

Simulation de l'usure abrasive des contacts glissants sous Cast3M (2D)

Ingénieur Développement LTDS : S. Garcin

Responsable scientifique LTDS : S. Fouvry

Collaborateur CEA : M. Breuze

Thésard CEA / LTDS : E. Marc



Laboratoire de
Tribologie et
Dynamique des
Systèmes

LTDS UMR 5513

<http://ltds.ec-lyon.fr>



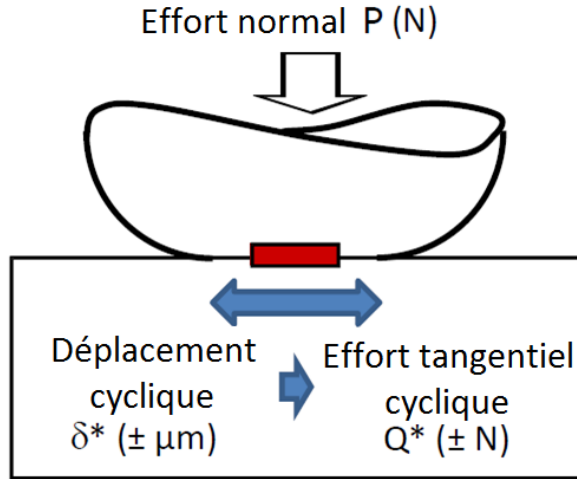
0. Introduction à la problématique « Fretting Wear »
1. Principes de la simulation de l'usure par abrasion
2. Implémentation Cast3M
3. Application : Résultats d'usure par fretting wear
4. Potentiel d'utilisation et perspectives d'améliorations



0. Introduction à la problématique « Fretting Wear »



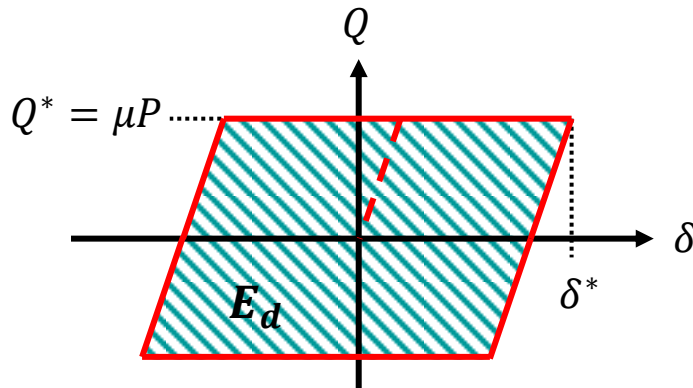
Mécanique du contact : micros oscillations d'un contact chargé



Paramètres décrivant le chargement :

- Matériaux
- Géométrie de contact
- Effort normal P et amplitude de déplacement δ^*
- Coefficient de friction μ
- Nombre de cycles N_c (10^4 à 10^5)

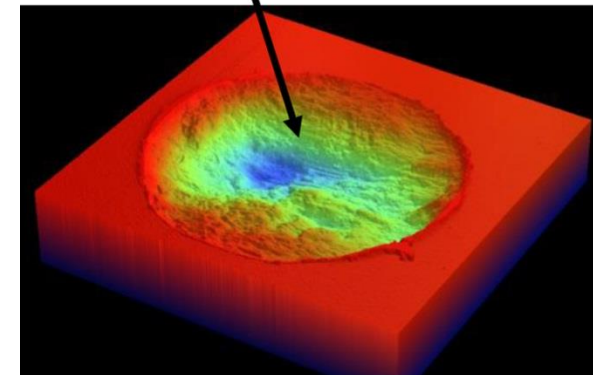
Cycle de fretting ($Q; \delta$)



E_d l'énergie dissipée par friction (J)

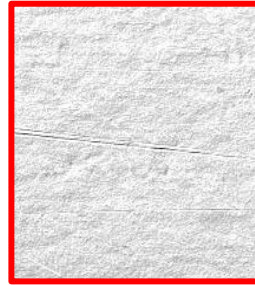
Observation du phénomène d'usure :

V_u le volume usé (mm^3)





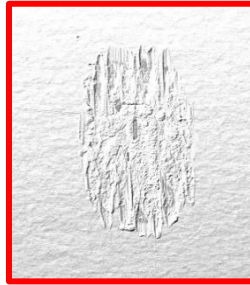
Impact de la progression de l'usure sur la Mécanique du Contact



$$N_C = 0$$

$$A_c = A_0 = 28e3 \mu\text{m}^2$$

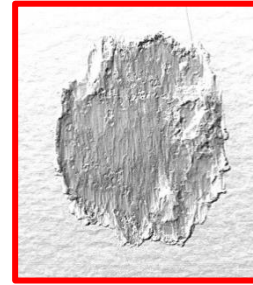
$$P_{moy} = P_0$$



$$N_C = 500$$

$$A_c = 40e3 \mu\text{m}^2$$

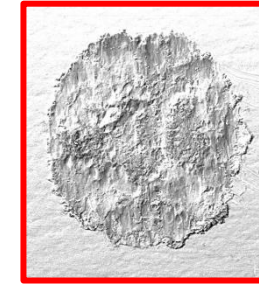
$$P_{moy} = 0,7 P_0$$



$$N_C = 15\ 000$$

$$A_c = 63e3 \mu\text{m}^2$$

$$P_{moy} = 0,44 P_0$$



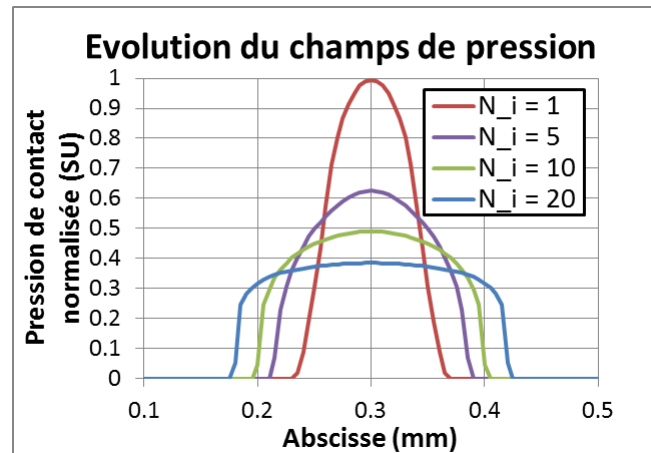
$$N_C = 72\ 000$$

$$A_c = 86e3 \mu\text{m}^2$$

$$P_{moy} = 0,33 P_0$$

Réduction de la pression avec la progression de l'usure :

