



Maimouna NIASS

## Chaîne de calcul d'usure sous sollicitation de fretting-fatigue Application aux contacts aubes-disque

Mastère spécialisé : design des matériaux et structures

### Encadrants:

Stéphanie Basseville :

Djamel Missoum- Benziane :

Georges Cailletaud :

Julien Leroux :

Université de Versailles Saint-Quentin

Mines ParisTech, Centre des Matériaux

Mines ParisTech, Centre des Matériaux

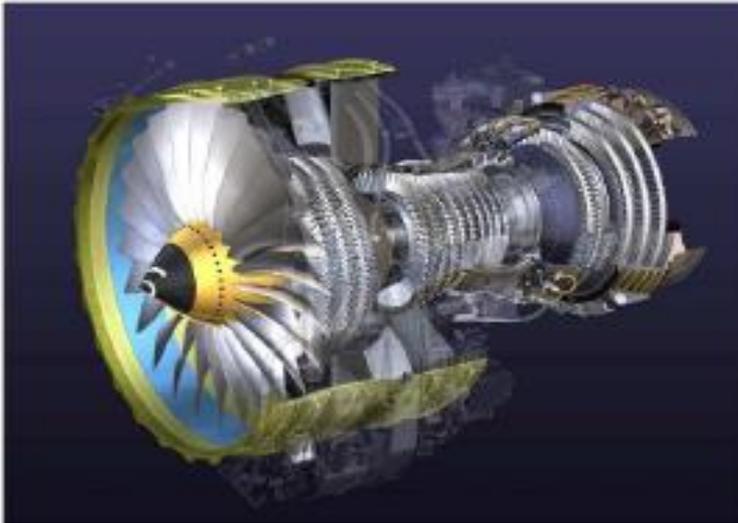
Département Méthodologies et Outils de développement, Snecma



dépasser les frontières



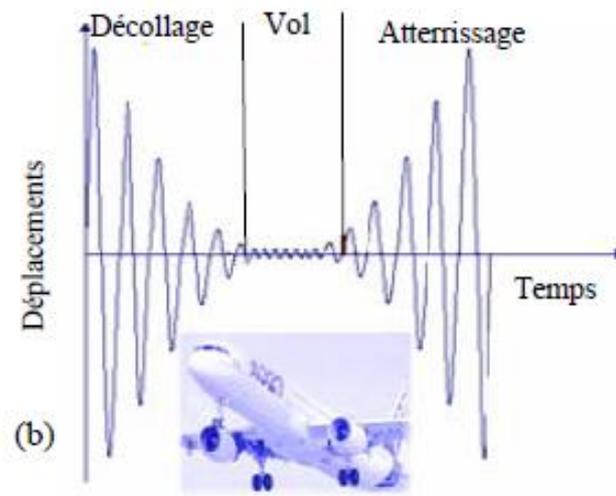
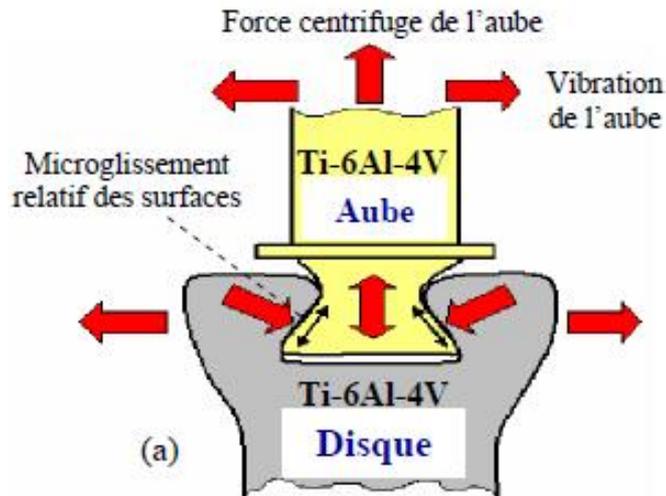
- Contexte industriel et objectifs du semestre industriel
- Synthèse bibliographique
  - Travaux sur le fretting fatigue
  - Travaux du LTDS
  - Modèle de fatigue
  - Modèle d'usure
- Méthodes de remaillage
- Cas test : résultats et discussion
  - Maillage et mise en données
  - Présentation de l'algorithme général
  - Etude de la sensibilité des paramètres de calcul
  - Etude de la « carte de fretting »
- Conclusion et perspectives



Vue en coupe d'un turboréacteur double flux

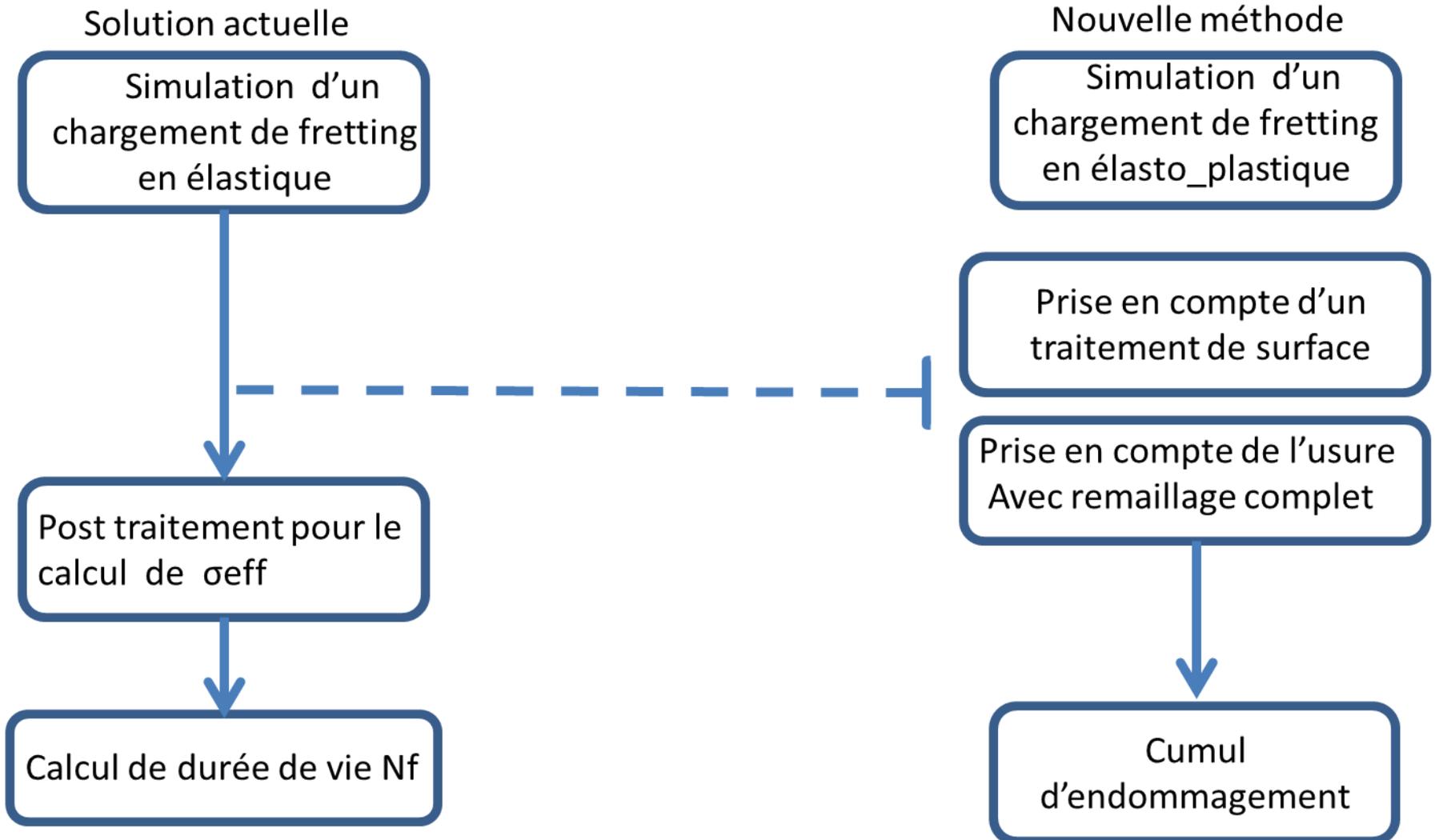


Bloc fan avec vue sur les aubes du disque



Zones sollicitées en fretting et variation de l'amplitude de débattement pendant le fonctionnement

