

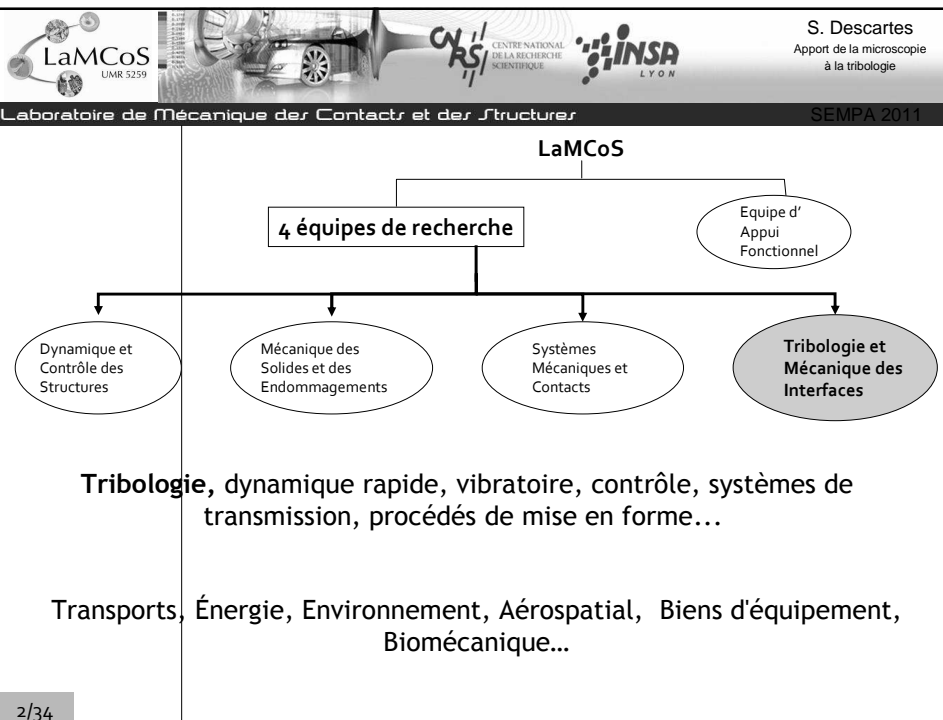





Apport de la microscopie à la tribologie

S. Descartes

LaMCoS
Equipe Tribologie et Mécanique des Interfaces (TMI)
UMR CNRS5259 / INSA-LYON
20 Avenue Albert Einstein
69 621 Villeurbanne, France

SEMPA 2011 - Bordeaux



		
Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures		SEMPA 2011
<p>3/34</p>	<p style="text-align: center;">Plan</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Introduction <ul style="list-style-type: none"> Qu'est ce que la tribologie ? Quelles techniques ■ Approche <ul style="list-style-type: none"> Interface dynamique Transformations Tribologiques Superficielles ■ Contact roue-rail ■ Conclusion 	

		
Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures		SEMPA 2011
<p>Introduction</p> <p>4/34</p>	<p style="text-align: center;">La TRIBOLOGIE ?</p> <div style="text-align: center;">  </div>	

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction

TRIBOLOGIE

"tribein"

Tribein : frotter

"logoV"

Logos : parole, étude ou science

1966, Sir Peter Jost

1968, G. Salomon : science qui étudie les phénomènes susceptibles de se produire lorsque deux corps en contact sont animés de mouvements relatifs.

↓

Tribologie = l'étude ou la science du frottement.

↓

Plus généralement la tribologie regroupe l'étude de la lubrification, du frottement et de l'usure

5/34

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction

F and U : phénomènes réels



Ouverture d'une porte:
Grincement : frottement
Particules : usure

6/34

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction

Une réalité depuis la nuit des temps !





Si L'homme a appris à maîtriser le feu, il y a plus de 100000 ans, c'est en faisant frotter un morceau de bois dur à l'intérieur d'un morceau de bois tendre.




