

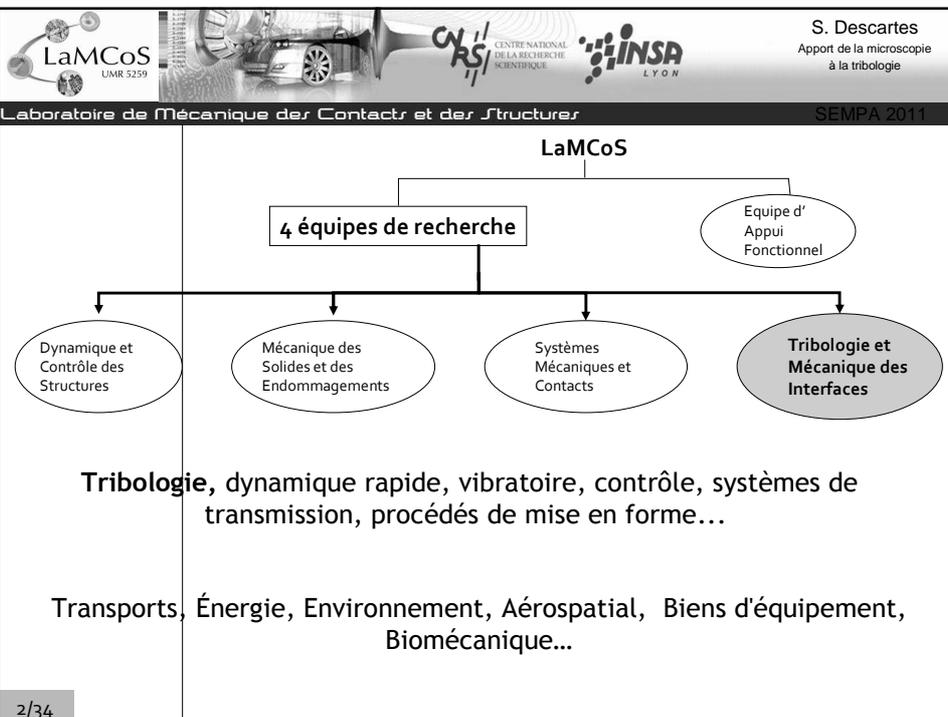


## Apport de la microscopie à la tribologie

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



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

			<p>S. Descartes Apport de la microscopie à la tribologie</p>
<p>Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures</p>		<p>SEMPA 2011</p>	
<p>Introduction</p> <p>4/34</p>	<p style="text-align: center;"><b>La TRIBOLOGIE ?</b></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

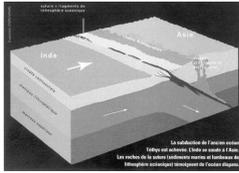
6/34

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 !



La réalisation de l'axe en bois  
était un véritable défi de savoir-faire.  
Les roues de la charrette (carré de bois) et les  
battants (carré de bois) étaient réalisés en bois dur.





Roulement  
Glissement

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.

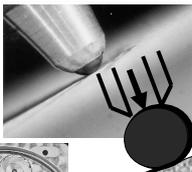


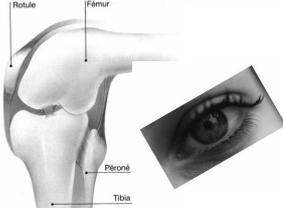

7/34

S. Descartes  
Apport de la microscopie  
à la tribologie

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures      SEMPA 2011

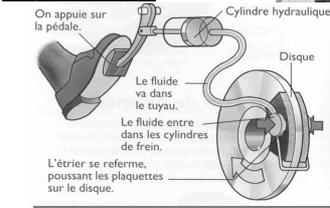
Le frottement nous le pratiquons sans vraiment le connaître !







**Dentifrice / Abrasifs**



On appuie sur la pédale.

Cylindre hydraulique

Disque

Le fluide va dans le tuyau.

Le fluide entre dans les cylindres de frein.

L'étrier se ferme, poussant les plaquettes sur le disque.



**Brake Pads**



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

20 mm

Articulations

Mécanisme de montre

Paliers poreux

Freinage

Brake Pads

Mécanisme

1<sup>er</sup> corps

3<sup>eme</sup> corps

1<sup>er</sup> 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

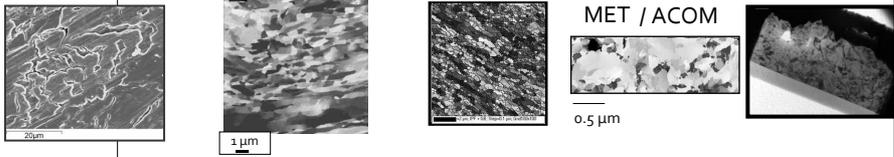
Introduction

SEMPA  $\longleftrightarrow$  Microscopies électroniques

Morphologie  $\longrightarrow$  Structure

MEB      FIB/MEB      EBSD      MET

$\mu\text{m}$   $\longleftarrow$   $\longrightarrow$  nm



MET / ACOM

0.5  $\mu\text{m}$

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<sup>er</sup> corps  
3<sup>ème</sup> corps  
1<sup>er</sup> corps