→ Le phénomène d'usure impacte **progressivement** l'interface de contact



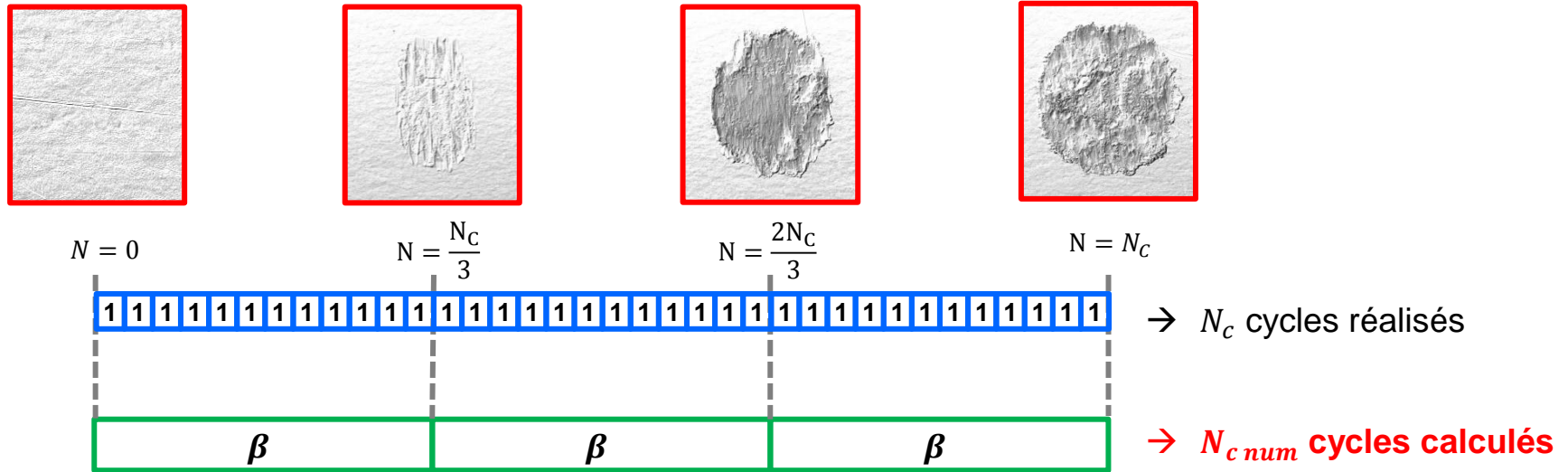


1. Principes de la simulation de l'usure par abrasion

- *Principe d'accélération*
- *Principe d'application d'usure*
- *Données d'usure*
- *Principe d'usure numérique*

1. Principes de la simulation de l'usure par abrasion

Principe d'accélération : Réduction du nombre de cycles à calculer



Processus d'usure lent \rightarrow Application d'un facteur d'accélération β

1 cycle numériques $\equiv \beta$ cycles expérimentaux

$$\boxed{1} \rightarrow \times \beta$$

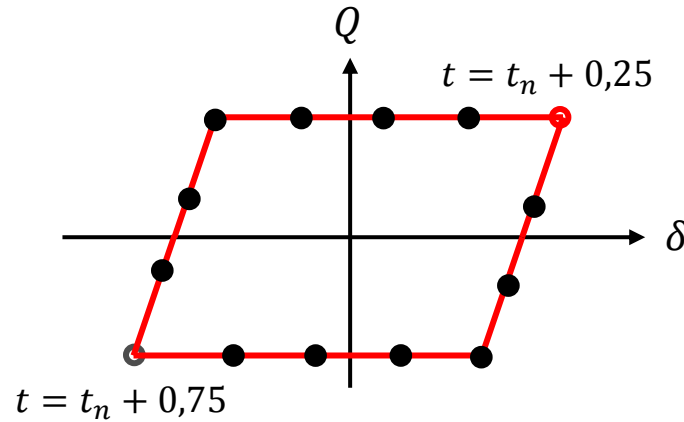
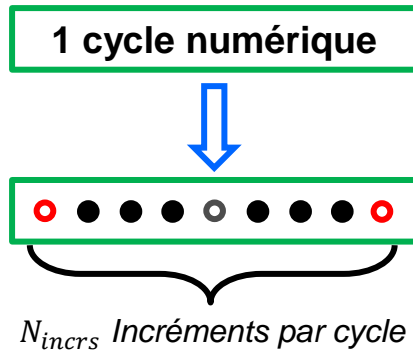
$$\boxed{N_{c\ num} = \frac{N_c}{\beta}}$$

\rightarrow Procédé incrémental

1. Principes de la simulation de l'usure par abrasion



Principe d'application d'usure :

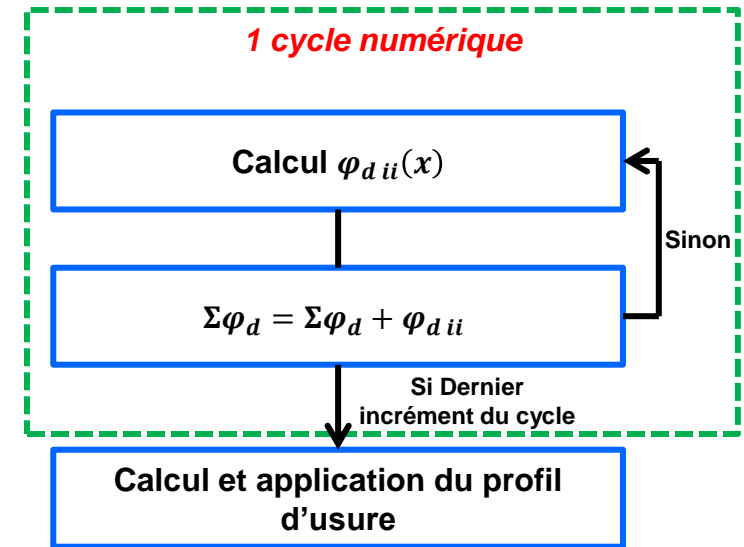


→ Calcul de la densité d'énergie dissipée à chaque incrément ii : $\varphi_{d\ ii}(x)$

→ Somme de la densité d'énergie dissipée à chaque incrément :

$$\Sigma\varphi_d(x) = \sum_{ii}^{N_{incrs}} \varphi_{d\ ii}(x)$$

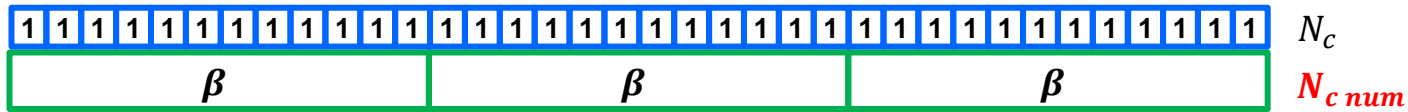
→ Dernier incrément du cycle : Calcul et application du profil d'usure



1. Principes de la simulation de l'usure par abrasion



Bilan de réduction du problème d'usure :



Pour chaque cycle numérique :



→ Boucle d'application d'usure sur les cycles numériques

1

→ Boucle de cumul de la densité d'énergie dissipée $\Sigma\varphi_d$

+

→ Calcul puis application du profil d'usure à la fin de chaque cycle

2

→ Double boucle :

(1) et (2)

→ 2 aspects à détailler :

