

# **Prédiction de l'usure par fretting-corrosion dans un assemblage pour transmission automobile**

**Journées Internationales Francophones de Tribologie**

**13 mai 2011**

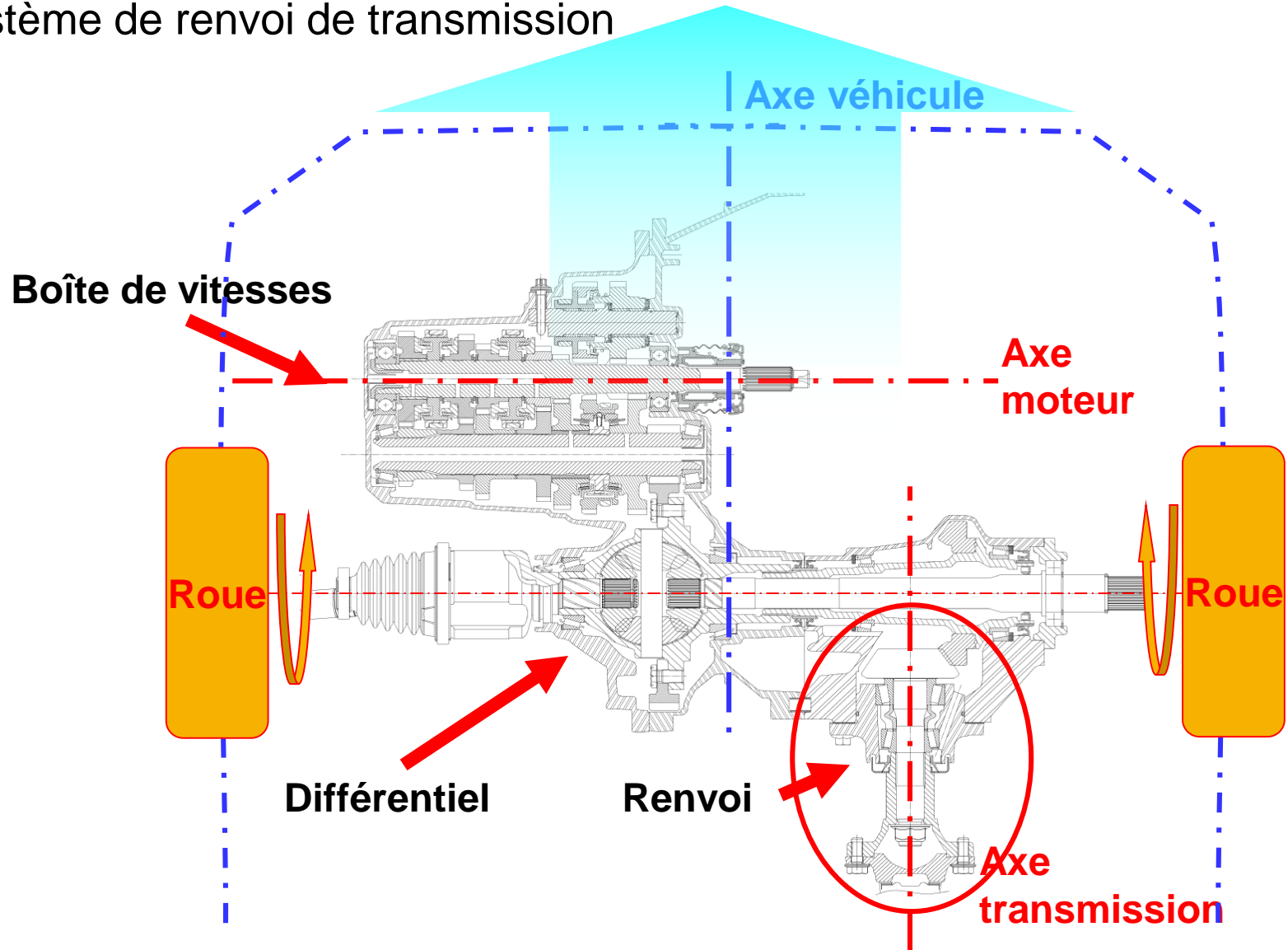
**J.-L. Ligier P. Mercay - Renault S.A.**

- **1) Contexte de l'étude**
- **2) Modélisation et simulation**
- **3) Résultats**
- **4) Conclusion**

- **1) Contexte de l'étude**
- 2) Modélisation et simulation
- 3) Résultats
- 4) Conclusion