↓

Méthodes	Échelles	Disciplines
<p>M</p> <p>1</p> <p>3</p>	<p>m</p> <p><math>\mu\text{m}</math></p> <p><math>\mu\text{m} / \text{nm}</math></p>	<p>→ Mécanique</p> <p>→ Matériaux</p> <p>→ Physico-chimie</p> <p>→ Biologie</p>
		<p>} Milieu confiné</p> <p>→ P hydro ↗</p> <p>→ <math>\Delta\varepsilon</math> ↗</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<sup>ème</sup> corps

1<sup>er</sup> corps

d) Interface

c) TTS

b) Fibrage

a) Volume

50  $\mu$ 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, 10<sup>3</sup> 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  $\mu\text{m}$

Saphir

MoS<sub>x</sub> coating

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

*Pompéi : vue dynamique !*

0130 3KV X800 10μm WD39

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

$\vec{V}_{\text{disque}}$

Revêtement de MoS<sub>1,6</sub>

qq nm au  $\mu\text{m}$

$\vec{V}_{\text{disque}}$

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

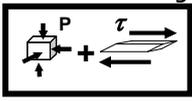
SEMPA 2011

Introduction

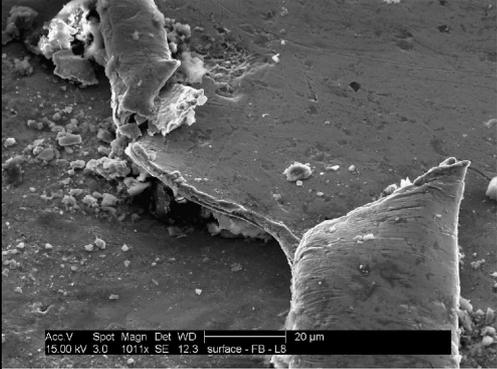
Approche expérimentale

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

Comportements spécifiques  
Sous conditions tribologiques

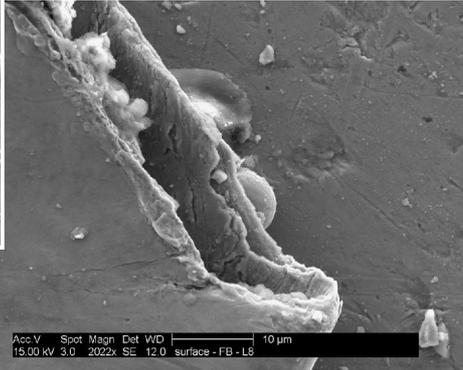


(+ T°C)



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

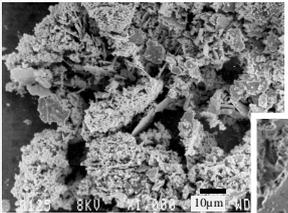
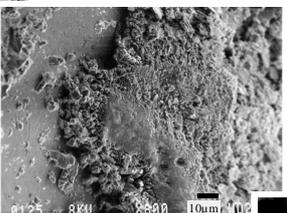
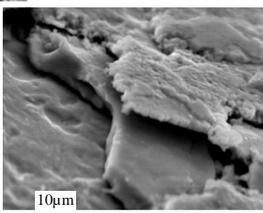
Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

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

$\phi=24^\circ$   $2 \mu\text{m}$   $z(\mu\text{m})$

$\phi=36^\circ (\epsilon_p > 5)$   $1 \mu\text{m}$   $z(\mu\text{m})$

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

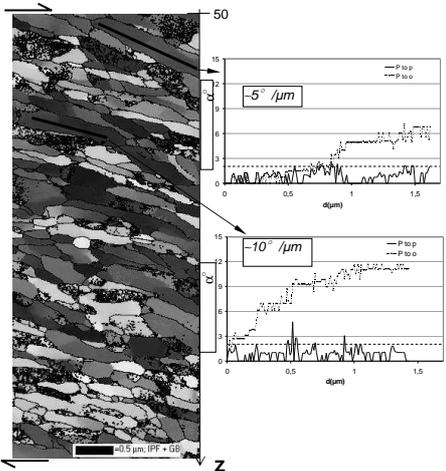
Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures
SEMPA 2011

