



SF2M

COMMISSION FATIGUE

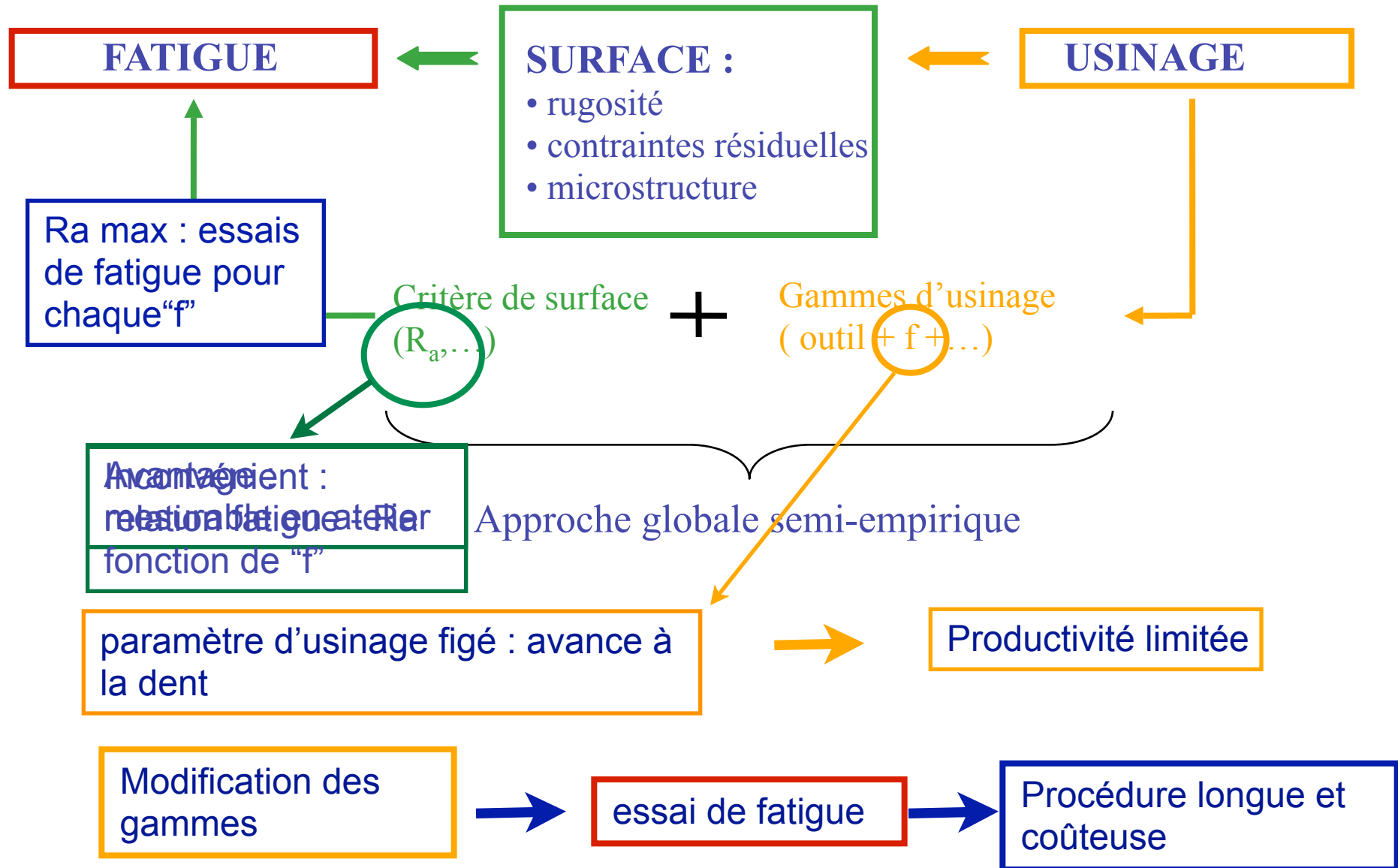
**Prise en compte des phénomènes aggravants dans la
conception en fatigue**

Surfaces usinées : cas d'alliages d'aluminium aéronautiques

**J. Limido, M. Suraratchai, C. Mabru C. Espinosa,
M. Salaün, R. Chieragatti, M. Chaussumier
en collaboration avec AIRBUS-France**

*Département Mécanique des Structures et Matériaux
Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace
Toulouse - France*

INTRODUCTION



INTRODUCTION



Prédire la durée de vie à partir de la gamme d'usinage ?