## Chaîne de calcul



Amélioration de la méthode Snecma

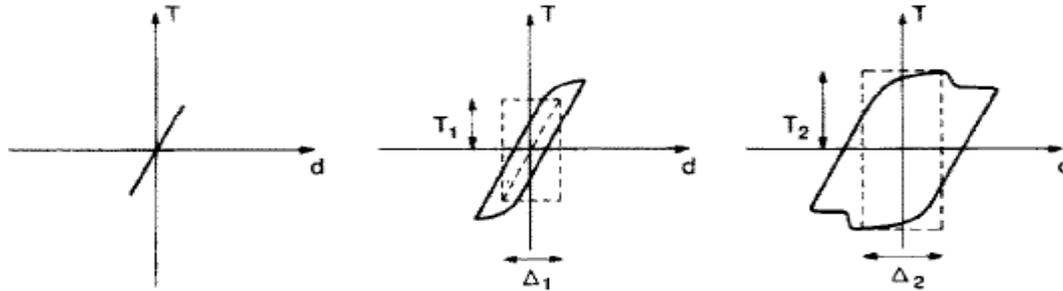
Contexte industriel et objectifs du semestre industriel

# Synthèse bibliographique

1953 Archard : *Contact and rubbing of flat surfaces*

$$V = \frac{KP\delta}{H}$$

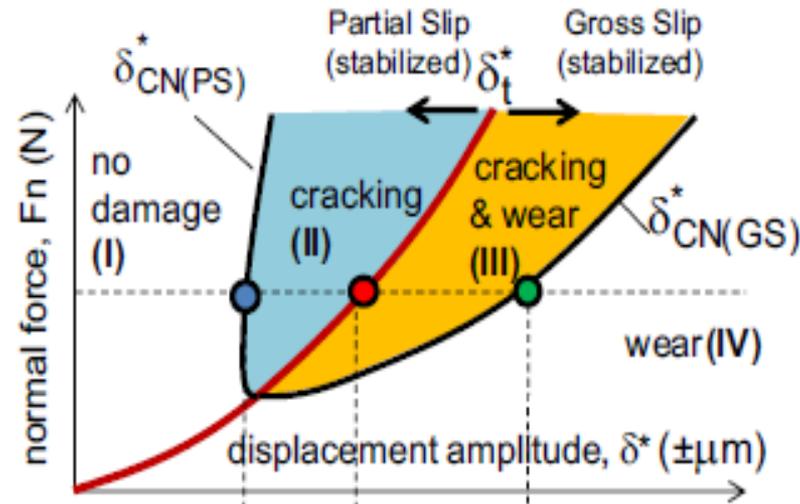
1988 Vingsbo : *On Fretting Maps*



Régime de Glissement

1992 Vincent : *Mechanics and materials in fretting*





Carte de fretting [Garcin, 2015]

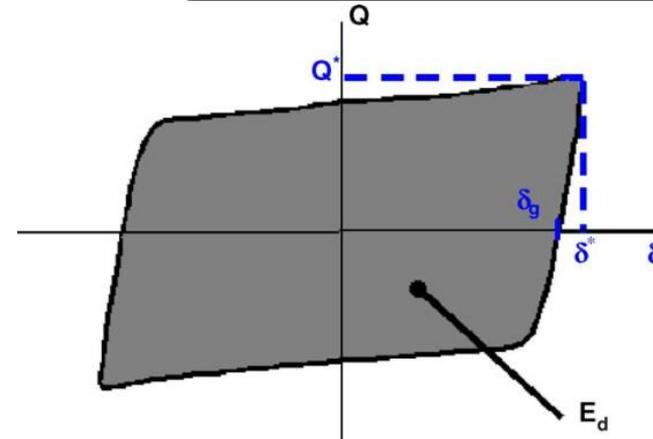
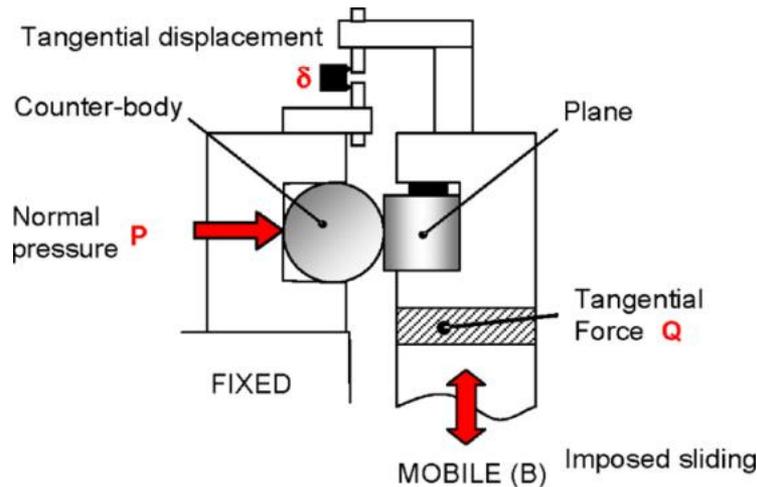
2007 E. Héripré : *Etude de l'effet du revêtement sur le comportement en fretting*

2007 Mary et Fouvry : *Numerical prediction of fretting contact durability using energy wear approach: Optimisation of finite-element model*

Expérimentation  
et simulation

Développement d'une loi  
d'usure locale en  
approche énergétique  
 $\delta h = k * \delta E$

Mise au point d'une méthodologie de  
présélection de revêtement et traitement de  
surface pour les applications tribologiques.  
Grâce à des mesures expérimentales



2015 S. Garcin : *A FEM fretting map modeling: Effect of surface wear on crack nucleation*

- Estimation de l'usure ( $h$ ) et estimation de la durée de vie à l'amorçage (SWT, Miner)

- Le critère Smith-Watson -Topper (SWT)

$$\sigma_{eff} = \sqrt{E \frac{\Delta\sigma}{2} \frac{\Delta\varepsilon}{2}} \quad \xrightarrow{\text{Prise en compte de } \bar{\sigma}} \quad \sigma_{eff} = \sqrt{E \frac{\Delta\sigma}{2} \frac{\Delta\varepsilon}{2} f\left(\frac{\Delta\sigma}{2}, \bar{\sigma}\right)}$$

$$\text{Basquin \& Manson Coffin} \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta\varepsilon}{2} = \frac{\Delta\varepsilon^p}{2} + \frac{\Delta\varepsilon^e}{2} = AN_f^{-\alpha} + BN_f^{-\beta}$$

$$\sigma_{eff} = F(N_f) = E * \sqrt{ABN_f^{-\alpha-\beta} + B^2N_f^{-2\beta}}$$

- Loi d'endommagement linéaire : Miner

$$\Delta D_{(i)} = \frac{N_{(i)}}{N_{f(i)}} \quad \text{et} \quad D = \sum_i \Delta D_{(i)}$$