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  $\mu\text{m}$

10 mm

Sens de déplacement du train

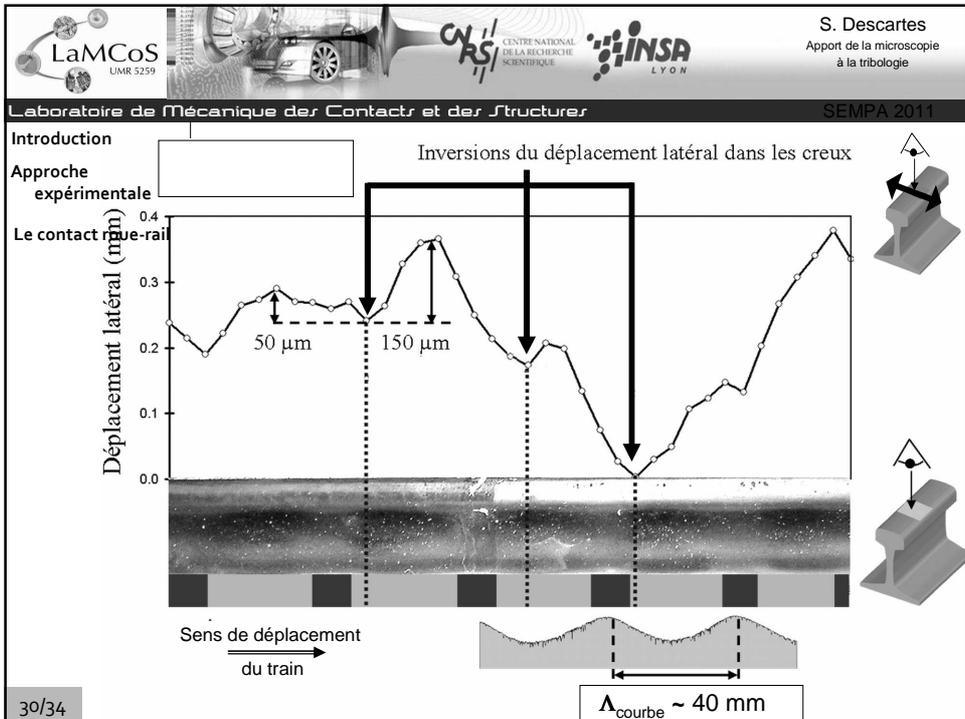
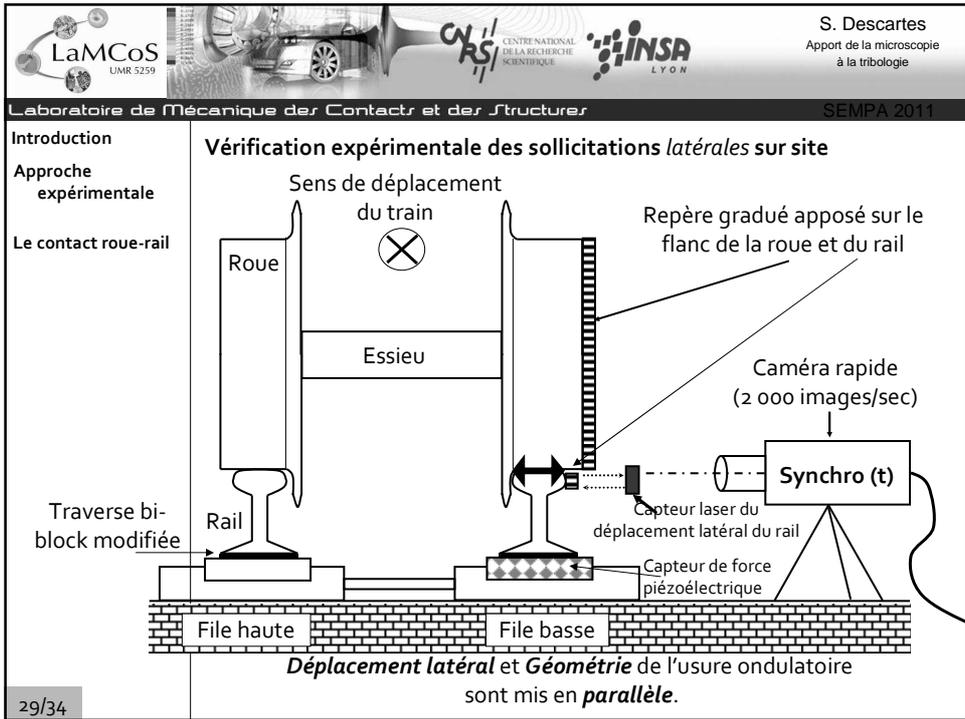
50  $\mu\text{m}$

Particules détachées

20  $\mu\text{m}$

100  $\mu\text{m}$

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 RATP

Coef. 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

$P_h$

$\tau$

- 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

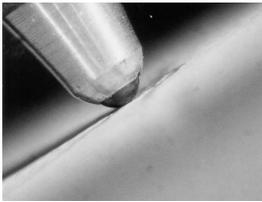
CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSA LYON

S. Descartes  
Apport de la microscopie à la tribologie

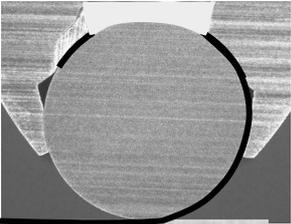
Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures

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