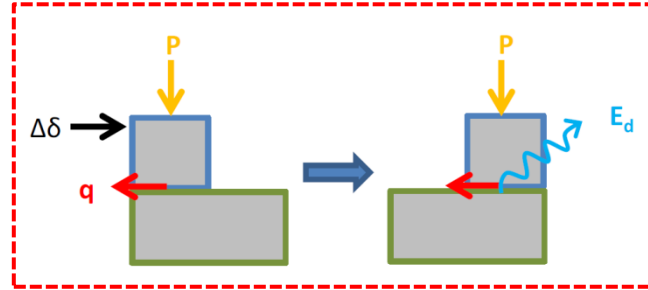
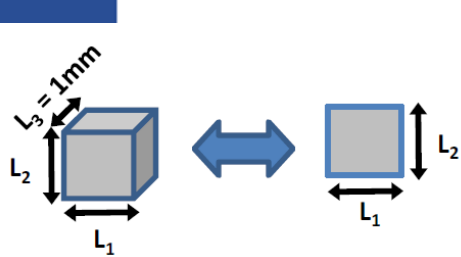
- Données d'usure :
 - Densité d'énergie dissipée et loi d'usure
 - Profil d'usure
- Principe d'usure numérique :
 - Usure élémentaire
 - Profil d'usure et répartition volumique

1. Principes de la simulation de l'usure par abrasion



Données d'usure : *Densité d'énergie dissipée et loi d'usure*

Cas d'un frottement élémentaire :



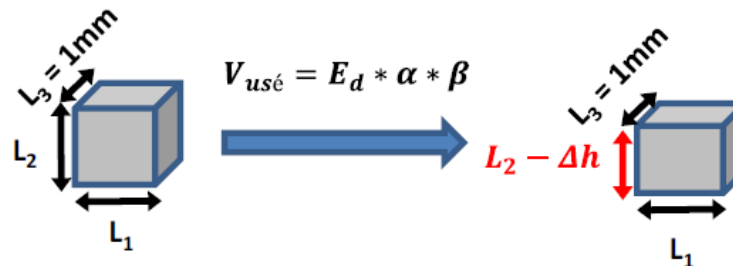
$E_d = |q * \Delta\delta|$ l'énergie dissipée par frottement
avec $|q| = |P * \mu|$

$\varphi_d = \frac{E_d}{L_1 * L_3}$ la densité d'énergie dissipée

Loi d'usure énergétique

$$\Delta h = \frac{V_{usé}}{L_1 * L_3} = \varphi_d * \alpha * \beta$$

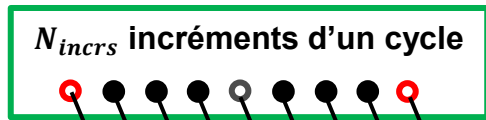
Notation	Signification
φ_d	Densité d'énergie dissipée
α	Coefficient d'usure énergétique
β	Facteur d'accélération
$V_{usé}$	Volume usé
Δh	Hauteur usée



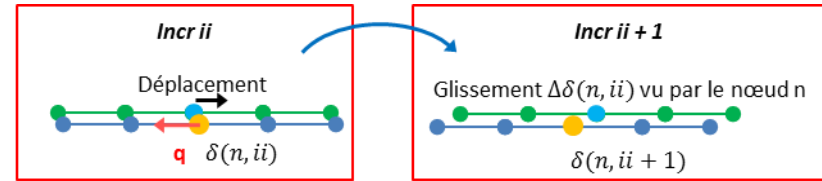
1. Principes de la simulation de l'usure par abrasion



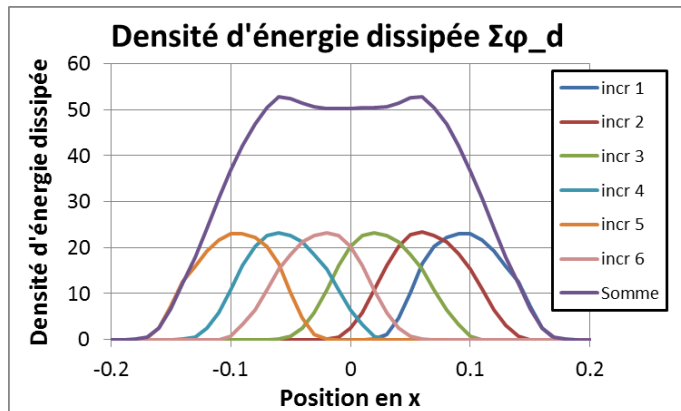
Données d'usure : *Obtention d'un profil d'usure*



- : Nœud n
- : N Voisin

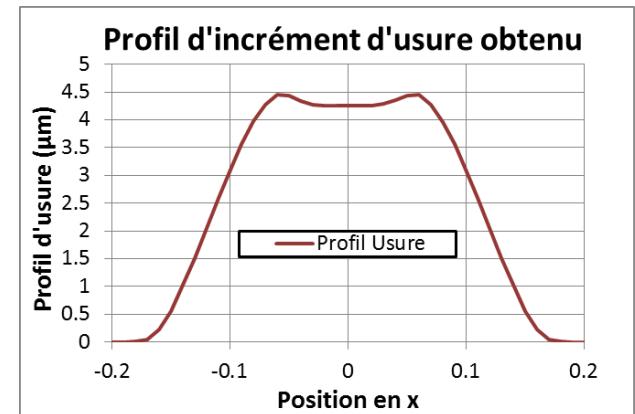


Calcul de $\varphi_{d\ ii}(x)$ pour chaque incrément, et sommation
 $\rightarrow \Sigma\varphi_d(x)$



Loi d'usure énergétique

$$\Delta h(x) = \Sigma\varphi_d(x) * \alpha * \beta$$



1. Principes de la simulation de l'usure par abrasion



Principe d'usure numérique : Usure élémentaire

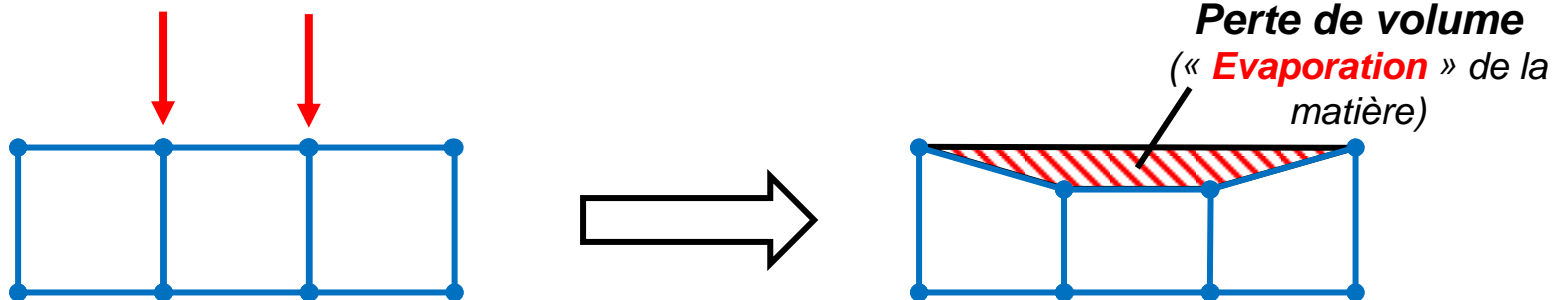
Abrasion :

→ Dégradation surfacique entraînant une perte de matière (\equiv Volume)

Intégration numérique primaire de l'usure:

→ **Réduction du volume des éléments** (pas de suppression)