- L'érosion  $\delta h_i^p$  au point  $i$  d'un profil  $p$  dépend de l'énergie dissipée  $\delta \bar{E}_i^p$

$$\delta h_i^p = k \delta \bar{E}_i^p$$

- Linéarisation pour  $N$  cycles appliqués au profil  $p$

$$\Delta h_i^p = N \delta h_i^p$$

- Usure à nombre de cycles donné  $N_0$  [Mary, 2007]

$$h_i = \sum_p \Delta h_i^p = N_0 \sum_p \delta h_i^p, \quad N = p N_0$$

- Usure à hauteur maximale contrôlée  $\Delta h_0$  [Pour la chaîne]

$$N_p = \min_i \Delta h_0 / \delta h_i^p$$

$$h_i = \sum_p \Delta h_i^p = \sum_p N_p \delta h_i^p, \quad N = \sum_p N_p$$

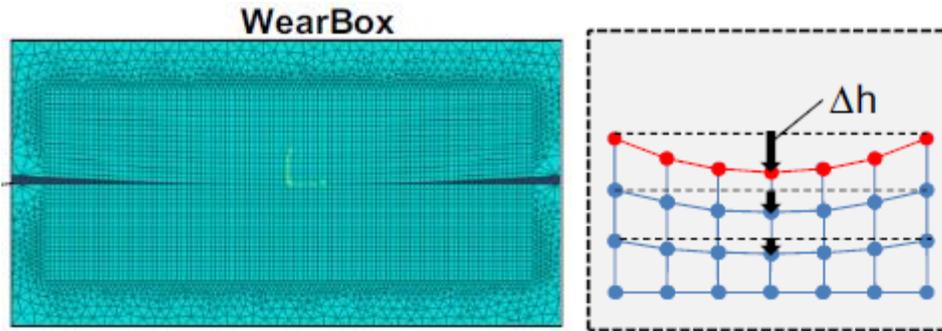


Illustration du Wearbox [Garcin, 2015]

- Modification de la géométrie de surface

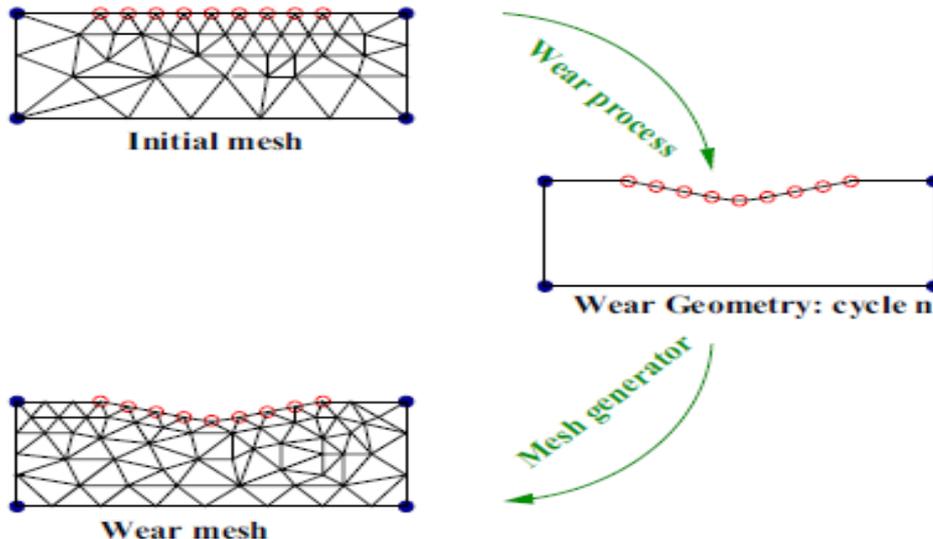
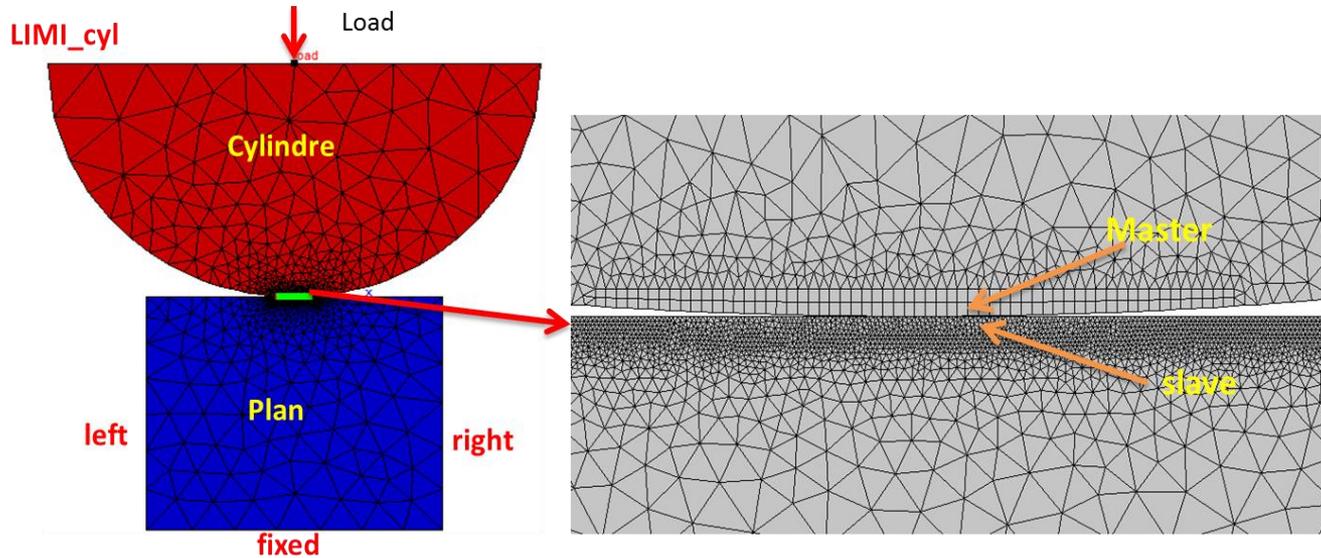


Illustration du remaillage [Basseville, 2013]