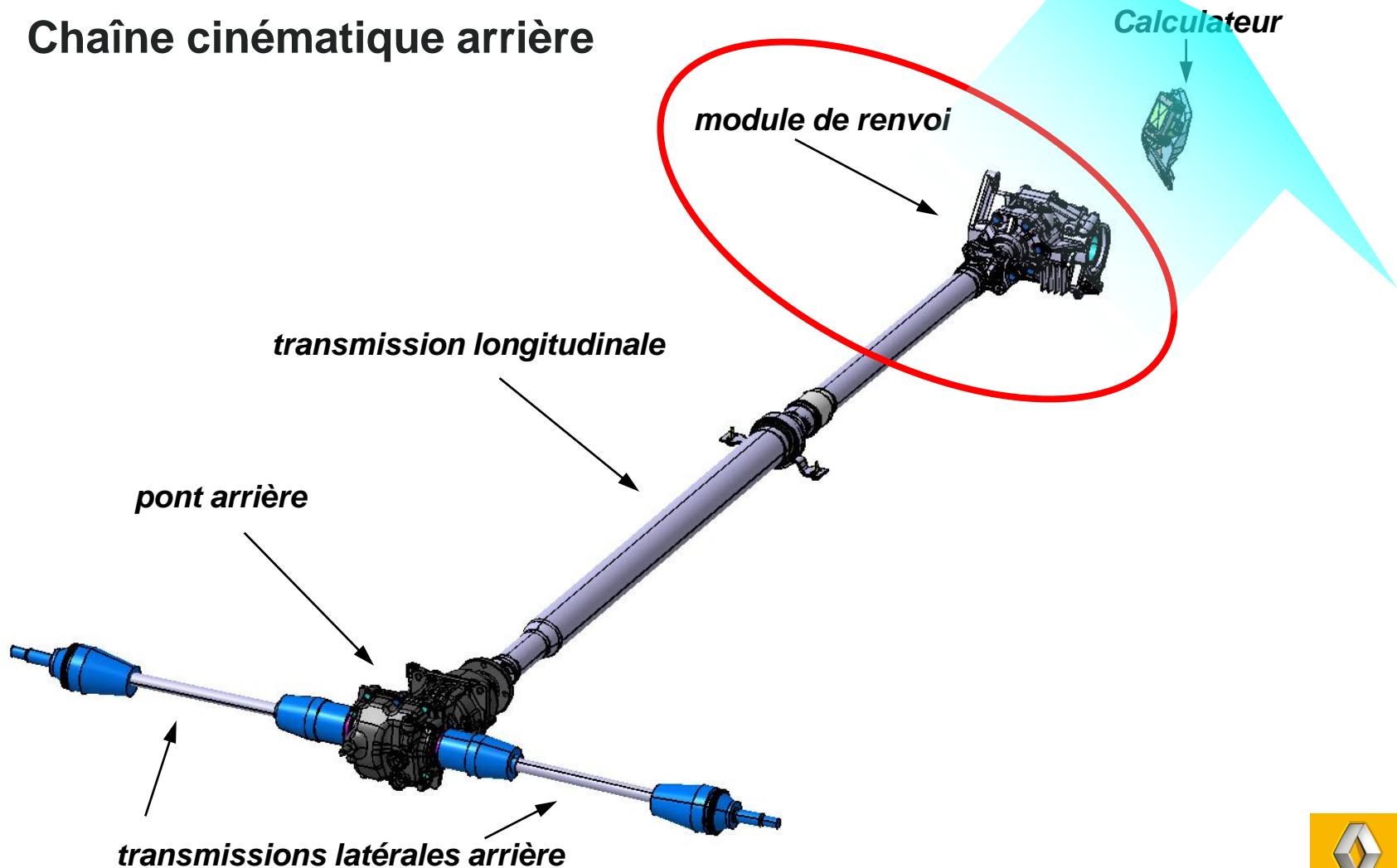
# 1) Contexte de l'étude – Description

Sur véhicule à 4 roues motrices: Usure des interfaces frottantes du système de renvoi de transmission

