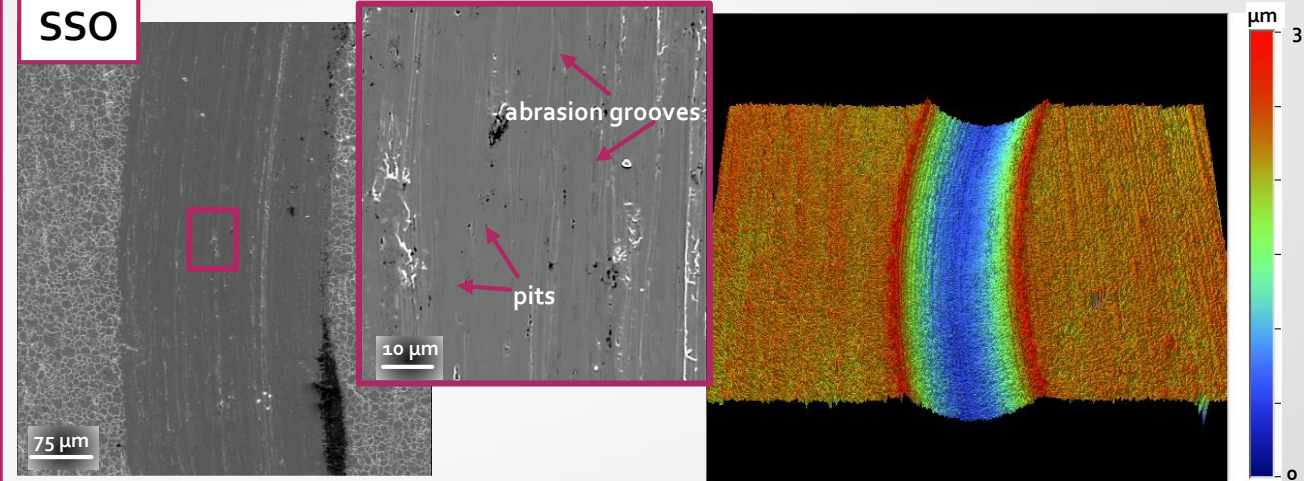


SSM

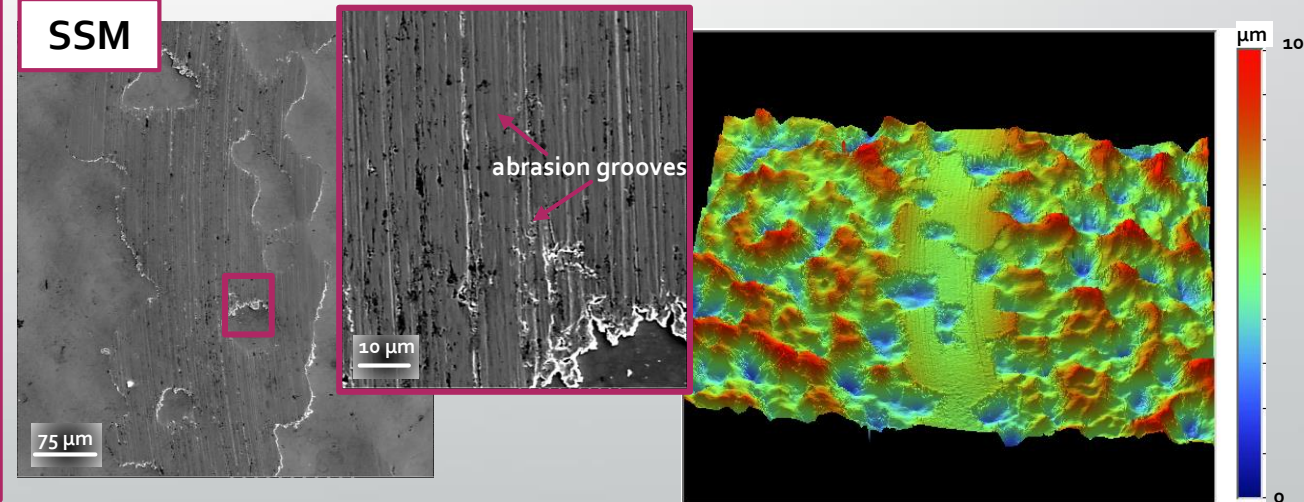


$E_{\text{pass}} +200 \text{ mV}, 5 \text{ N}$

SSO



SSM



Site web : <http://fedmecalille.univ-lille.fr>

Développement système sol-gel/substrat

≠ formulations hybrides de sol-gel
(organique + inorganique) sur les 3 types
de substrat:

- Hybrides avec nanoparticules de SiO_2
- HSG-Si
- HSG-SiZr

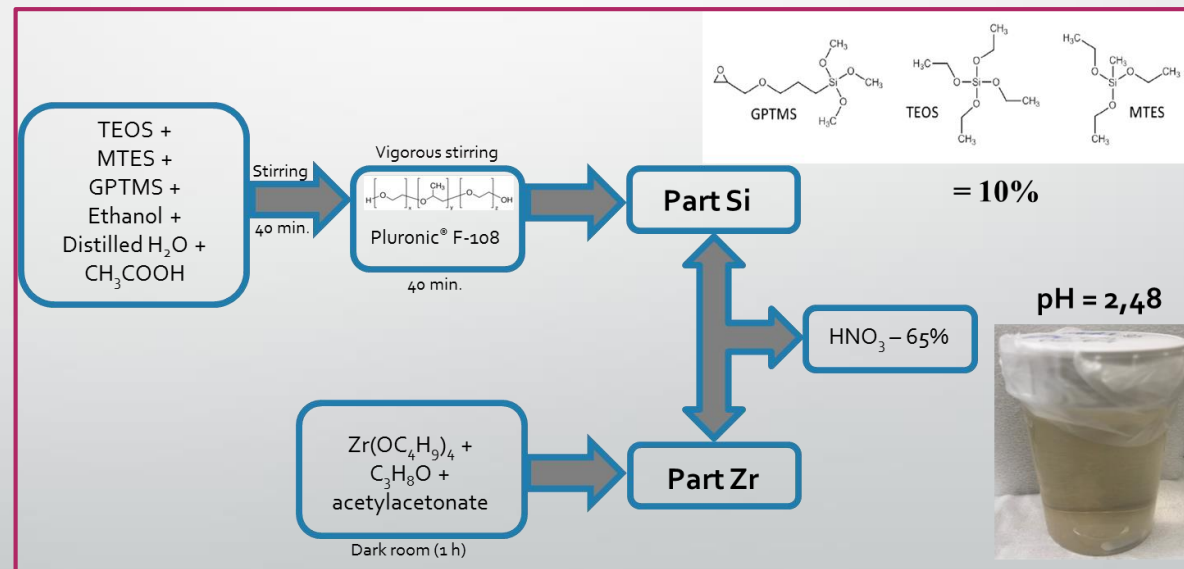
Difficulté pour couvrir la surface du SSM
(distance pics-creux très élevée par rapport
aux épaisseurs des revêtements)