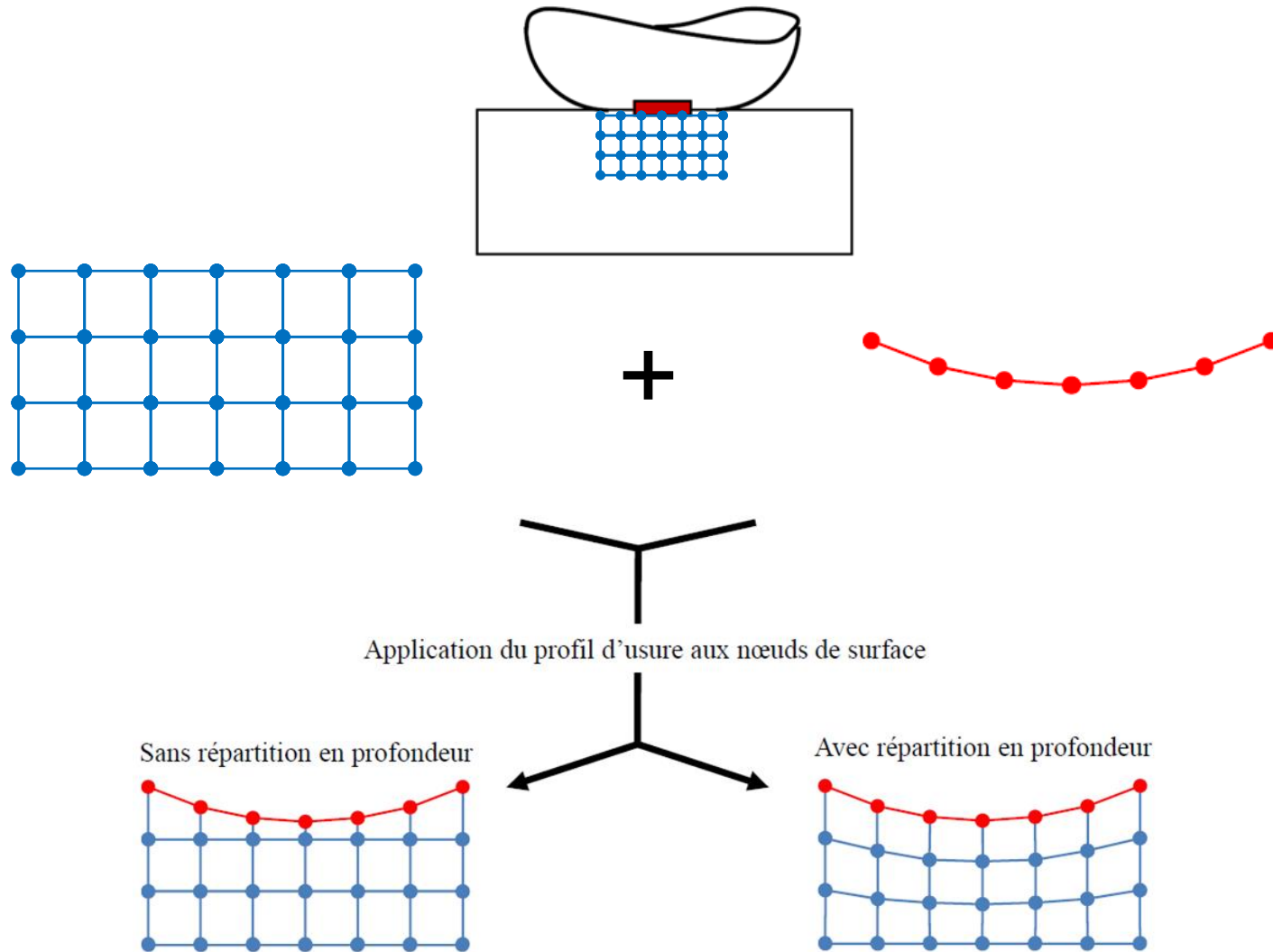
→ Déplacement des nœuds



1. Principes de la simulation de l'usure par abrasion



Principe d'usure numérique : Profil d'usure et répartition volumique

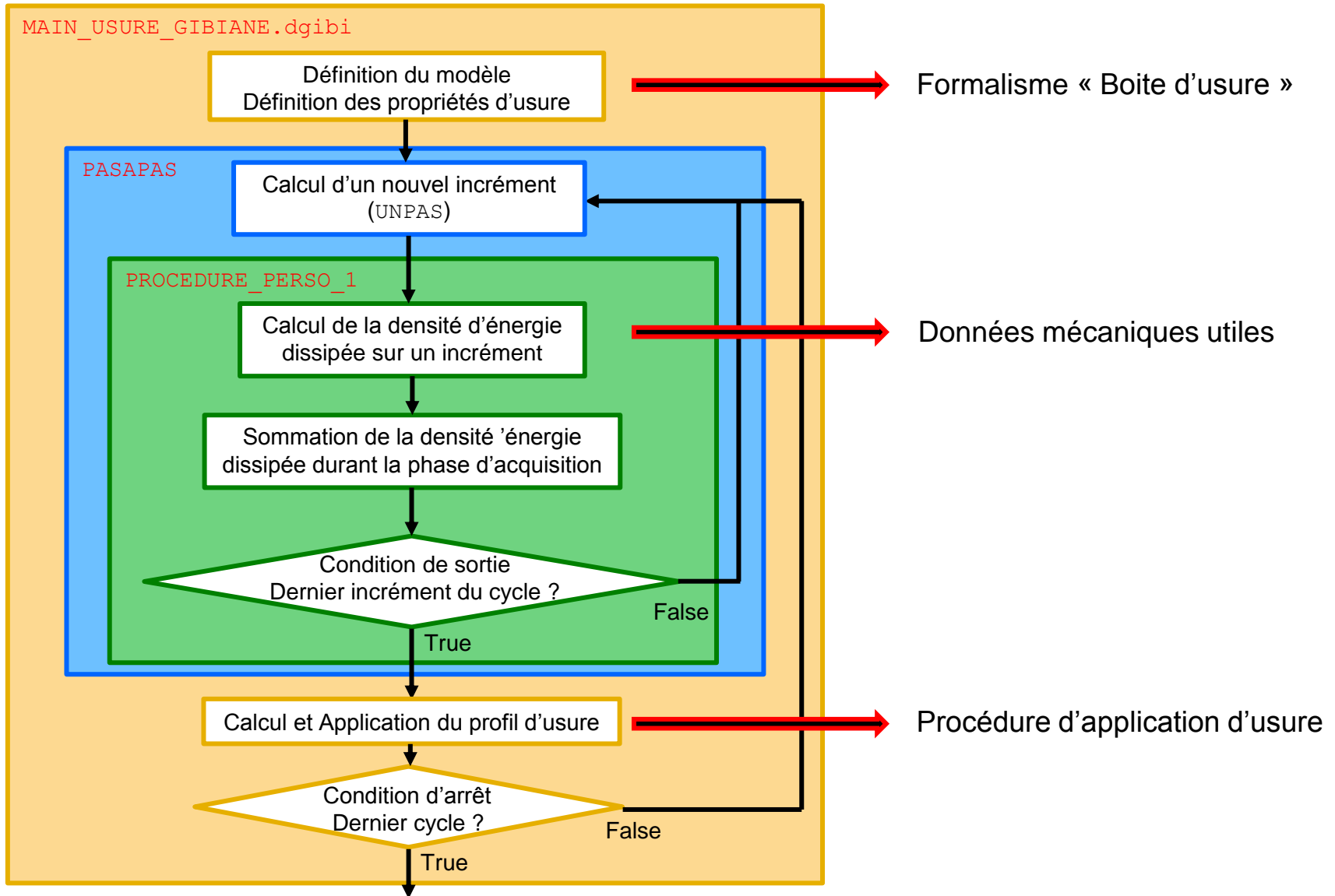




2. Implémentation Cast3M

- Intégration du code d'usure sous Cast3M
- Formalisme « Boite d'usure »
- Données mécaniques utiles
- Procédure d'application d'usure
- Validation : WearBox Abaqus