- Redéfinition contour géométrie avec application de l'usure
- Remaillage

## Cas test : résultats et discussion

## Etude élastique en 2D (déformations planes)



Rayon cylindre = 10mm  
Éléments linéaires : 6263  
Maille minimale 10 $\mu$ m

Maillage de l'ensemble plan/cylindre et zoom sur la zone de contact

## Caractéristiques matériau : Ti-6Al-4V

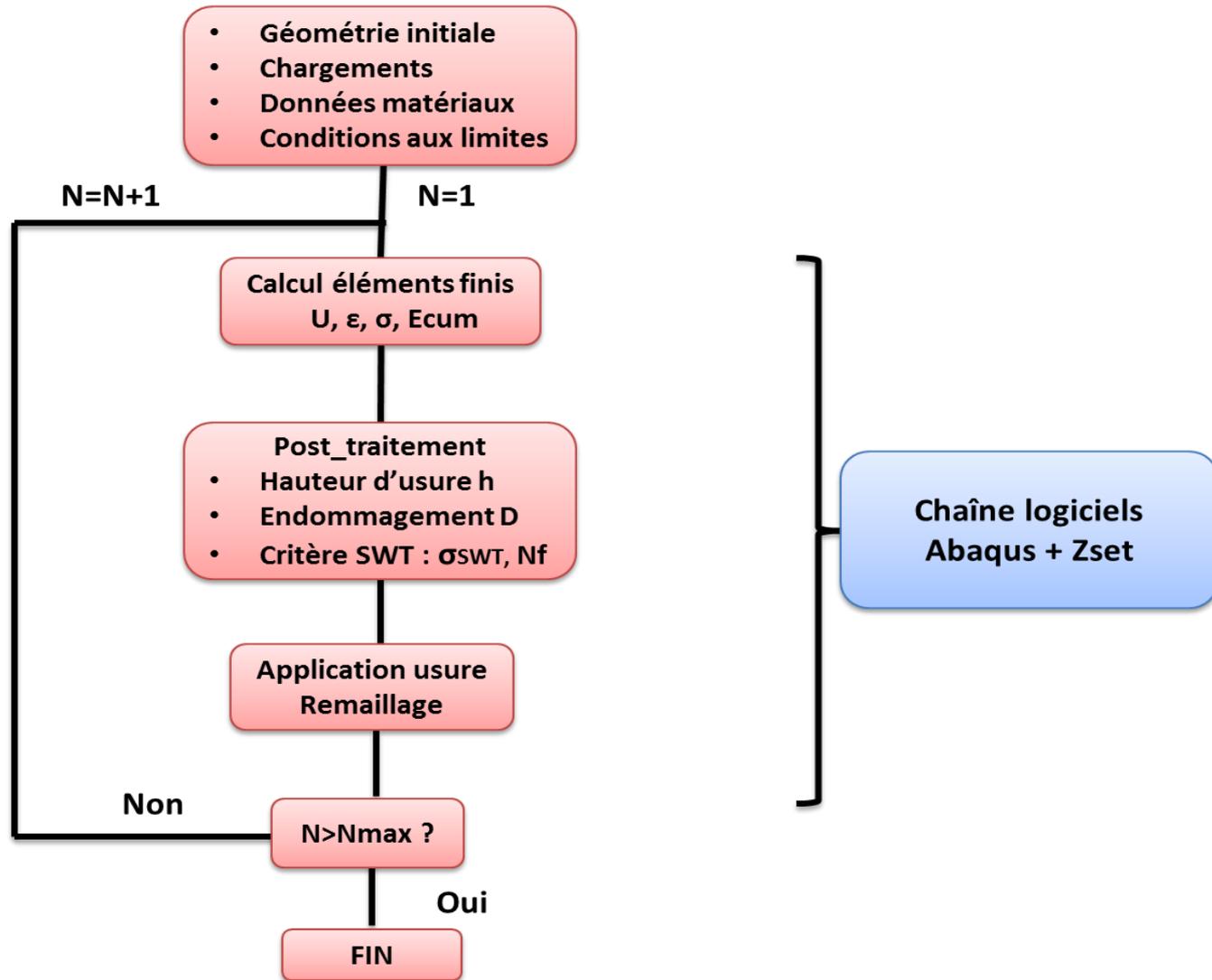
Grandeurs	E (MPa)	$\nu$	$\mu$	Rp02 (MPa)	Rm (MPa)	$\sigma_l$ (MPa)
Valeurs	119 000	0.33	0.8	850	1000	523

### Conditions limites

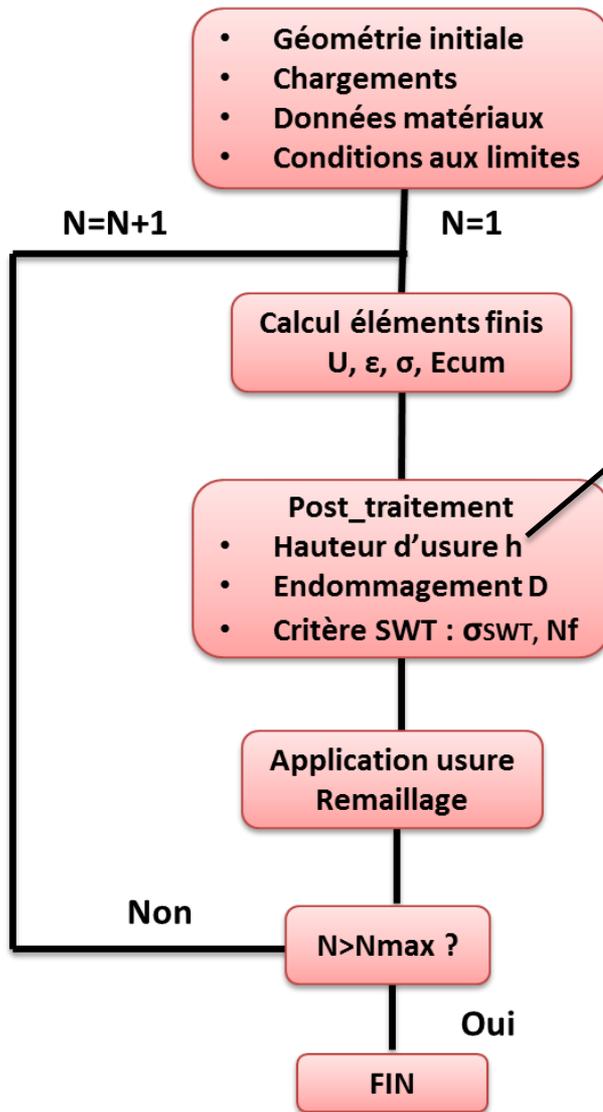
- Encastrement Nsets : left, right, fixed