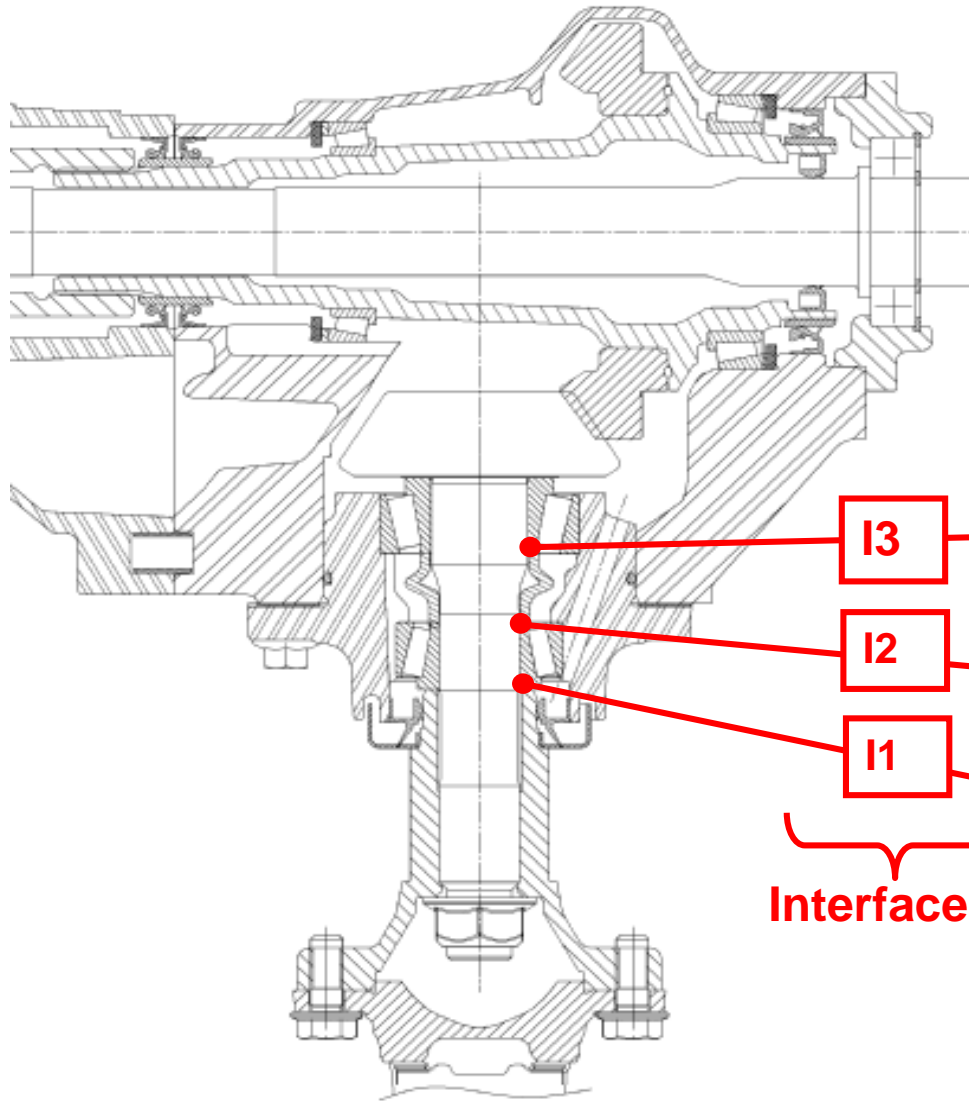


# 1) Contexte de l'étude - Description

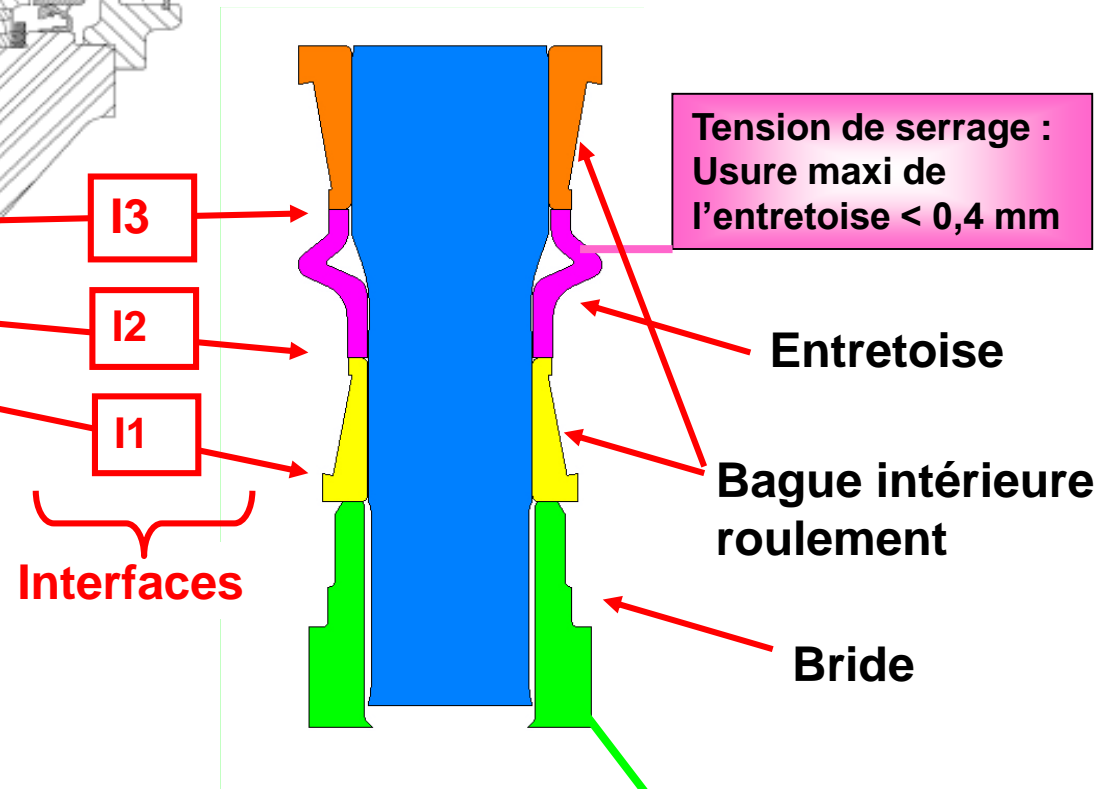
## Chaîne cinématique arrière



# 1) Contexte de l'étude - Description



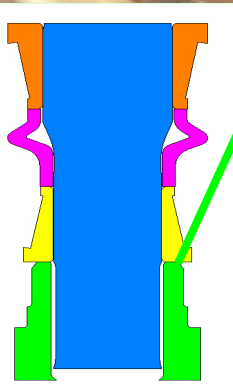
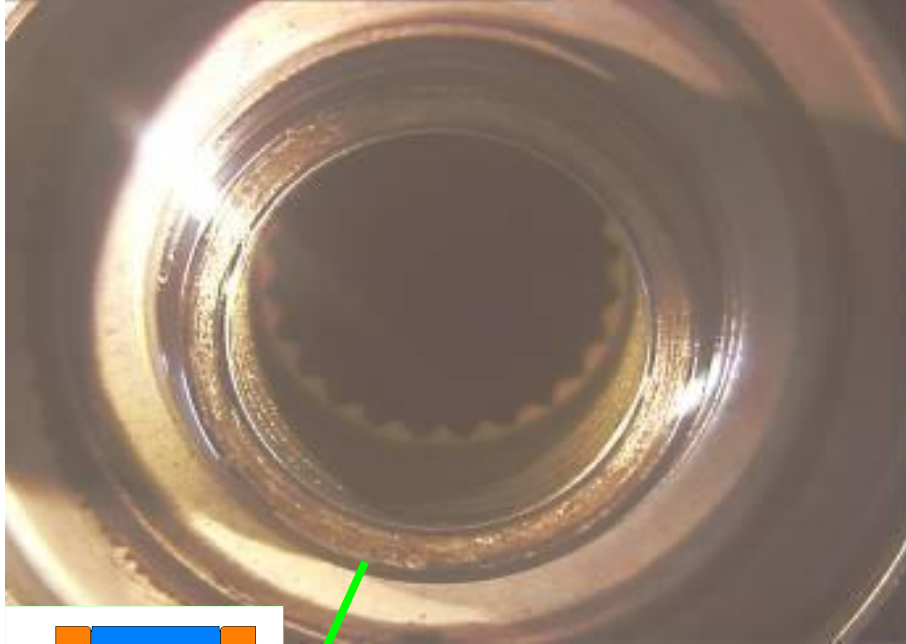
**2 contraintes fonctionnelles par rapport à l'usure:**



**Prestation acoustique et tenue de l'hypoïde :  
Usure maxi de la bride < 0,06 mm**

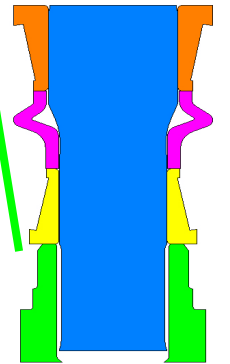
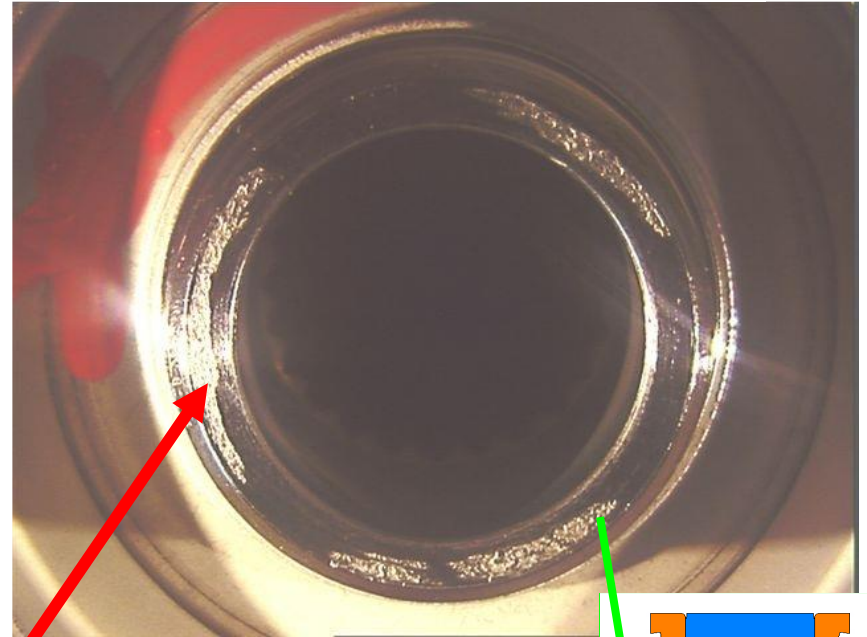
# 1) Contexte de l'étude – Faciès d'usure

## Interface I1 coté bride



Après 20 000 Km  
roulage 4X4 bourbiers

## Interface I1 coté bride



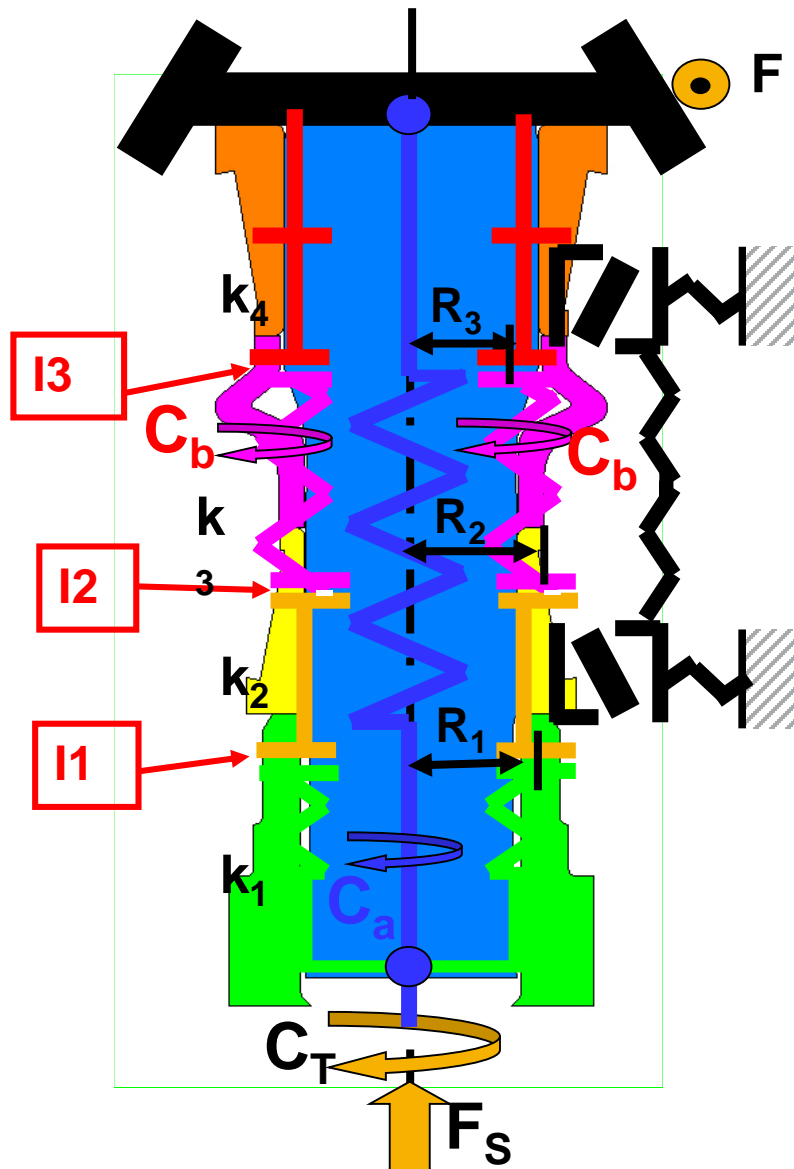
Fretting corrosion en vis-à-vis  
marquage roulement