Intégration du code d'usure sous Cast3M

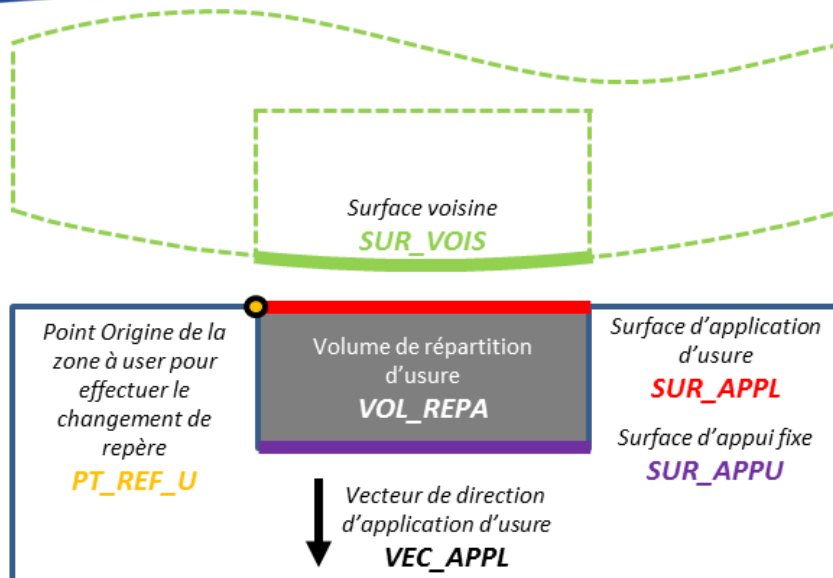




Formalise « Boite d'usure »

→ Table données utilisateur « Boite d'usure »

- Objets « maillages »
- Données vectorielles et scalaires



Notation	Variable	Signification
α	ALPHA	Coefficient d'usure énergétique
β	BETA	Facteur d'accélération
$t_0 ; t_{fin}$	T_INI_US T_FIN_US	Temps de début d'usure et fin d'usure
Δt	PERIOD	Durée d'une période d'un cycle d'usure

```

BOX1                                = TABL 'BOITE_USURE' ;
BOX1.'VOLUME_REPARTITION'          = VOL_REPA ;
BOX1.'SURFACE_APPLICATION'          = SUR_APPL ;
BOX1.'SURFACE_VOISINE'              = SUR_VOIS ;
BOX1.'SURFACE_APPUI'                = SUR_APPU ;
BOX1.'POINT_O_U'                    = PT_REF_U ;
BOX1.'DIRECTION_APPLICATION'        = VEC_APPL ;
BOX1.'COEFFICIENT_USURE'            = ALPHA ;
BOX1.'COEFFICIENT_FROTTEMENT'       = MuContac ;
BOX1.'FACTEUR_ACCELERATION'         = BETA ;
BOX1.'T_INI_US'                     = T_INI_US ;
BOX1.'T_FIN_US'                     = T_FIN_US ;
BOX1.'PERIODCY'                     = period ;
BOX1.'USURE_CYCLIQUE'               = VRAI ;
BOX1.'USURE_INCREMENTALE'           = FAUX ;
BOX1.'POINT_REF_DELTA'              = SurfCyl POIN 'PROC' PF ;
    
```




Données mécaniques utiles

Efforts des nœuds en contact + Vecteur normal et Surface associée aux nœuds :

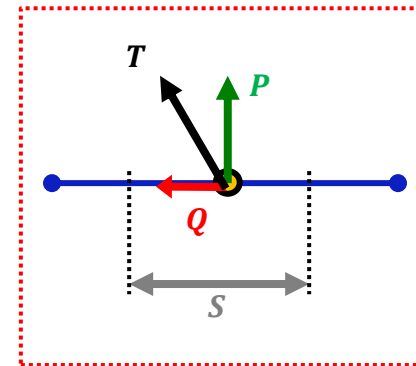
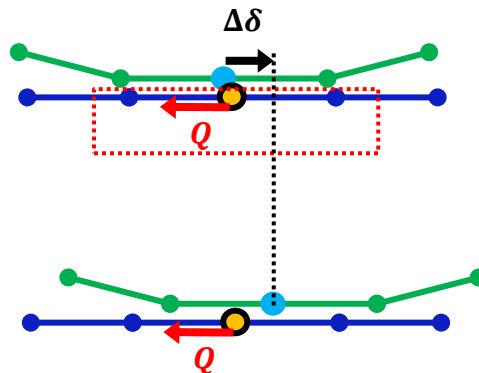
- Pression de contact $P = \frac{\vec{T}}{S} \cdot \vec{n}$
- Cisaillement de contact $Q = \frac{\vec{T}}{S} \cdot \vec{t}$

Notation	Signification
\vec{T}	Vecteur force au nœud
\vec{n}	Vecteur unitaire normal à la surface
\vec{t}	Vecteur unitaire tangent à la surface
S	Surface associée au nœud

Analyse des positions spatiales des nœuds :