7/34

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

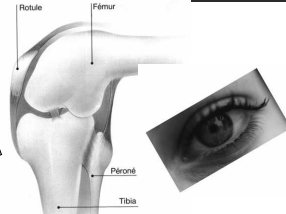

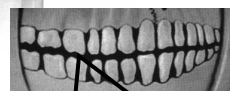
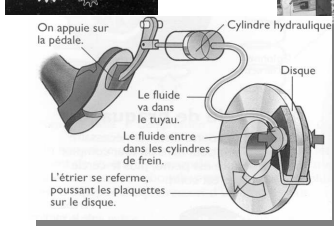
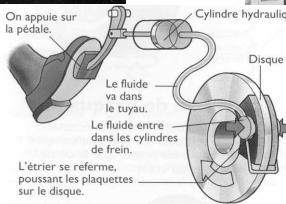

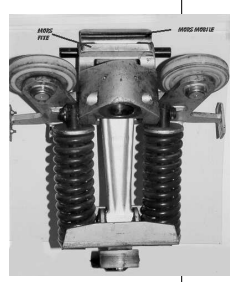
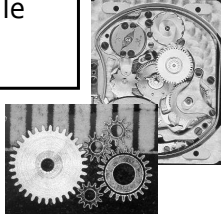
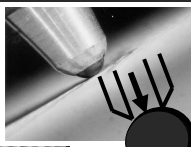
INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Le frottement nous le pratiquons sans vraiment le connaître !

8/34

* Cours tribologie, INSA/GMD, Y. Berthier

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction

Frottement, Usure, Lubrifications fluide et solide

Articulations

20 mm

Mécanisme de montre

Paliers poreux

Freinage

Mécanisme

1^{er} corps

3^{ème} corps

1^{er} corps

Formalisme

Compréhension et modélisation des mécanismes à l'origine du frottement et de l'usure

TMI : 37 personnes

9/34

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction

TRIBOLOGIE : Science pluridisciplinaire

Explore de très nombreux aspects des sciences et des techniques

Mécanique

imposé

Sciences des matériaux

Physico chimie des surfaces

N

d

T

subi

Thermodynamique

RDM

Indépendant des dimensions globales du mécanisme

10/34

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON


S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction

Quelles techniques ?



11/34

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

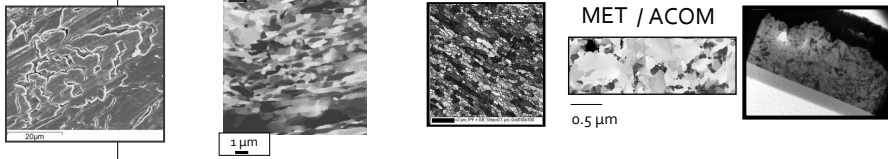
Introduction

SEMPA \longleftrightarrow Microscopies électroniques

Morphologie \longrightarrow Structure

MEB FIB/MEB EBSD MET

μm \longleftarrow nm



MET / ACOM

0.5 μm

12/34

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Plan

- Introduction
 - Qu'est ce que la tribologie ?
 - Quelles techniques
- Approche
 - Interface dynamique
 - Transformations Tribologiques Superficielles
- Le contact roue-rail
- Conclusion

13/34

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction

Approche

M-écanisme

1^{er} corps
3^{ème} corps
1^{er} corps

↓

Méthodes	Échelles	Disciplines
<p>M</p> <p>1</p> <p>3</p>	<p>m</p> <p>μm</p> <p>$\mu\text{m} / \text{nm}$</p>	<p>→ Mécanique</p> <p>→ Matériaux</p> <p>→ Physico-chimie</p> <p>→ Biologie</p>
		<p>} Milieu confiné</p> <p>↳ hydro \nearrow</p> <p>↳ $\Delta\varepsilon \nearrow$</p>

Contact = milieu confiné → Analyses post mortem

→ Reconstruction de la vie du contact

14/34

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction

Approche expérimentale

Contact roue-rail

Coupe de la roue après essais

3^{ème} corps

1^{er} corps

d) Interface

c) TTS

b) Fibrage

a) Volume

50 μ m

15/34

* Descartes et al, wear 258 (2005)

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction

Approche expérimentale

- "tribolayer is constantly changing"

- "cannot be defined simply as a region having a nanocrystalline grain size"

- "appearance of dynamically recrystallized submicron sized grains within the nanocrystalline region"

Cu disk / 440C stainless steel pin, vacuum, 0.05 m/s, 10³ s.