➤ Identifier les paramètres de surface qui pilotent la durée de vie en fatigue
 Modéliser l'effet de ces paramètres

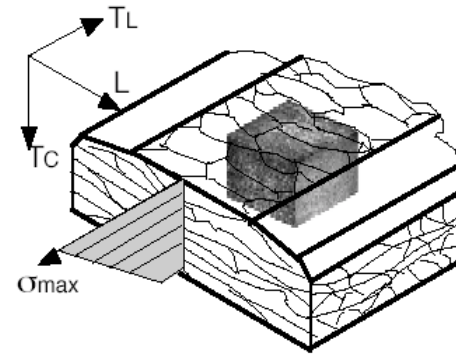
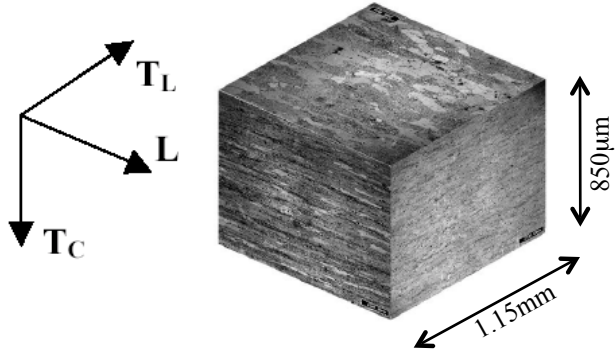
➤ Modéliser la génération de surface à partir des gammes d'usinage

➤ Aller de la gamme d'usinage à la prédiction de la durée de vie en fatigue de la pièce : limite de l'étude, application au 7010

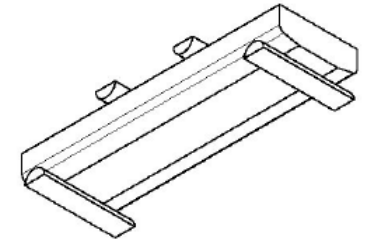
CRITERE "QUALITE" DE SURFACE / FATIGUE DU 7010AL

Matériau et éprouvettes :