SSO et SSEP

Endommagement immédiat du revêtement
pendant l'essai de TC

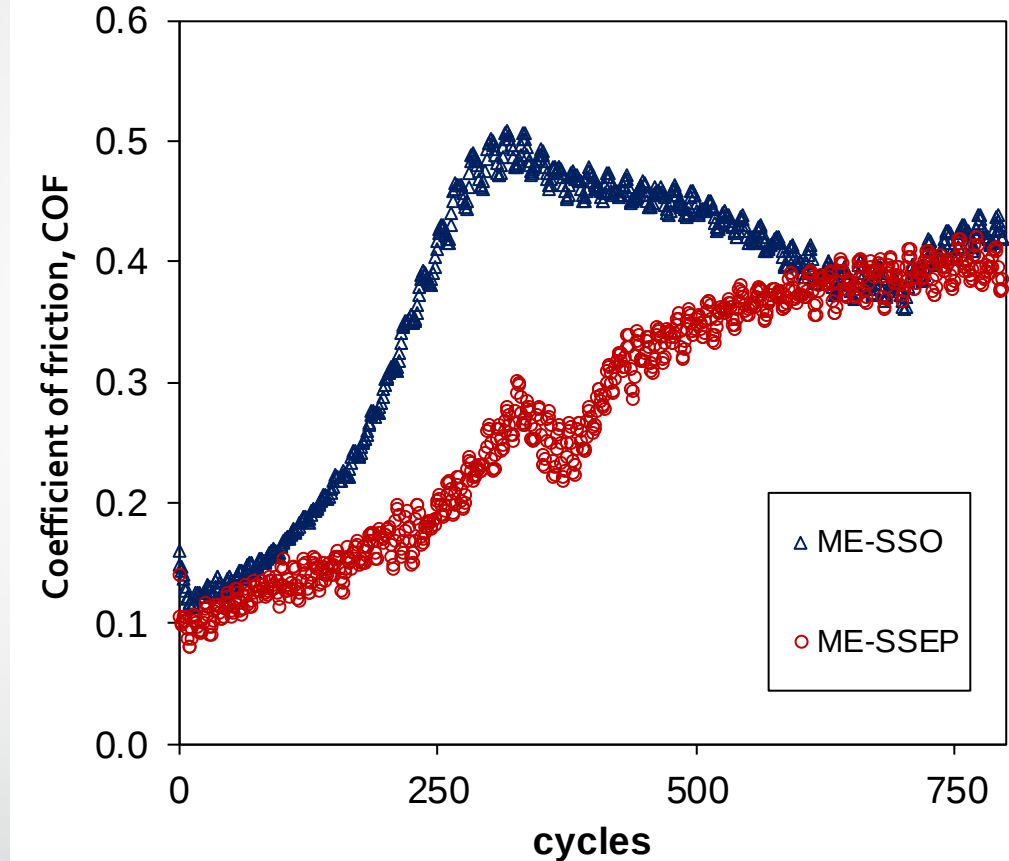
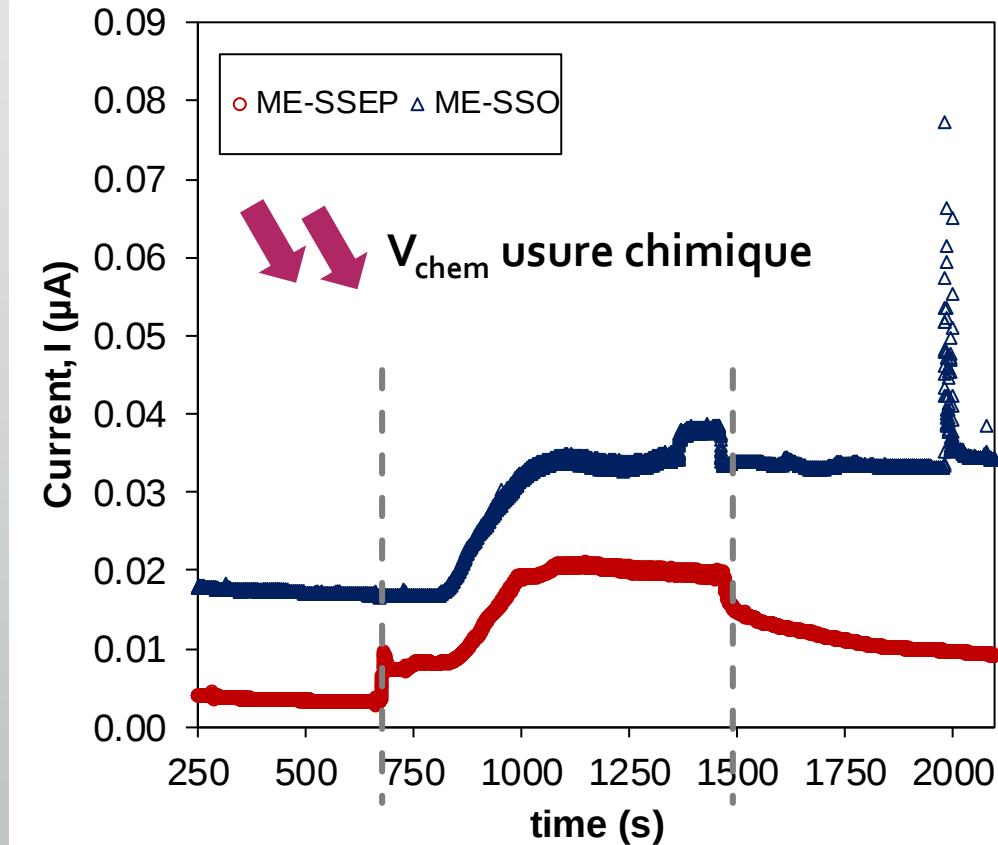
HSG-SiZr

HSG-SiZr



Tribocorrosion système sol-gel/substrat

E_{pass} +200 mV, 1 N



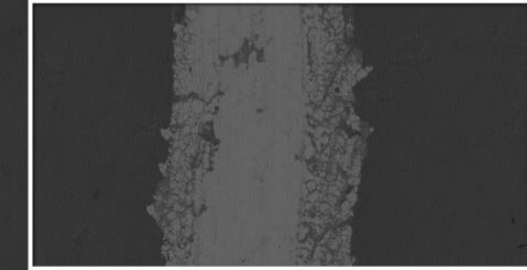
Diminution significative du courant pendant l'essai de tribocorrosion : 3 ordres de grandeur par rapport aux substrats !