### Chargements :

- Force normale au noeud : load
- Déplacement tangentiel Nset : LIM1\_cyl



# Etude de la sensibilité des paramètres de calcul

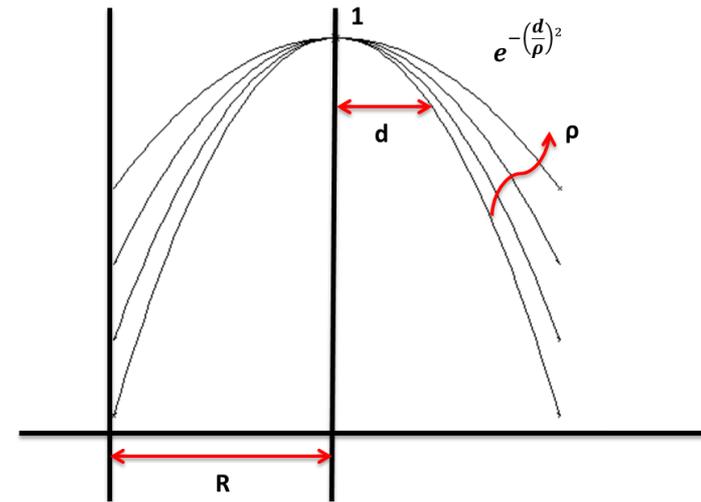


**Smoothing\_radius R** : Rayon de la zone d'influence

**Smoothing\_coef ρ** : Caractéristique de la non-linéarité de la pondération

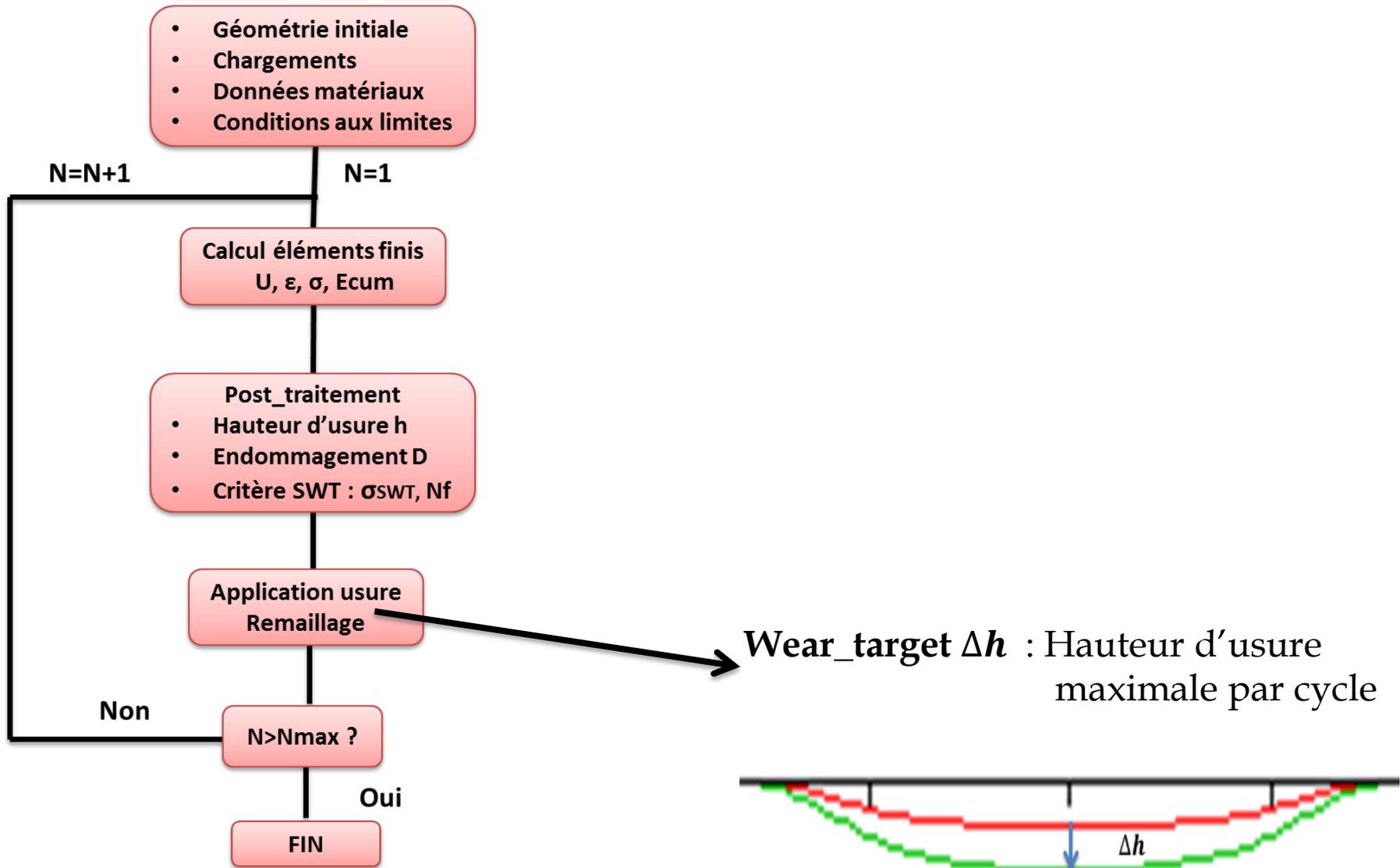
$\bar{E}$  tel que :

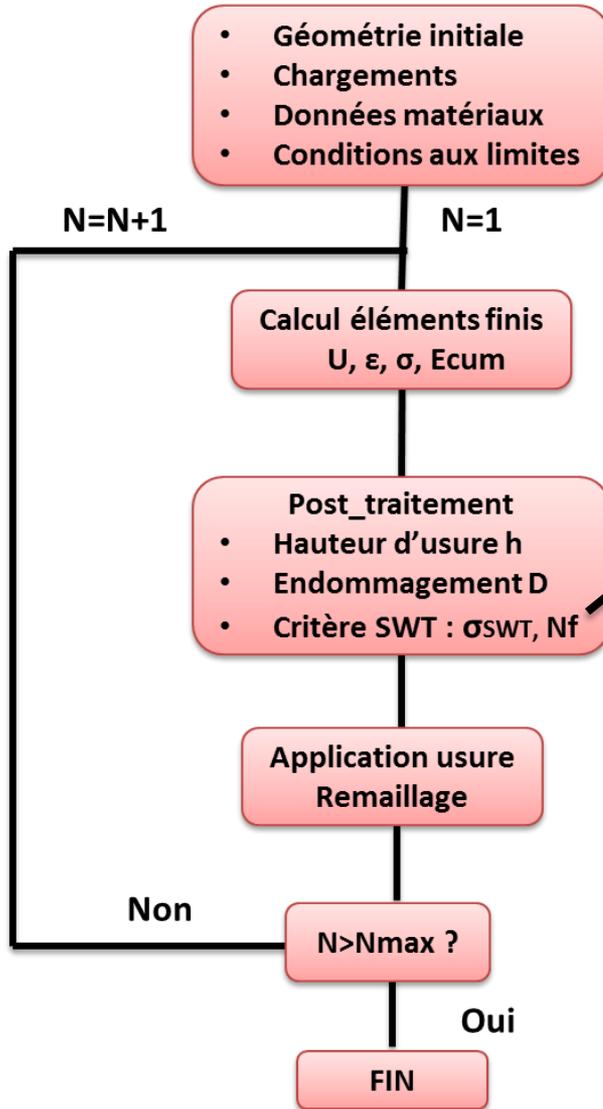
$$\bar{E} = \frac{\sum_{d(i) < R} E(i) \exp\left(-\left(\frac{d(i)}{\rho}\right)^2\right)}{\sum_{d(i) < R} \exp\left(-\left(\frac{d(i)}{\rho}\right)^2\right)}$$