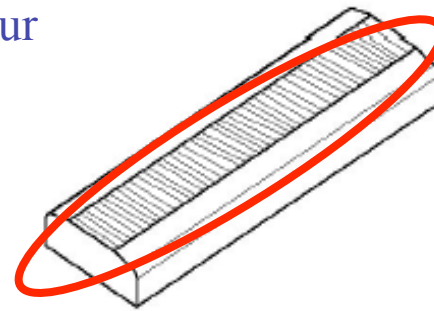
- 7010 T7451



- Flexion 4 points
- $f = 10 \text{ Hz}$
- $R = 0.1$

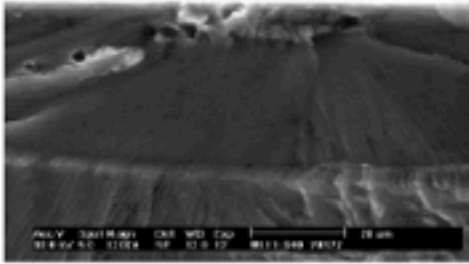


- Usinage des surfaces par UGV et par étau limeur

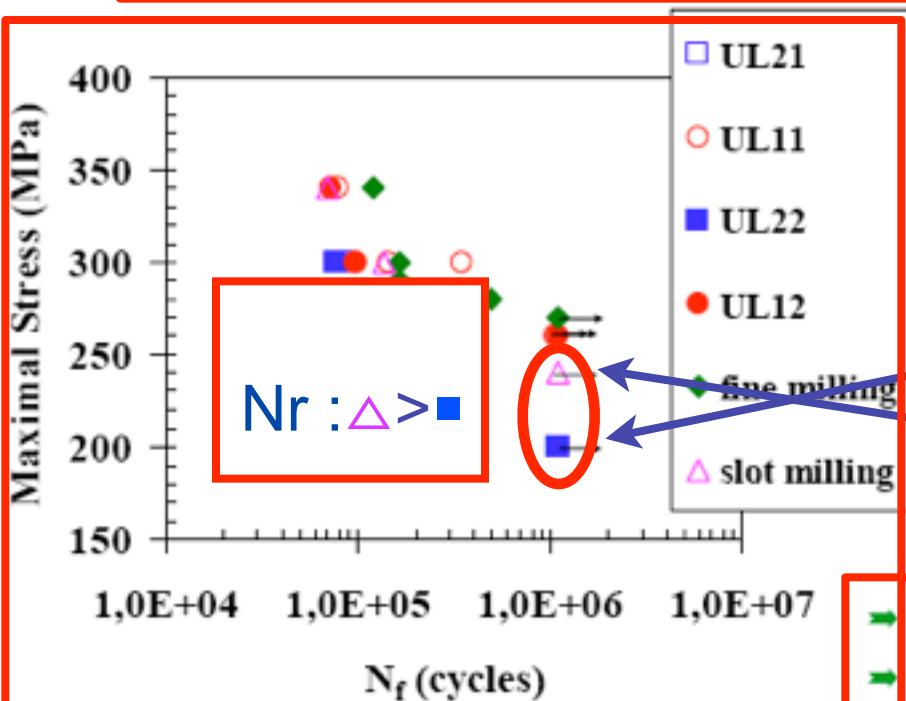


CRITERE "QUALITE" DE SURFACE / FATIGUE DU7010AL

Résultats de fatigue :



→ Amorçage des fissures sur des particules intermétalliques dans de petits grains recristallisés



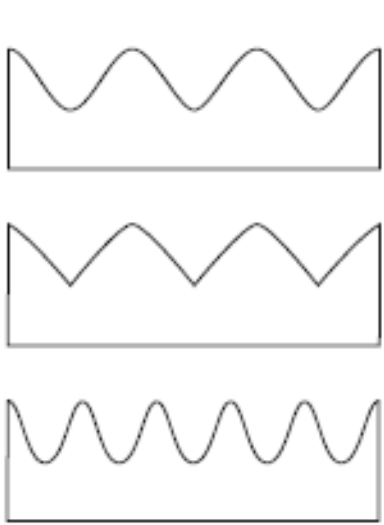
Machine	Ra (µm)	Contraintes Résiduelles (MPa)
étai limageur	7	-54
étai limageur	0.5	-137
étai limageur	7	-21
étai limageur	0.5	-45
fraisage UGV	0.25	-
fraisage UGV	11.1	-

Annotation: $R_a : 7 < 11$

→ Faible influence des contraintes résiduelles
 → Influence de la texture de surface (géométrie 3D)
 → R_a ne classe pas tous les états de surface

CRITERE "QUALITE" DE SURFACE / FATIGUE DU7010AL

Identification du critère :