Après 45 heures sur  
banc torsion 800Nm à  
1 Hz

- 1) Contexte de l'étude
- **2) Modélisation et simulation**
- 3) Résultats
- 4) Conclusion



## 2) Modélisation – Aspects fonctionnels



Deux sous-ensembles, de raideurs différentes, fonctionnant en parallèle

- L'arbre en torsion :  $C_a$
- L'empilage :  $C_b$

- L'empilage est au moins 3,5 fois plus raide en torsion que l'arbre
- L'interface I2 a le couple de frottement le plus faible

• Rayons moyens de frottement:

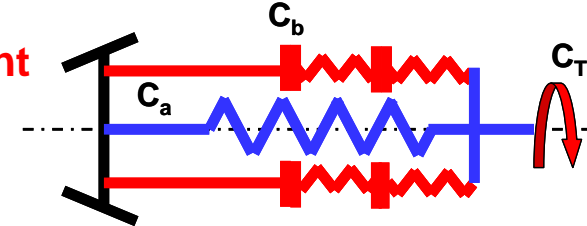
$$R_2 \approx < R_1 \approx < R_3$$

## 2) Modélisation – Aspects fonctionnels

### Commentaires

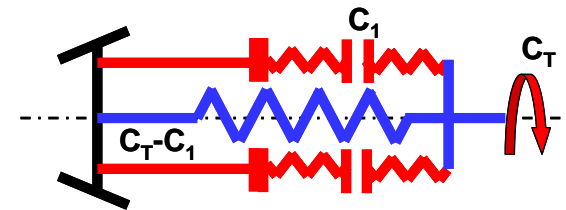
\* Si  $C_T < \min ( C_{r1}, C_{r2}, C_{r3} )$  ;  $C_T = C_a + C_b$  au prorata des raideurs

⇒ **Même déformation angulaire: pas de glissement**



\* Si  $C_T > \min ( C_{r1}, C_{r2}, C_{r3} )$  ;  $C_T = C_{\min} + (C_T - C_{\min})$

⇒ **Déformation angulaire différente:  
glissement dans l'interface**



\* Les couples transmis par frottement dans les interfaces présentent des seuils fonction:

- du coefficient de frottement
- de l'effort axial appliqué, lui-même fonction de l'usure axiale du système

## 2) Modélisation – Aspects fonctionnels

### Commentaires

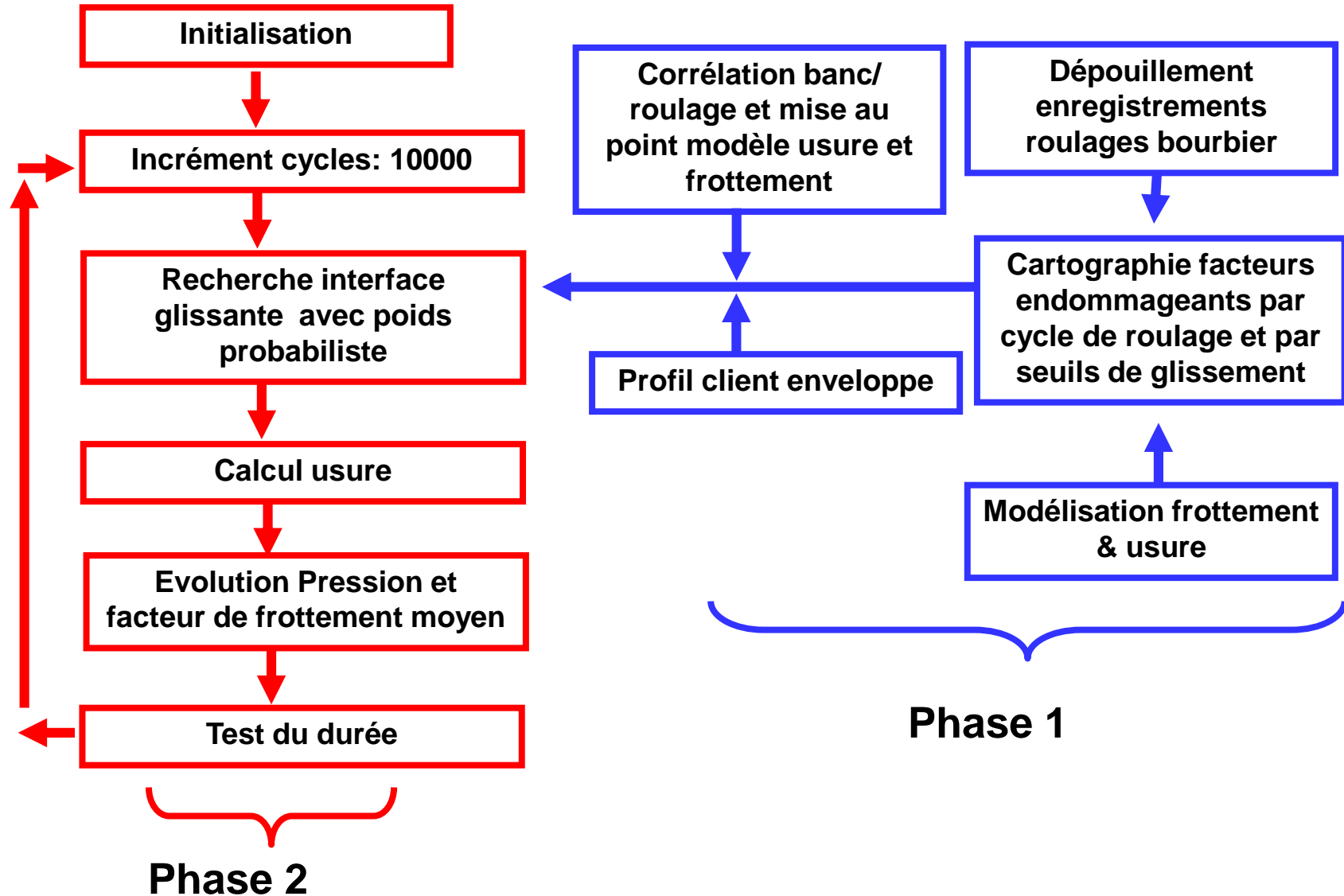
A partir du constat que l'usure par fretting corrosion:

- ne se développe qu'après un certain de temps de latence
- est fonction de la pression de contact, de l'amplitude de glissement , de la fréquence, du nombre de cycles et de la température

### ⇒ Analyse en 2 phases:

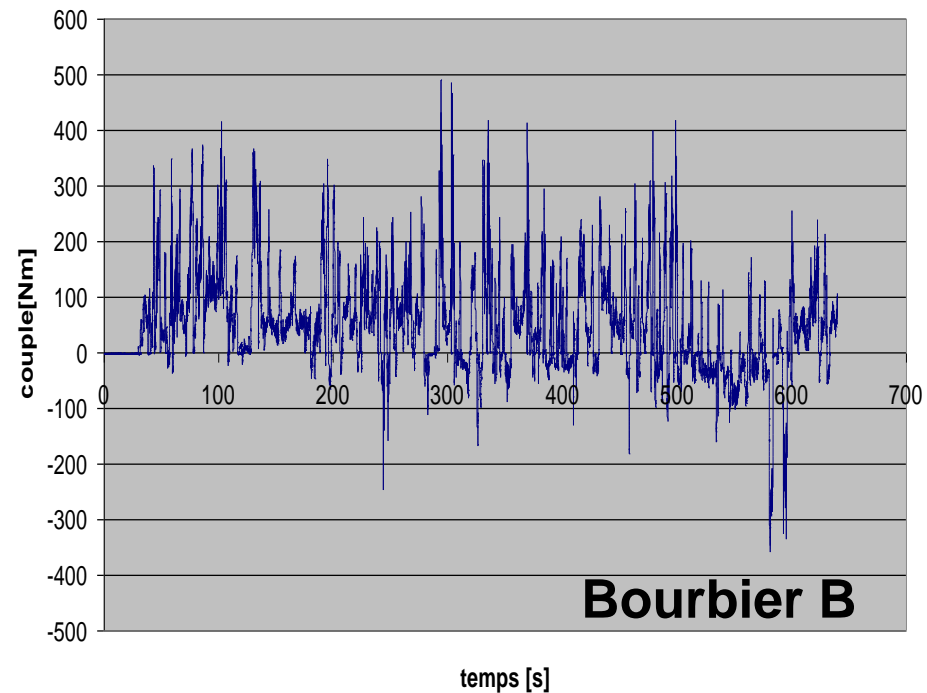
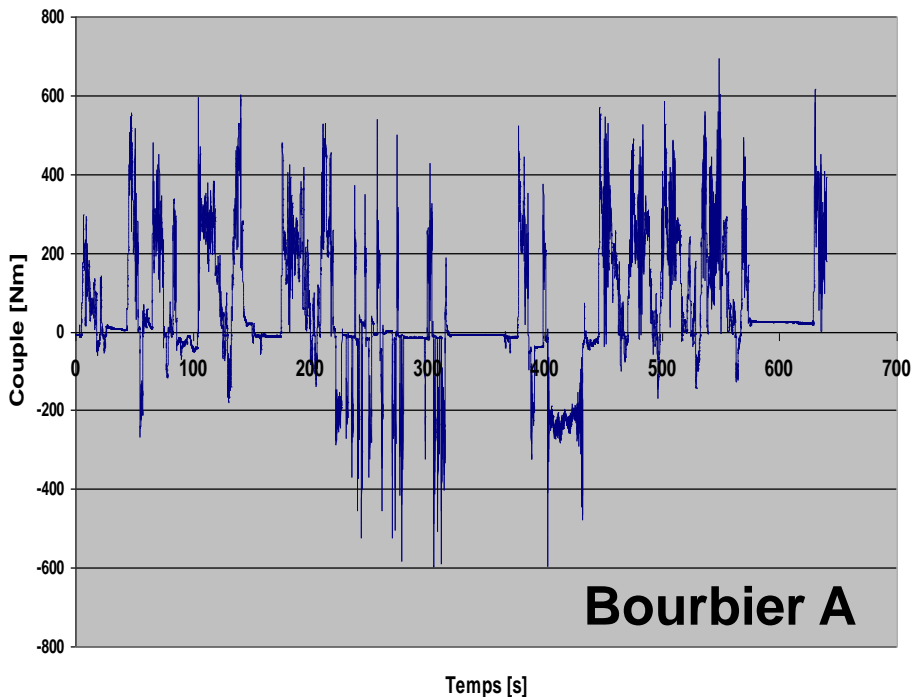
- **Phase 1:** Dépouillement, modélisation & corrélation
- **Phase 2:** Cumul de dommage sur profil enveloppe client