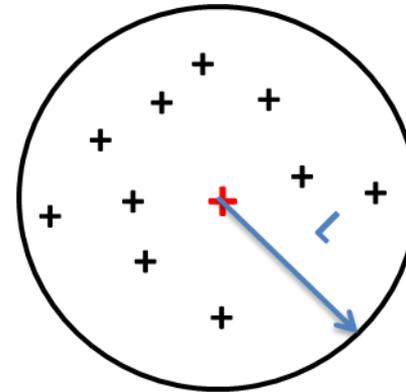
Lissage de l'énergie dissipée

# Paramètres du modèle d'usure





Length L : Paramètre de lissage pour le modèle d'amorçage de fissure

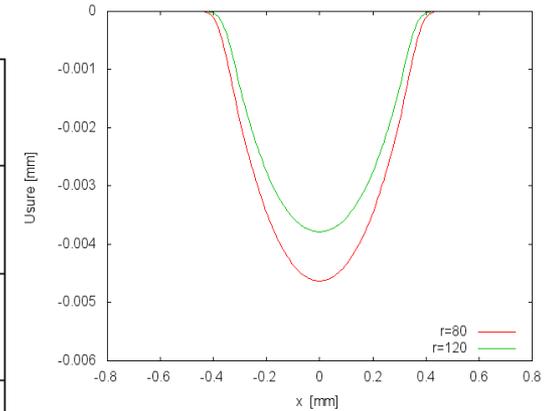
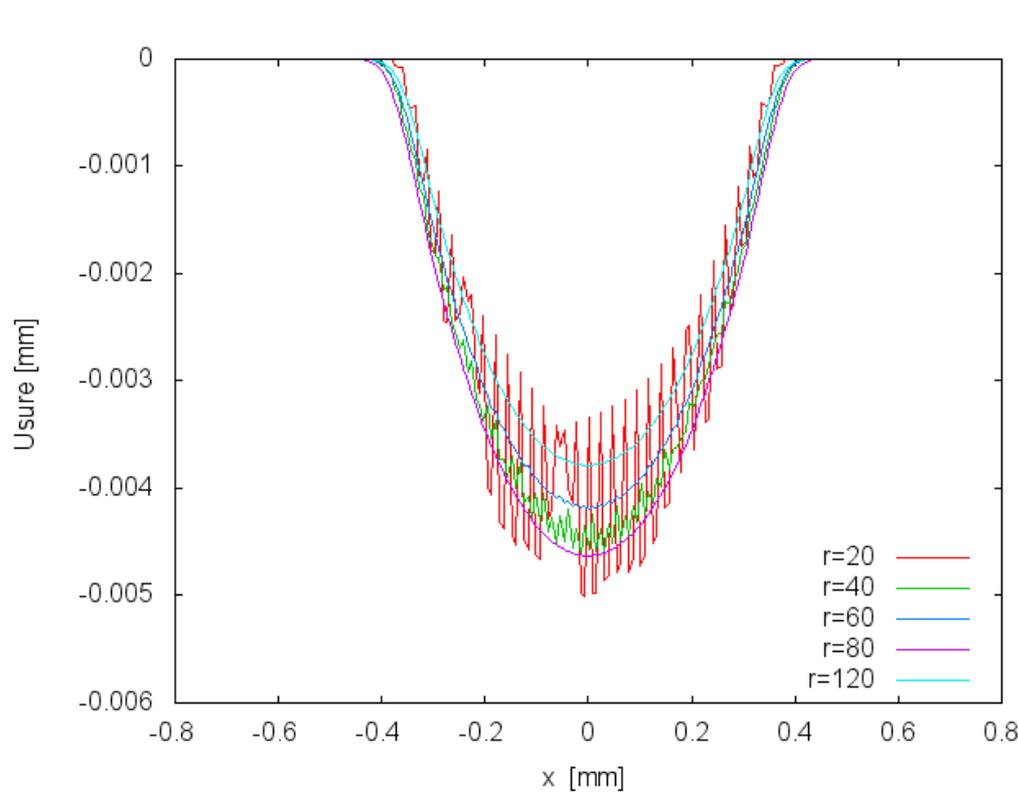


$$\sigma_{moy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sigma(i)$$

$P=345\text{N/mm}$

$\delta=40\mu\text{m}$

Profil 25



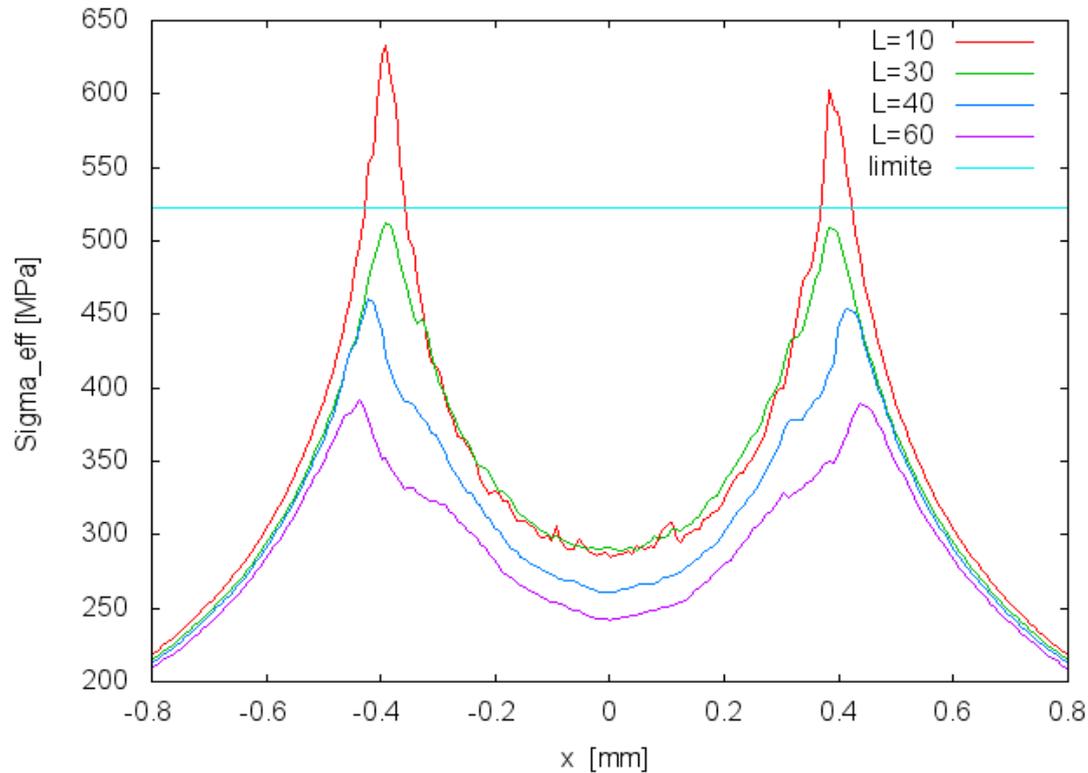
$\rho=40\ \mu\text{m}$ ,  $L=40\ \mu\text{m}$ ,  $\Delta h=0,2\ \mu\text{m}$ ,  $k=4.10^{-7}\ \text{mm/mJ}$

R ( $\mu\text{m}$ )	20	40	60	80	120
Nombre de cycles simulés	6300	7308	7560	7756	7392

$P=345\text{N/mm}$

$\delta=40\mu\text{m}$

Profil 25

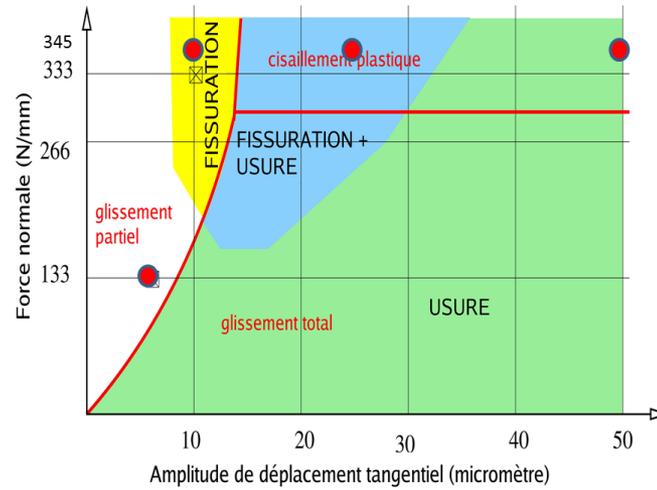


$R=40\mu\text{m}$ ,  $\rho=40\mu\text{m}$ ,  $\Delta h=0,2\mu\text{m}$ ,  $k=4 \cdot 10^{-7}\text{ mm/m}$