- Glissement relatif $\Delta\delta$

- : Nœud n
- : Nœud Voisin



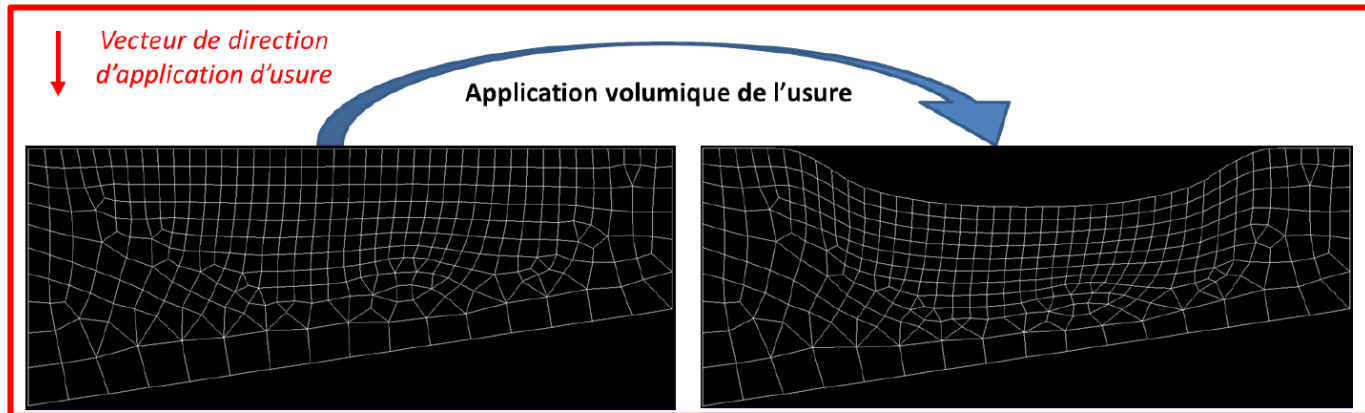
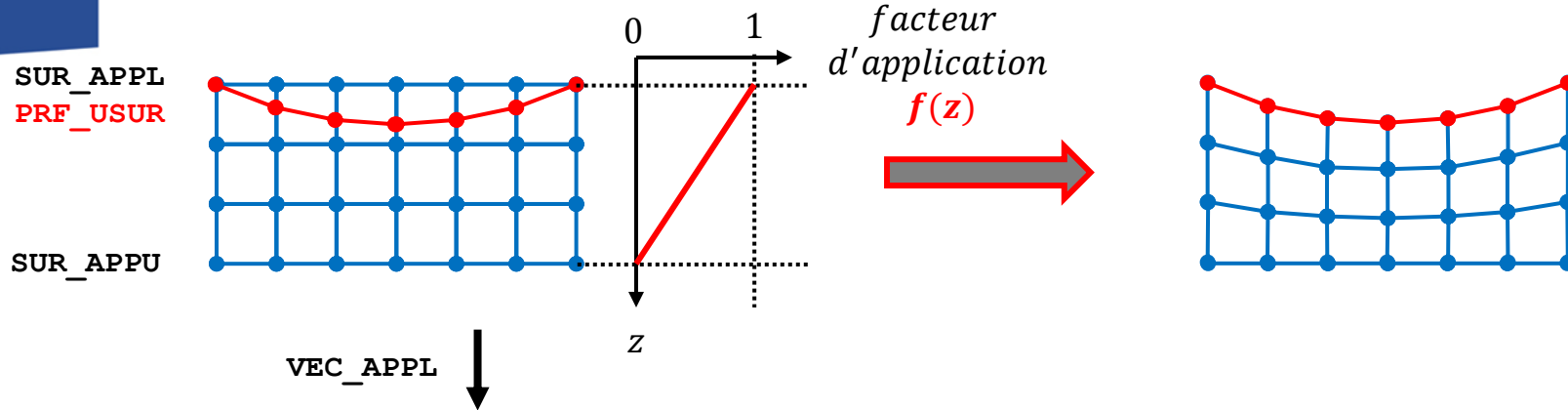
$$\varphi_d = \frac{|Q * \Delta\delta|}{S}$$



Procédure d'application d'usure

Utilisation de la procédure **DEPL** hors de **PASAPAS**, dans **MAIN_USURE_GIBIANE** :

- Champ de vecteurs de déplacement
- Maillage cible

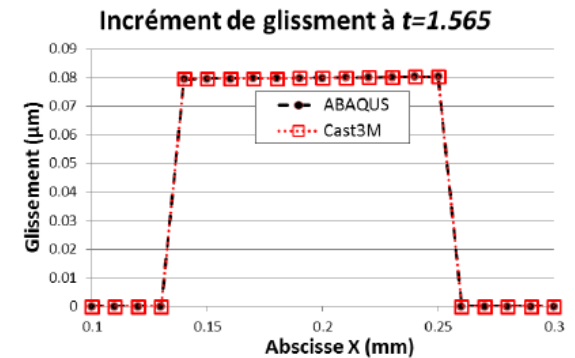
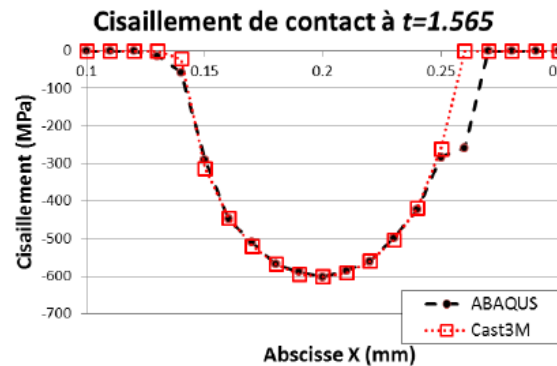
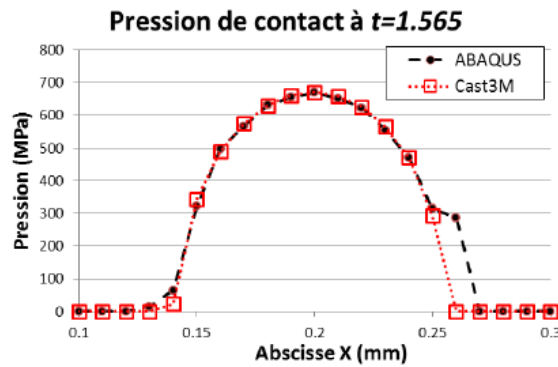




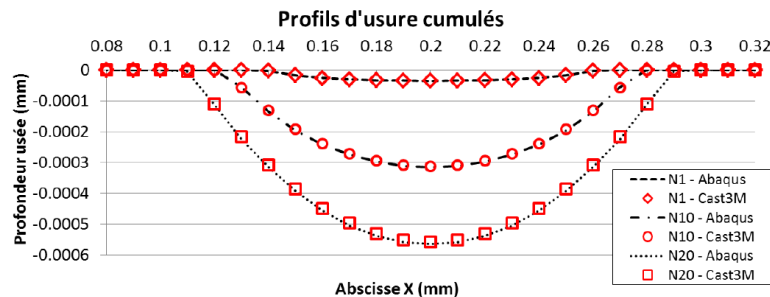
Validation : WearBox Abaqus

Réalisation d'une configuration commune : **Usure Cast3M** vs. **WearBox Abaqus**

Validation des données de contact développées



Validation des profils d'usures



→ Mise en place d'un cas test dans Cast3M



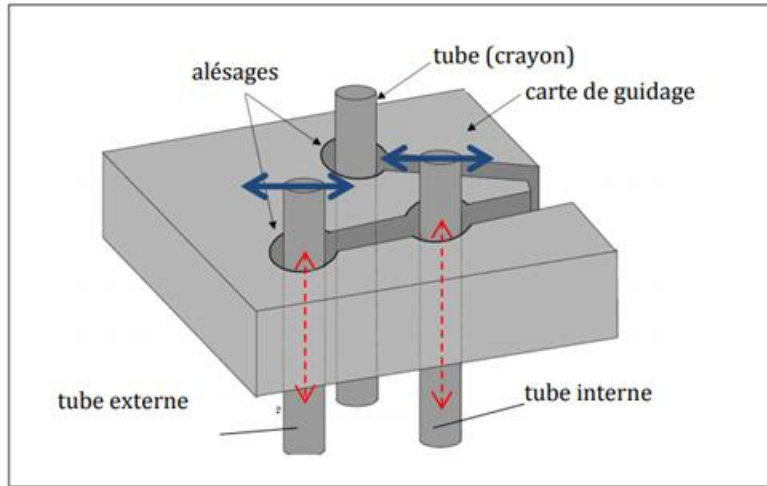
3. Application : Résultats d'usure par fretting wear