## 2) Modélisation – Processus



## 2) Modélisation – Dépouillement enregistrements

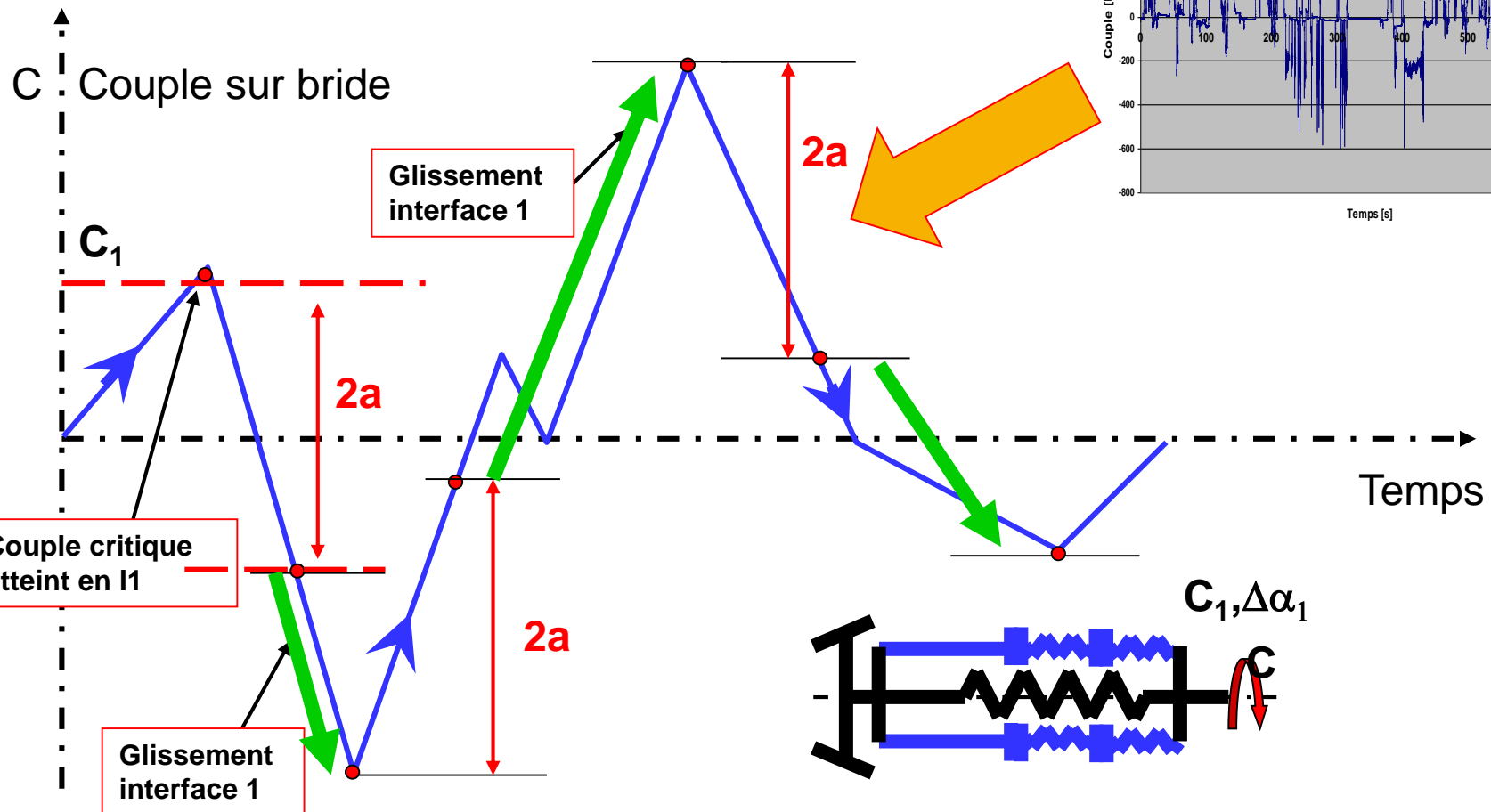
Roulage en bourbiers = Distance 4 km ( acquisition 50 hz, durée  $\approx$  1300s)



Mesures du couple de la transmission vers les roues arrières

## 2) Modélisation – Dépouillement enregistrements

**Hypothèse : seuil de glissement  $C_1$**



## 2) Modélisation – Dépouillement enregistrements

**Objectif: Caractériser les cycles simplifiés équivalents endommageants des profils clients**

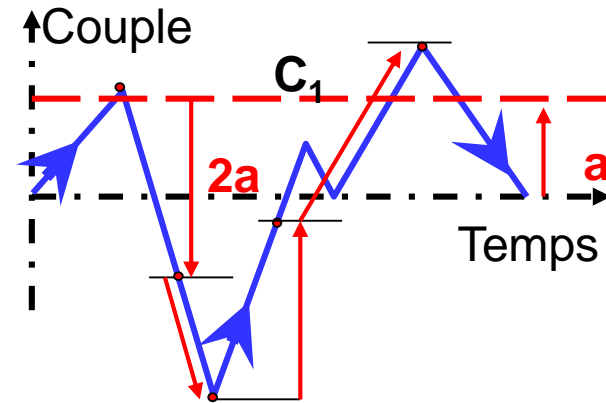
Glissement cumulé, amplitude de glissement moyen à chaque cycle, nombre de cycles, fréquence, température des interfaces.

Thermique déduite d'une analyse 1D à partir des hypothèses de glissement et de la vitesse véhicule et de l'environnement

Exemple:

4 km,  $C_1 = 300 \text{ Nm}$ , Couple moyen  $650 \text{ Nm}$ ,

147 cycles , Echauffement  $17^\circ\text{C}$ .



## 2) Modélisation – Le frottement

Interface glissante contrôlée par le facteur de frottement supposé variable à faible échelle de temps

Interface I:  $C_{\text{res}} = FR_i \varphi_i$

Distribution du facteur de frottement : 
$$\psi(\varphi) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{(\varphi - \varphi_m(d))^2}{2\sigma^2}\right)}$$

$\varphi_m$  facteur de frottement moyen évoluant au cours du glissement cumulé  $d$   
(variation très lente par rapport à  $\varphi$  instantané)

$\sigma$  écart type de la dispersion du facteur de frottement

La distribution de couple frottant pour l'interface I vaut

$$\psi_C(C) = \frac{1}{FR_i \sigma \sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{(C - C_{mi}(d))^2}{2(\sigma FR_i)^2}\right)}$$



## 2) Modélisation – Le frottement

La probabilité que l'interface I1 soit moins frottante que l'interface I2 vaut alors:

$$\text{Prob}(Cr1 < Cr2) = \int_{-\infty}^0 \frac{1}{F \sigma \sqrt{(R_1^2 + R_2^2)} 2\pi} e^{\left( \frac{(C - C_{m1}(t) + C_{m2}(d))^2}{2(\sigma F \sqrt{(R_1^2 + R_2^2)})^2} \right)} dC$$

La probabilité P1 pour que l'interface I1 soit la moins frottante des trois interfaces est :  $P1(d) = \text{Prob}(Cr1 < Cr2) * \text{Prob}(Cr1 < Cr3)$

Calcul à réaliser à chaque évolution de l'un des facteurs de frottement moyens

	<b>C<sub>r1</sub> mini</b>	<b>C<sub>r2</sub> mini</b>	<b>C<sub>r3</sub> mini</b>
<b>Probabilité</b>	<b>Prob(C<sub>r1</sub> &lt; C<sub>r2</sub>)*</b> <b>Prob(C<sub>r1</sub> &lt; C<sub>r3</sub>)</b>	<b>Prob(C<sub>r2</sub> &lt; C<sub>r1</sub>)*</b> <b>Prob(C<sub>r2</sub> &lt; C<sub>r3</sub>)</b>	<b>Prob(C<sub>r3</sub> &lt; C<sub>r2</sub>)*</b> <b>Prob(C<sub>r3</sub> &lt; C<sub>r1</sub>)</b>

## 2) Modélisation – L'usure

**Evolution lente frottement :**  $\varphi_m(d) = \varphi_{m0} + \Delta\varphi \tanh(k_0(d - k_1 L_{at}))$

Archard  
modifié

Effet  
fréquence

Effet  
température

Effet  
de  
latence

**Loi d'usure :**  $Usu = KN_{cy} A_{mp} P_{res}^\beta \left( a + \frac{b}{1 + cf_{req}} \right) \left( 1 + d(\theta - \theta_{ref})^\gamma \right) Y(d - L_{at})$