L ( $\mu\text{m}$ )	10	30	40	60
Nombre de cycles simulés	7840	7616	7952	7752

## Etude de la « carte de fretting »

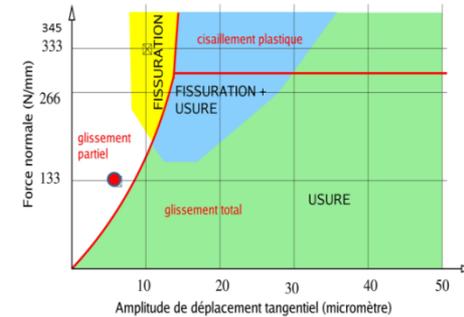
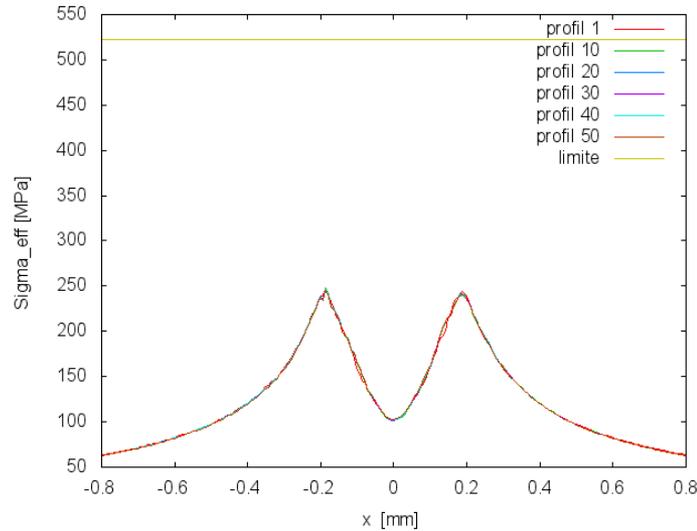
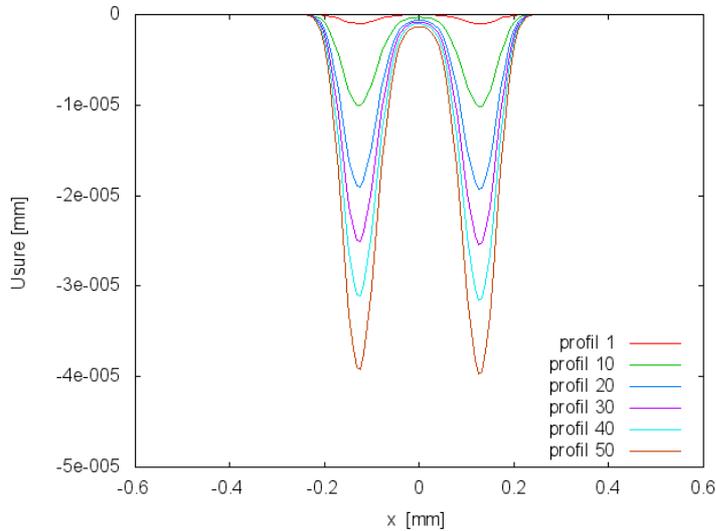
- Quatre points de fonctionnement sur la « carte de fretting » :



Points étudiés sur la « carte de fretting » [Fridrici, 2002]

Mode d'endommagement	Sans dégradation	Fissuration	Compétition fissure-usure	Usure pure
Force(N/mm)	133	345	345	345
Déplacement tangentiel (μm)	5	10	25	50

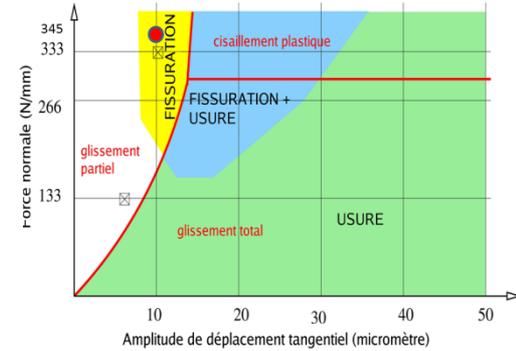
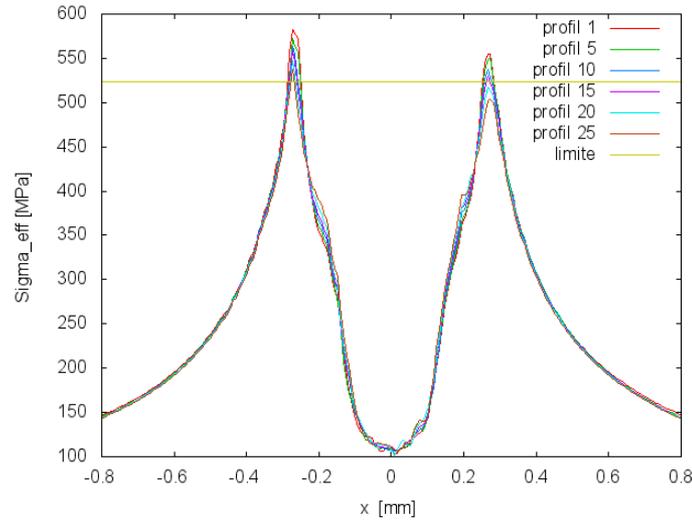
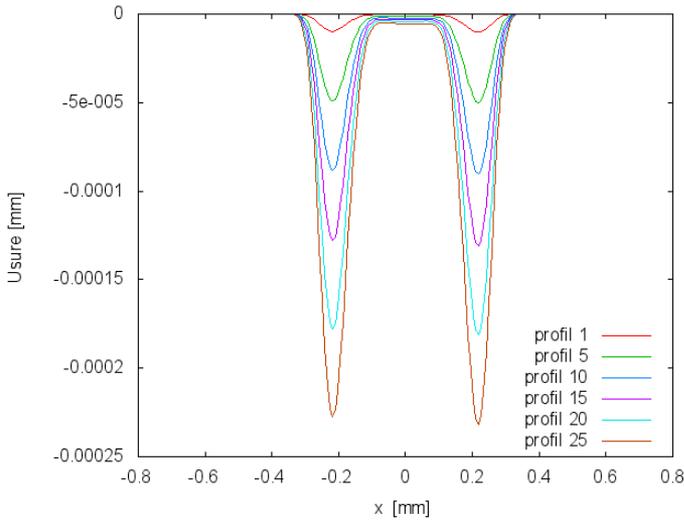
- Pas d'usure, pas d'amorçage de fissures



$R=80\mu\text{m}$ ,  $\rho=40\mu\text{m}$ ,  $L=40\mu\text{m}$ ,  $\Delta h=10^{-3}\mu\text{m}$ ,  $k=4.10^{-7}\text{mm/mJ}$

Numéro de profil	1	10	20	30	40	50
Nombre de cycles simulés	392	3948	7868	11788	15708	19628