16/34

From A. Emge et al., Wear (2009)

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction

Approche expérimentale

Interface dynamique - Troisième corps solide

100 μm

Saphir

MoS_x coating

\vec{V}_{disque}
0.1 m / s

Pompéi : vue dynamique !

17/34

* Descartes et al, wear 252 (2002)

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction

Approche expérimentale

Interface dynamique – Troisième corps solide

\vec{V}_{disque}

Revêtement de MoS_{1,6}

qq nm au μm

\vec{V}_{disque}

Rhéologie

Q_i

P

t_i

t_{i+1}

t

Pressions locales de contact de qq MPa à qq GPa

18/34

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction

Approche expérimentale

Troisième corps solide
Mise en évidence des écoulements (Q_i)

Before

After 20 wheels

19/34

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction

Approche expérimentale

Troisième corps solide

Réplique après le passage de 20 roues

Al Fe Si O

→ « Mixture »

20/34

* Descartes et al., Proc. IMechE Part F-J. of Rail and rapid transit 222 (2008)

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

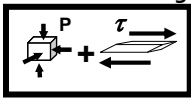
SEMPA 2011

Introduction

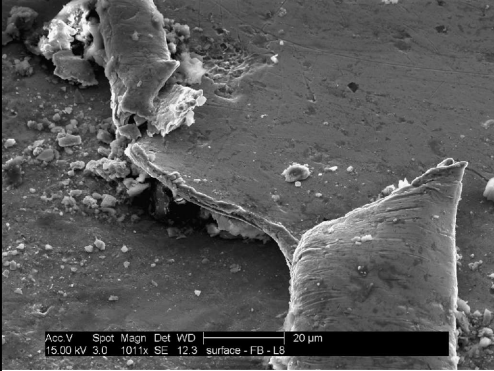
Approche expérimentale

Troisième corps solide
Mise en évidence de l'effet de la pression de contact
Acier, $P > 3\text{GPa}$

Comportements spécifiques
Sous conditions tribologiques

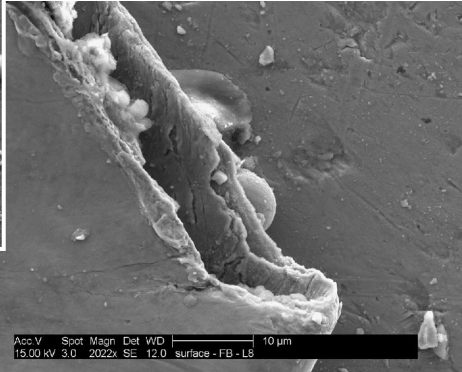


(+ TC)



Acc V Spot Magn Det WID | 20 µm
15.00 kV 3.0 1011x SE 12.3 surface - FB - LB

Interface



Acc V Spot Magn Det WID | 10 µm
15.00 kV 3.0 2022x SE 12.0 surface - FB - LB

21/34

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction

Approche expérimentale

Troisième corps solide
Rhéologie





8kV 10µm

0125 8kV 10µm

10µm

22/34

* Descartes et al, wear 252 (2002)

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction

Approche expérimentale

Etude des TTS : effet de la pression + cisaillement

23/34

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction

Approche expérimentale

Etude des TTS


Fer ultra haute pureté, essai HPT

$\phi=240^\circ$ $2\ \mu\text{m}$


$\phi=360^\circ (\epsilon_p > 5)$ $1\ \mu\text{m}$

24/34


* S. Descartes et al., Mater. Sci. and Eng. A 528 (2011)