**Distance de latence:**

$$L_{at} = k \sqrt{P_{ref} \frac{S_i}{S_{ref}}} e^{-mA_{mp} f_{req}}$$

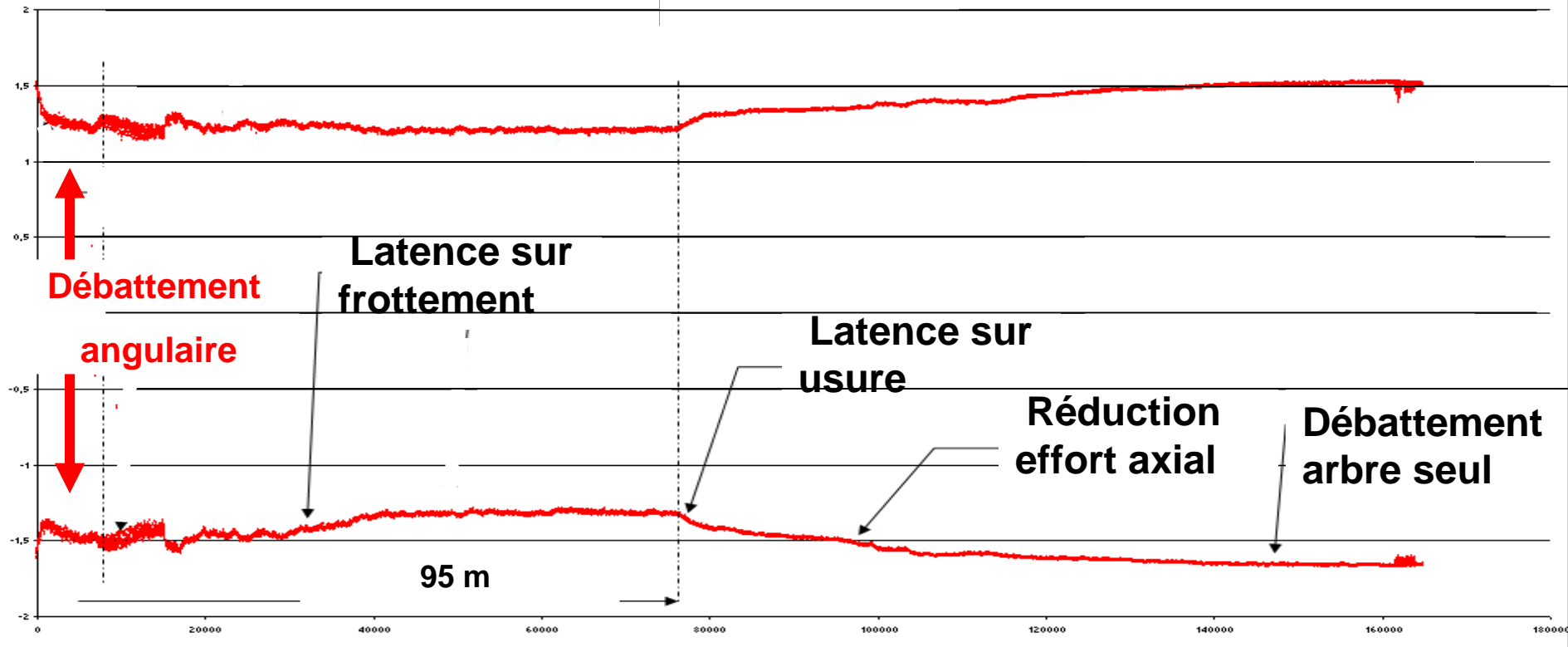
**Evolution des pressions de contact:**  $P_{res}(d) = \frac{F_{ref} - K_{ass} Usu(entretoise)}{S_i}$

$k_i = \text{cste}$ ;  $N_{cy}$  = nombre de cycles;  $A_{mp}$  = amplitude en torsion;

$P_{res}$  = pression de contact;  $S_i$  = surface de contact.

## 2) Modélisation – Recalage

Essai de torsion alternée sur banc d'essai  $\pm 800$  Nm à 1Hz



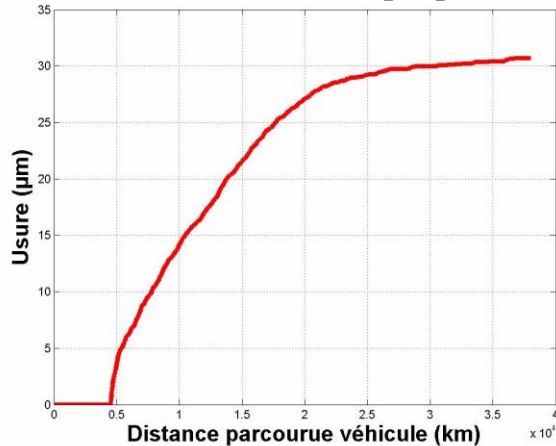
Recalage de la distance de latence, des paramètres des facteurs de frottement

- 1) Contexte de l'étude
- 2) Modélisation et simulation
- **3) Résultats**
- 4) Conclusion

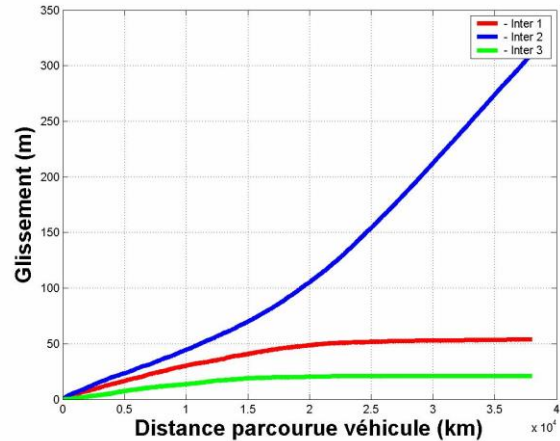
### 3) Dépouillement et analyse

## Simulation du roulage en borbier sur 40 000 km

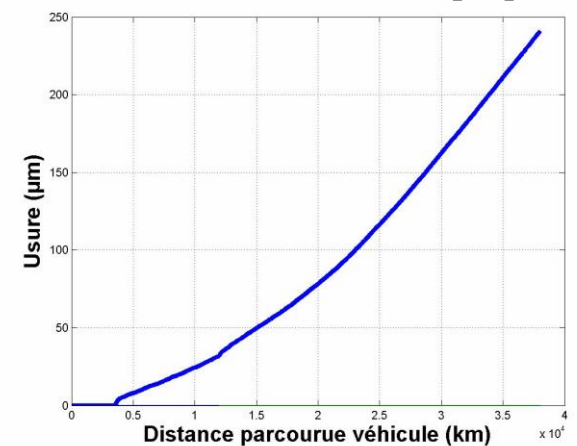
Usure Bride [I1]