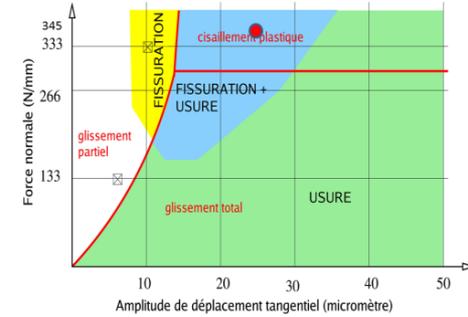
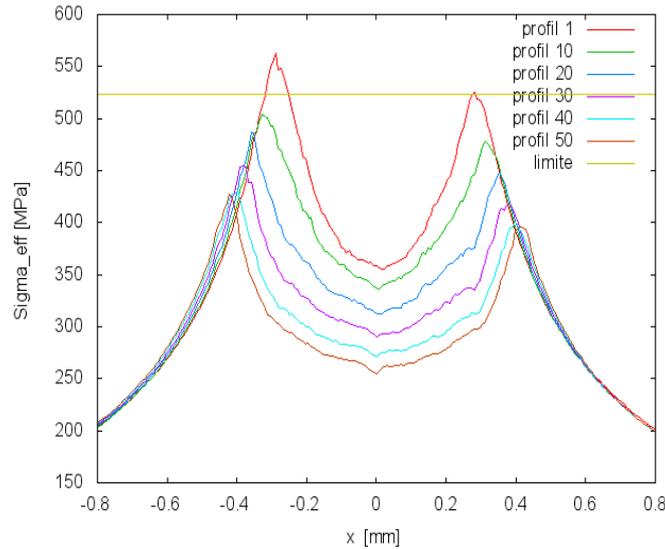
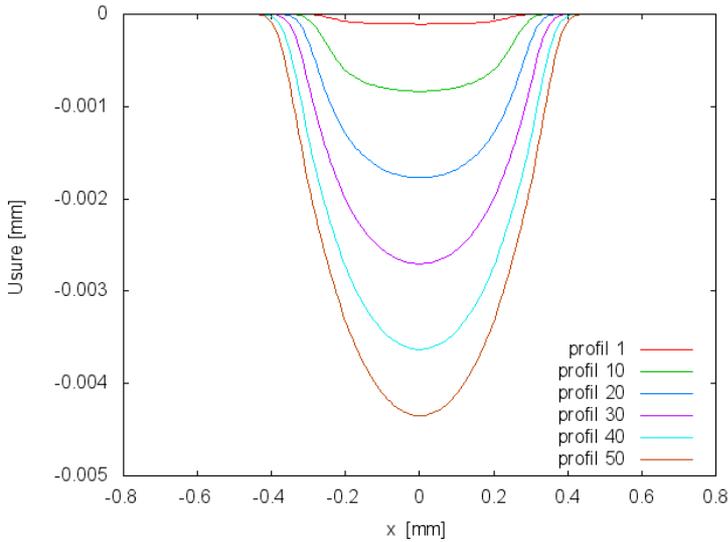
- Amorçage de fissures



$R= 80 \mu\text{m}$ ,  $\rho=40 \mu\text{m}$ ,  $L=40\mu\text{m}$ ,  $\Delta h=10^{-2}\mu\text{m}$ ,  $k=4.10^{-7} \text{ mm/mJ}$

Numéro de profil	1	5	10	15	20	25
Nombre de cycles simulés	1204	6020	12040	18060	24080	30100

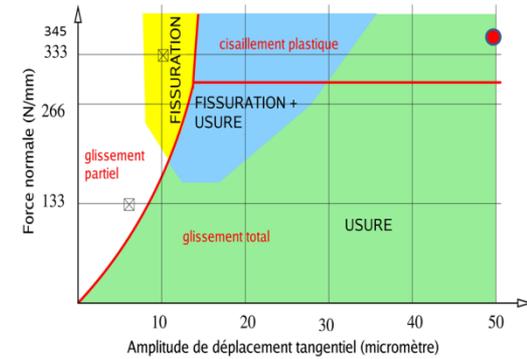
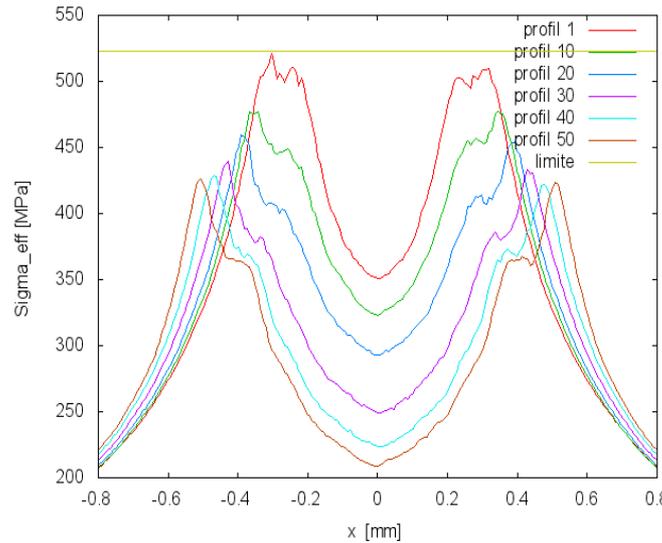
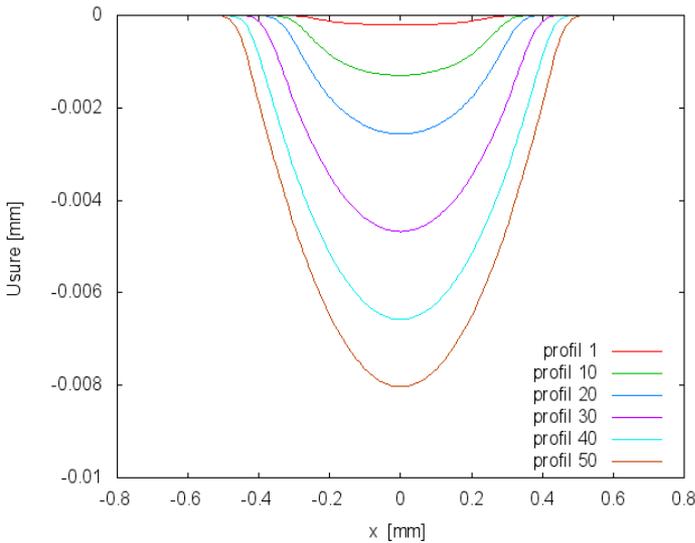
- Amorçage de fissures, usure



$R= 80 \mu\text{m}$ ,  $\rho=40 \mu\text{m}$ ,  $L=40\mu\text{m}$ ,  $\Delta h=0.1\mu\text{m}$ ,  $k=4.10^{-7}\text{mm/mJ}$

Numéro de profil	1	10	20	30	40	50
Nombre de cycles simulés	364	3640	7448	11508	15792	20328

- Usure pure



$R= 80 \mu\text{m}$ ,  $\rho=40 \mu\text{m}$ ,  $L=40\mu\text{m}$ ,  $\Delta h=0.2 \mu\text{m}$ ,  $k=4.10^{-7}\text{mm/mJ}$

Numéro de profil	1	10	20	30	40	50
Nombre de cycles simulés	168	1848	3864	6244	9016	12096

- Etat de l'art effectué
- Paramètres retenus dans l'étude de sensibilité
  - Rayon utilisé pour l'usure :  $R = 80\mu\text{m}$
  - Rayon utilisé pour l'amorçage :  $L = 40\mu\text{m}$

Ces résultats sont-ils valables pour :

Une géométrie différente ?

Un gradient différent ?

Une autre échelle ?

- Carte fretting : résultats cohérents

Continuer à étudier l'algorithme

- Comparaison simulation VS expérience
- Réexamen du paramétrage en plasticité 2D
- Etude du contact métal-revêtement-métal, comparaison problème revêtu et non revêtu
- Etude en plasticité 3D
- Application à une éprouvette technologique
- Application sur le système aube-disque

Merci de votre  
Attention