- Application à un contact Crayon / Guide d'une grappe de commande

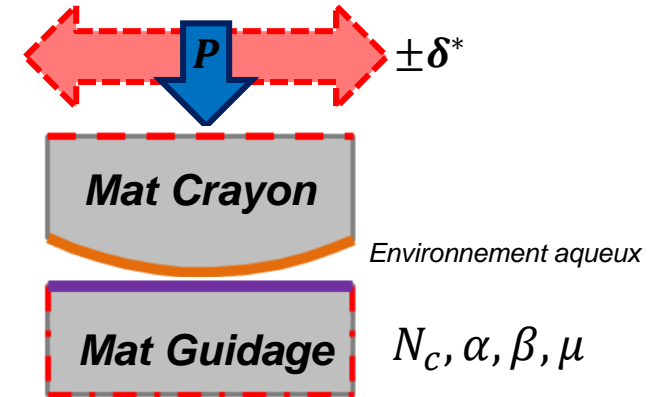
3. Application : Résultats d'usure par fretting wear



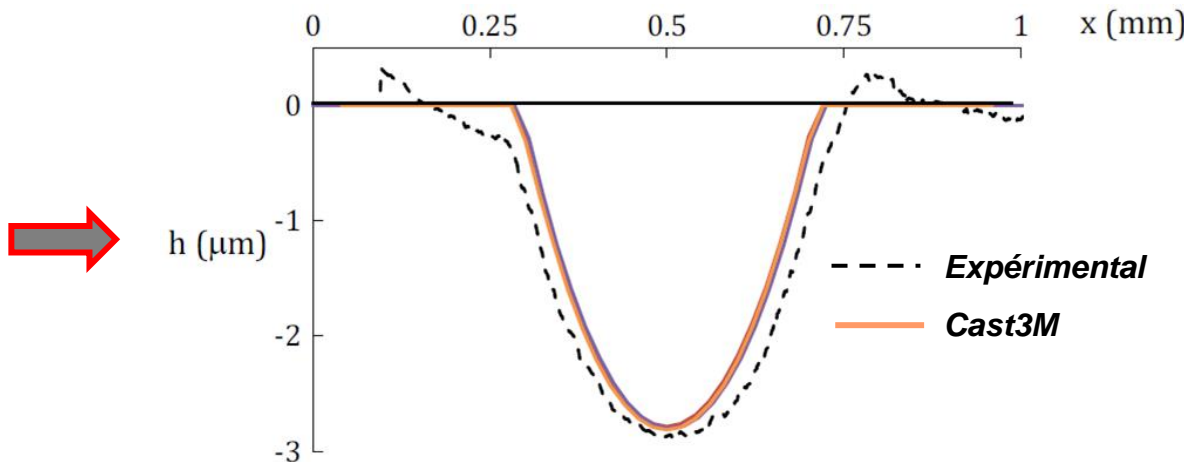
Application à un contact Crayon / Guide d'une grappe de commande :



Configuration de contact simplifiée :



\longleftrightarrow **Glissement** \longleftrightarrow **Impact**



Résultats Thèse Estelle Marc



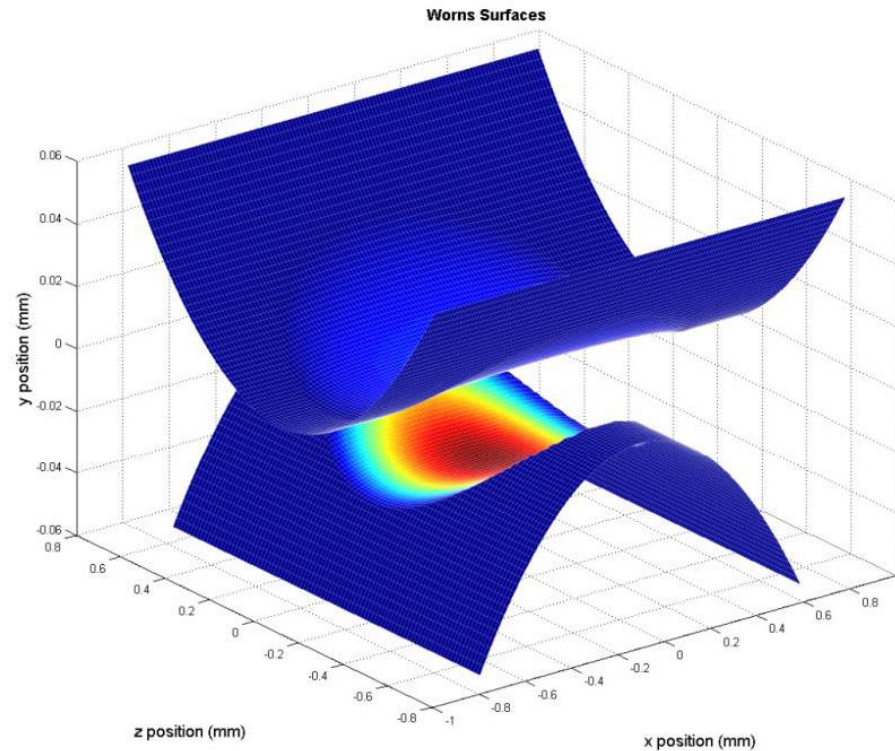
4. Potentiel d'utilisation et perspectives d'améliorations

- Version 3D du code d'usure
- Autres principes d'usure
- Limitations du modèle abrasif



Version 3D du code d'usure :

- Nécessité de revoir la définition des données de contact P , Q , $\Delta\delta$





Autres principes d'usure :

Le principe d'usure peut se baser sur d'autres données que l'énergie dissipée par friction :

→ $\frac{\Delta h}{\Delta t} = f(v_f, c_{sand}, \dots)$ Usure d'un puit de pétrole érodée par flux de pétrole (v_f) chargé en sable (c_{sand})

→ $\frac{\Delta h}{\Delta t} = f(E_{Electro\ chimique}, \sigma)$ Usure en corrosion sous contrainte

→ $\frac{\Delta h}{\Delta t} = f(\dots)$ Liberté de choisir le critère de cinétique d'usure



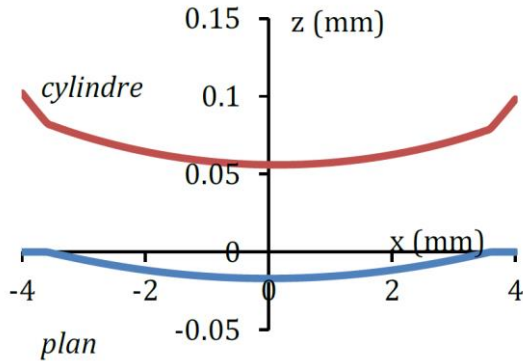
Limitations du modèle abrasif d'usure :

Ce code d'usure ne convient pas pour tous les types d'usures mécaniques. Une usure de type « Evaporation » de la matière ne permet pas de prendre en compte l'effet des débris générés.