Distance parcourue par l'interface

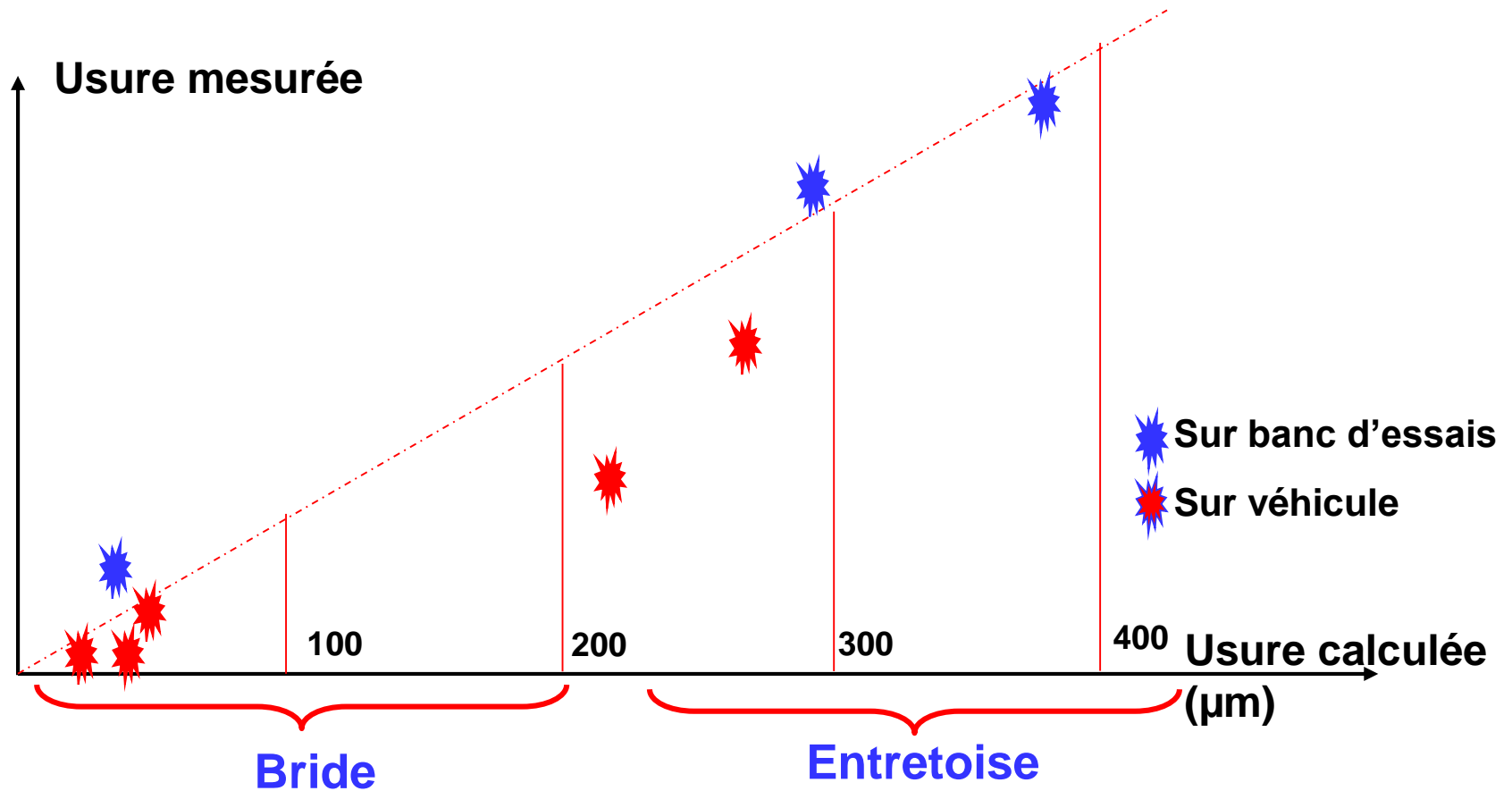


Usure entretoise [I2]



- Distances de glissement importantes : 50m pour la bride, 300 m pour l'entretoise
- Usures **Bride**  $\approx 30 \mu\text{m}$  ; **Entretoise**  $\approx 250 \mu\text{m}$

### 3) Dépouillement et analyse



- 1) Contexte de l'étude
- 2) Modélisation et simulation
- 3) Résultats
- **4) Conclusion**

## 4) Conclusion

- La modélisation simplifiée de l'usure recalée sur des essais au banc a permis:
  - de corrélérer de façon satisfaisante des résultats de roulage
  - d'estimer la durée de vie des profils clients enveloppe
  - d'établir une équivalence entre profil client et essai banc
  - de confirmer la robustesse des solutions testées.
  - In fine, de se soustraire à des essais de validation en roulage longs et coûteux
- Les approches 0D/1D constituent un outil performant pour répondre aux besoins industriels dans des délais très courts et contribuent au know how technique
- Ces approches permettent de mieux cibler les investigations et travaux de recherche complémentaires à engager : usure ( latence, dispersion, influence milieu)



**Merci de votre attention**

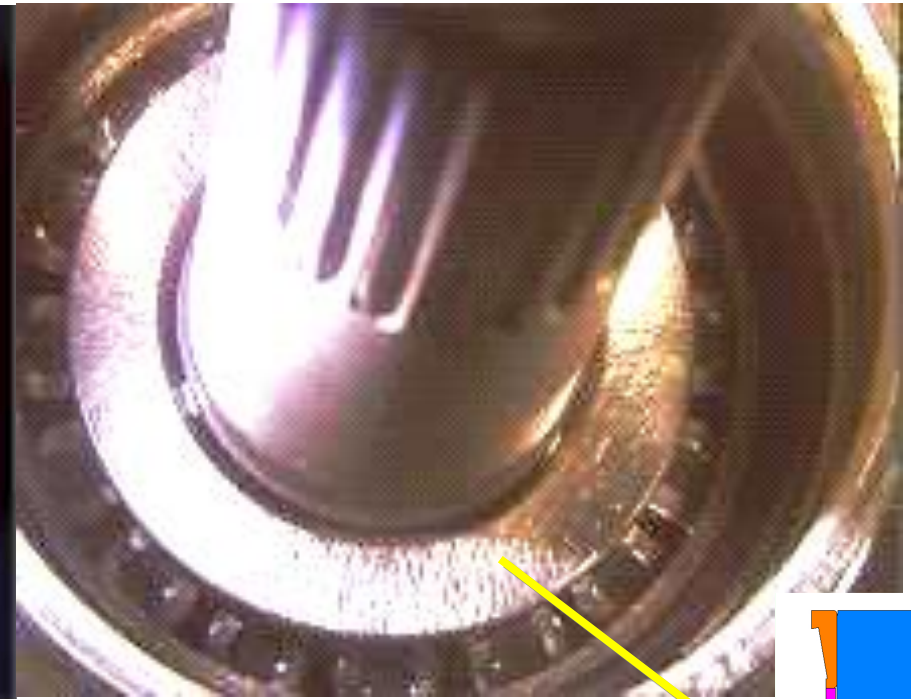
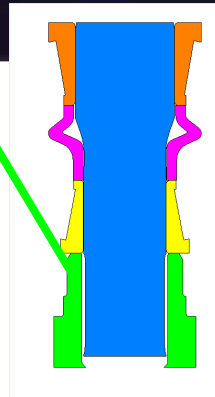


# 1) Contexte de l'étude – Faciès d'usure

Après 80 heures banc torsion à 850 Nm à 1 Hz



Interface I1 coté bride



Interface I1 coté roulement