LaMCoS
UMR 5259



CNRS
CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



INSA
LYON


S. Descartes
Apport de la microscopie
à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

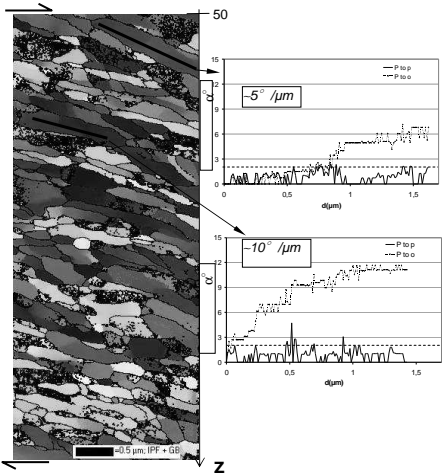
SEMPA 2011

Introduction

Approche expérimentale




(TD, ND)




Taille de grains - Gradients de désorientation importants

25/34


* S. Descartes et al., Mater. Sci. and Eng. A 528 (2011)



LaMCoS
UMR 5259



CNRS
CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



INSA
LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie
à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Plan

- Introduction
 - Qu'est ce que la tribologie ?
 - Quelles techniques
- Approche
 - Interface dynamique
 - Transformations Tribologiques Superficielles
- Le contact roue-rail
- Conclusion

26/34

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction

Approche expérimentale

Le contact roue-rail

27/34

Exemple de l'approche expérimentale

1-Usure ondulatoire en courbe
(thèse A. Saulot, 2005)