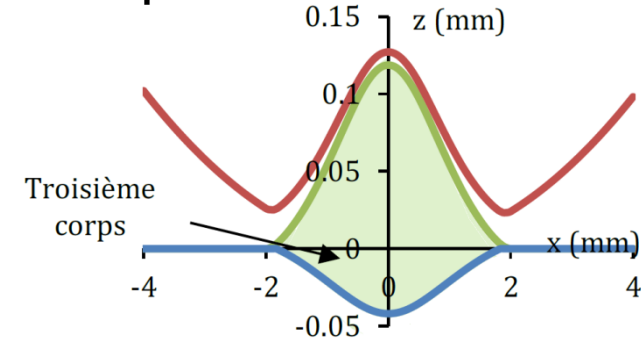
Cas du Fretting à faible débattement et piégeage des débris

→ Approche avec prise en compte du 3^{ème} corps

profils d'usure

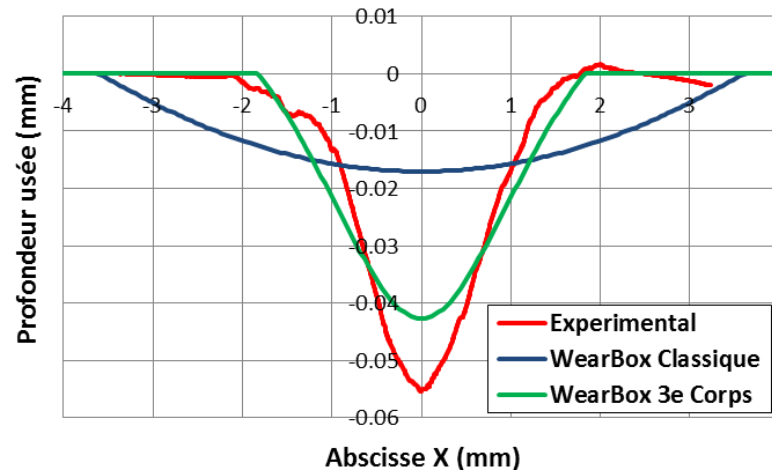


Sans 3^{ème} corps



Avec 3^{ème} corps

Profils d'usure simulés

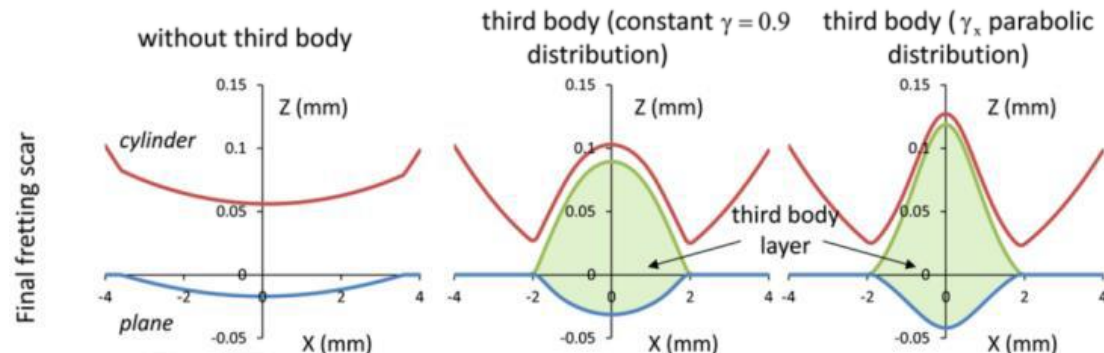
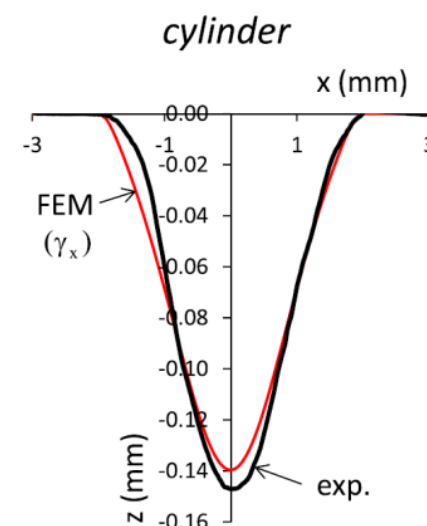
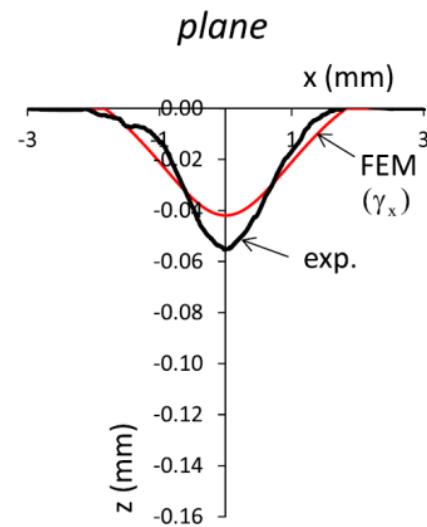
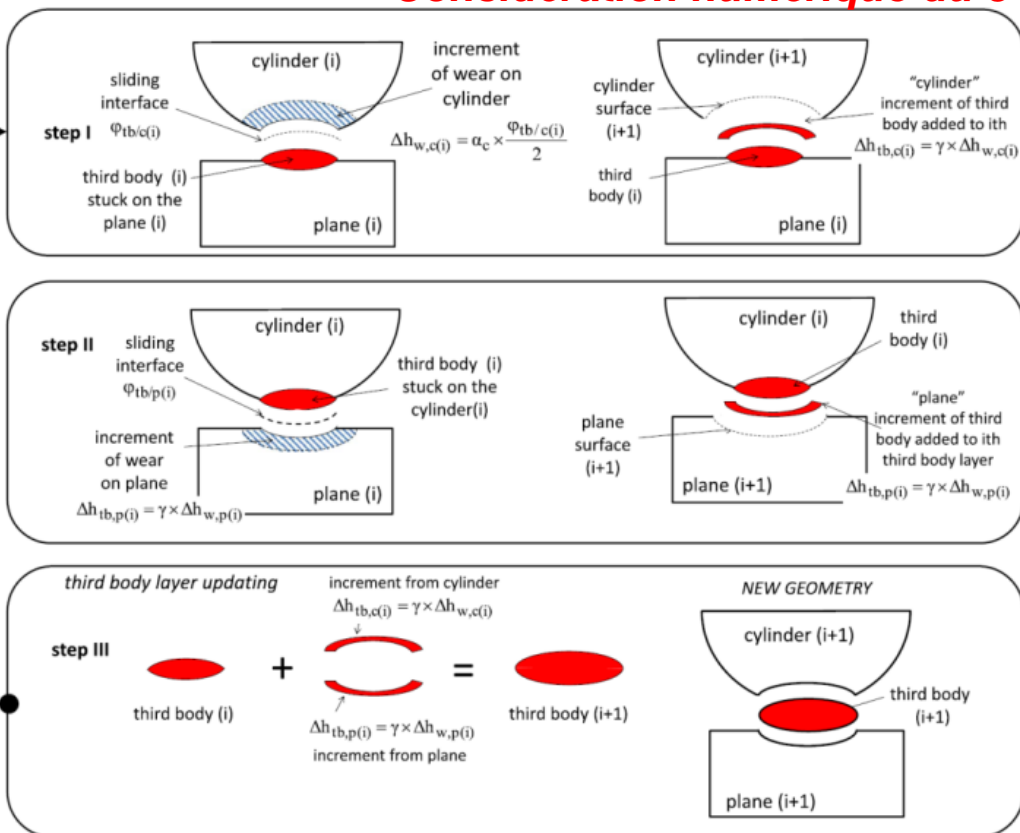




MERCI POUR VOTRE ATTENTION

PLACE AUX QUESTIONS !

Considération numérique du 3^{ème} corps



P. Arnaud 2017 : A numerical simulation of fretting wear profile taking account of the evolution of third body layer