Tribocorrosion système sol-gel/substrat

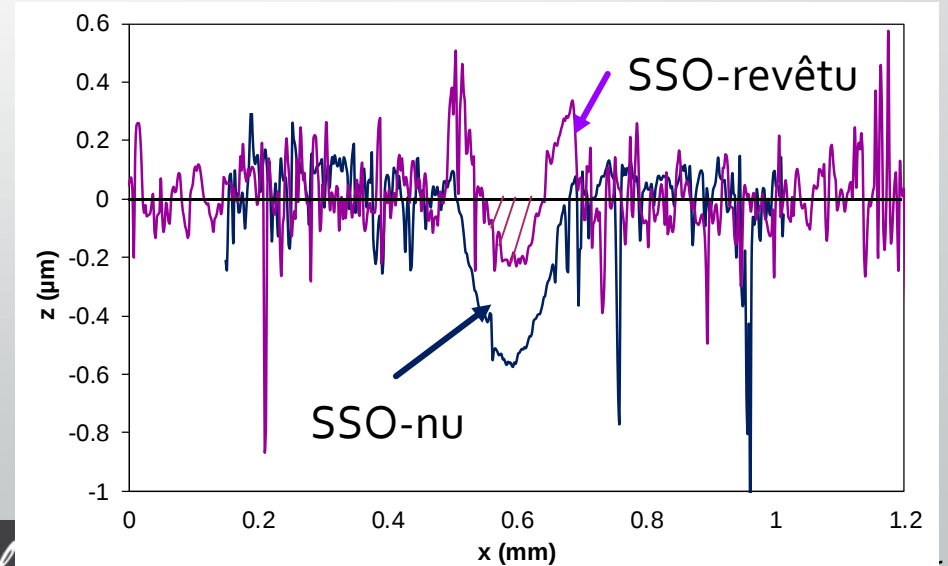
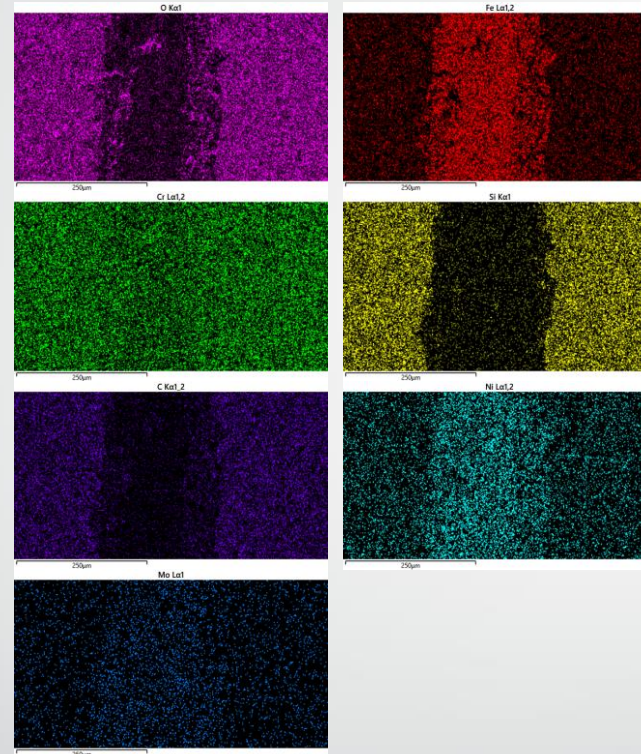
HSG-SiZr-SSO

Electron Image 19

Map Data 16



250µm



Conclusions

- Comportement en tribocorrosion du 316L est modifié par le potentiel appliqué. Augmentation de l'endommagement à E_{pass} (usure chimique).
- Meilleure performance en tribocorrosion du 316L donnée par traitement SSM → Effet de la topographie.
- Les revêtements sol-gel représentent une solution possible pour l'amélioration de la résistance à la tribocorrosion des matériaux métalliques.
- Les essais de tribocorrosion permettent d'étudier la synergie entre le frottement et la corrosion de systèmes complexes soumis à des environnements agressifs.

Les auteurs remercient le Fond Européen de Développement Régional pour son soutien financier dans le cadre du Projet Interreg VTransport.

Les auteurs remercient Matthieu Touzin (UMET), Xavier Noirfalise (MateriaNova), Leonardo Coelho et Fernanda De Freitas (UMons).