$\Lambda_{\text{courbe}} \sim 50 \text{ mm}$

$\delta_{\text{courbe}} \sim 0.1 \text{ mm}$

Coupe A-A

Creux

Bosse

10 mm

Sens de déplacement du train

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction

Approche expérimentale

Le contact roue-rail

28/34

$\Lambda_{\text{courbe}} \sim 50 \text{ mm}$

50 μm

10 mm

Sens de déplacement du train

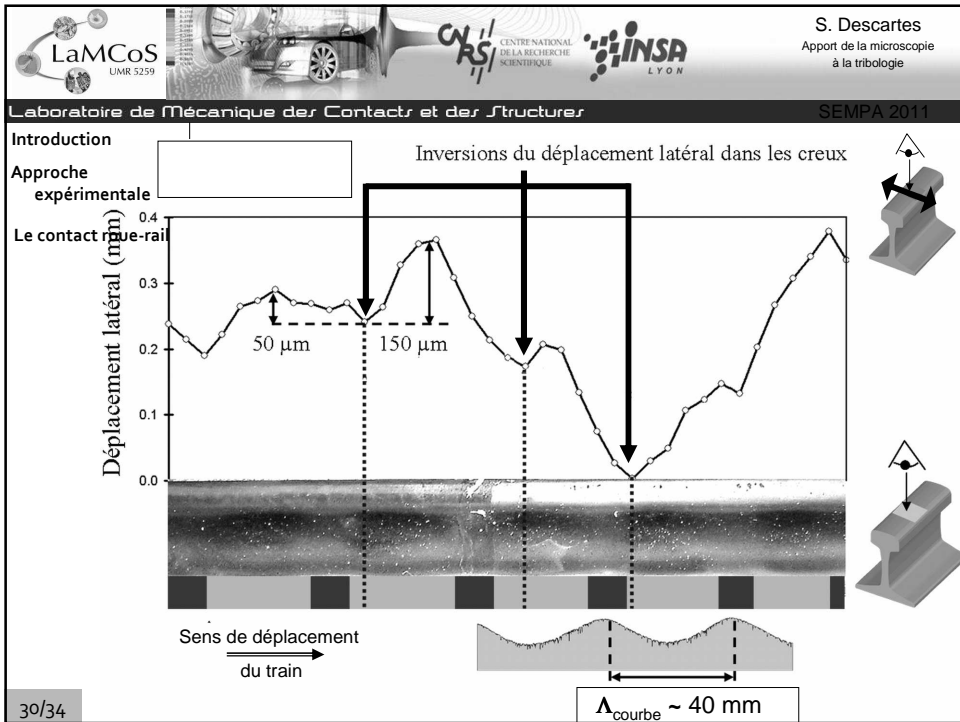
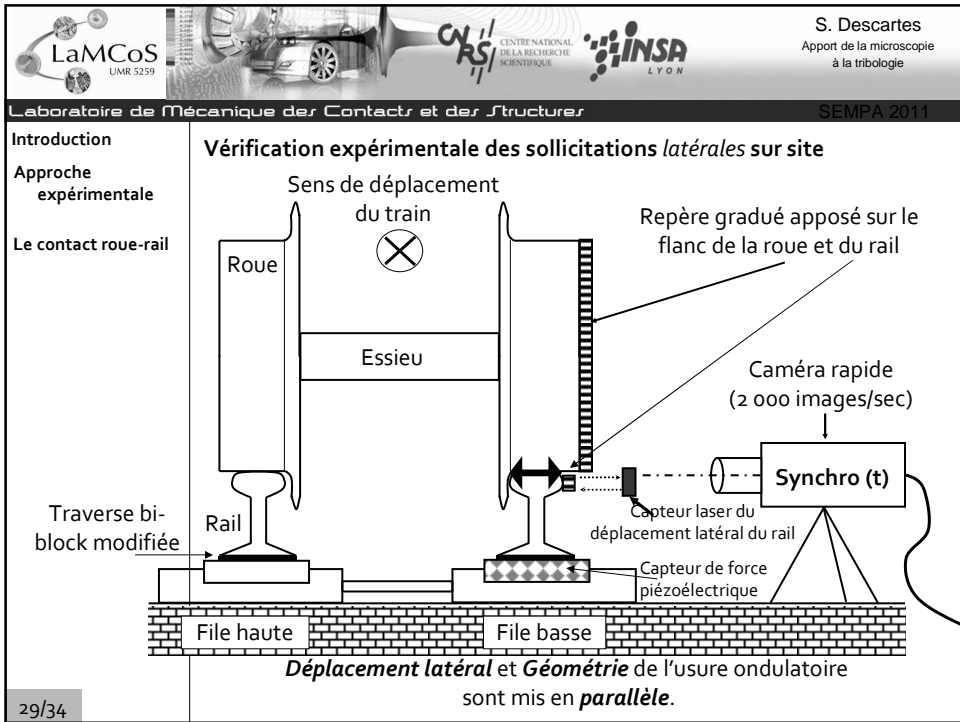
50 μm

Particules détachées

20 μm

100 μm

Sollicitations latérales



LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Introduction
Approche expérimentale
Le contact roue-rail

2- Lubrification de la joue active du rail

Smooth surface

100 μm

20 μm

Longitudinal Friction Coefficient - 1957A - Vacuoline R4TP

Coeff. frottement

N-cycles

D (mm)

Formation of a smooth layer of particle on roller and rail & thin oil film

Roller

Rail

Smooth surface

VA in a "oil" layer

Efficient mixture
Increase lifetime

Reproduire en laboratoire cette mixture

31/34

* Descartes et al., wear 2010, in press

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Conclusion

Apports de la microscopie à la tribologie

P_h

τ

- Outils de mesures adaptés
- Réalité phénoménologique
- Vers la compréhension des phénomènes à plusieurs échelles
- 3ème corps = un traceur des conditions de contact

Objectifs

- Caractériser les TTS
- Mesurer la rhéologie des troisièmes corps
- Découpler la mécanique et physico-chimie

32/34

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011



Bic Cristal : 2 à 3 km de ligne

Frottement de la bille sur le papier ?



33/34

LaMCoS UMR 5259

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes
Apport de la microscopie à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

SEMPA 2011

Merci de votre attention

Remerciements

C. Godeau,
L. Lafarge (LaMCoS)

Equipe "microscopes"
du CLyM



34/34