- Ra, Rt, ... identiques
- Durées de vie en fatigue différentes

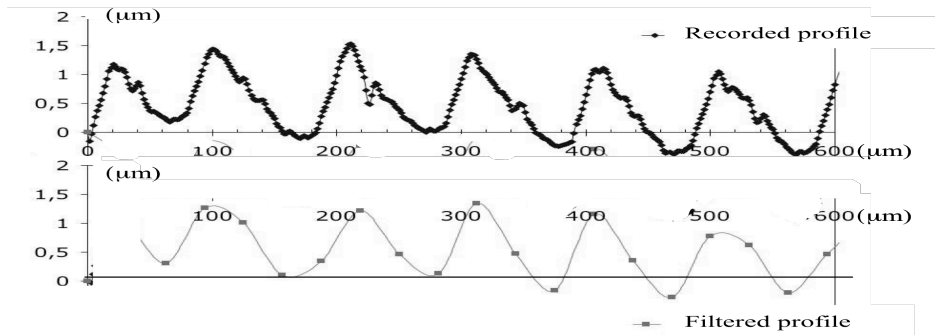
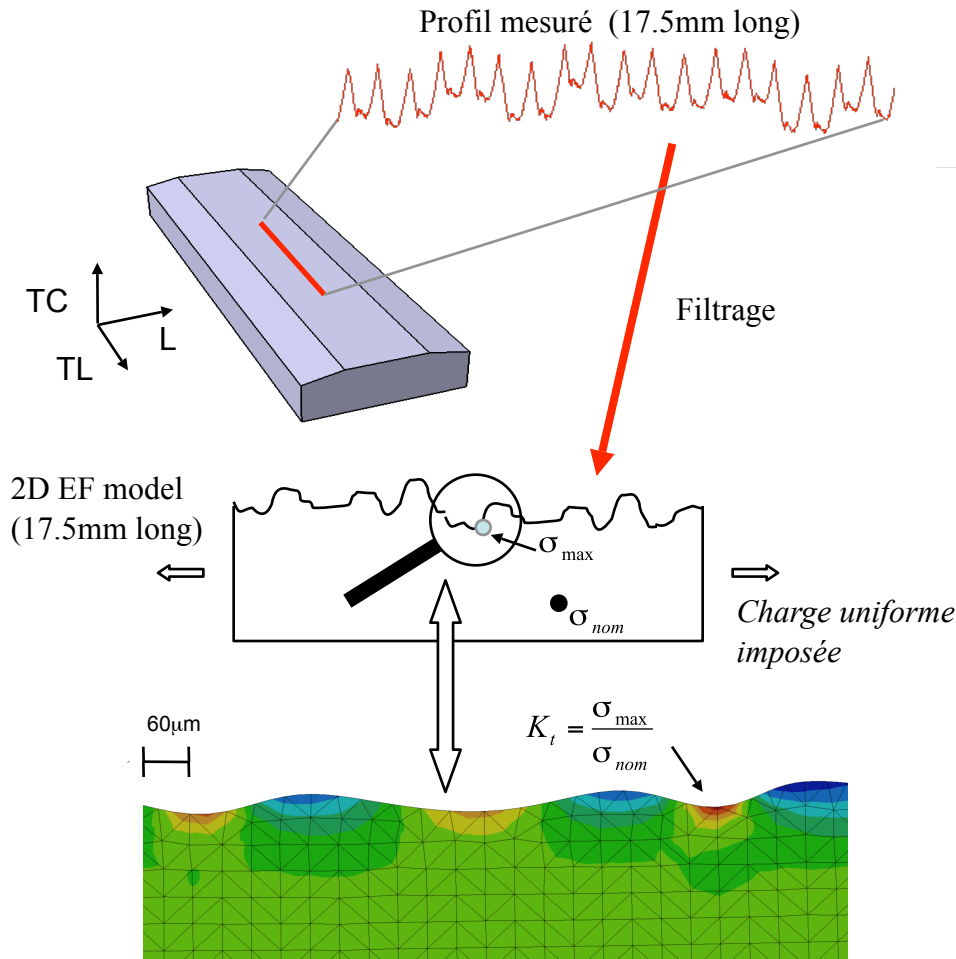
⇒ Les paramètres géométriques usuels de rugosité sont inadaptés pour prédire le comportement en fatigue

Hypothèse : la rugosité génère une concentration de contraintes locale

→ K_t local ?

CRITERE "QUALITE" DE SURFACE / FATIGUE DU7010AL

Analyse Eléments Finis de la topographie de surface :



- 2D élastique linéaire
- déformation plane
- éléments triangulaires (30 μ m)

➔ K_t local

CRITERE "QUALITE" DE SURFACE / FATIGUE DU 7010AL

Modélisation de l'influence de l'état de surface

□ Limite de fatigue :

$$\Delta\sigma_D = \frac{\Delta K_{th}}{K_t F \sqrt{\pi a_0}}$$

Seuil de propagation

Taille de grain recristallisé

Facteur de concentration local

$K_t = 1$

□ Endurance :

➤ Propagation : $K_{I\phi} = f(a, c, \phi, W, t) \sigma \sqrt{\pi a}$

$\phi = 90^\circ$

$$\frac{da}{dN} = C (\Delta K_{90^\circ})^m$$

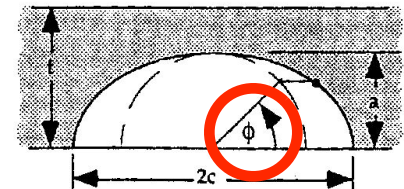
en profondeur

$\phi = 0^\circ$

$$\frac{dc}{dN} = C (K_t \Delta K_{0^\circ})^m$$

en surface

Seule propagation de surface affectée par K_t local



• Valeurs initiales $a_0/c_0 = 0.5$ taille de grain recristallisé

• Calcul itératif de $a, c, K_{90^\circ}, K_{0^\circ}$

• Arrêt quand $a=t, c=W, K=K_{IC}$

➔ $N = N_p$

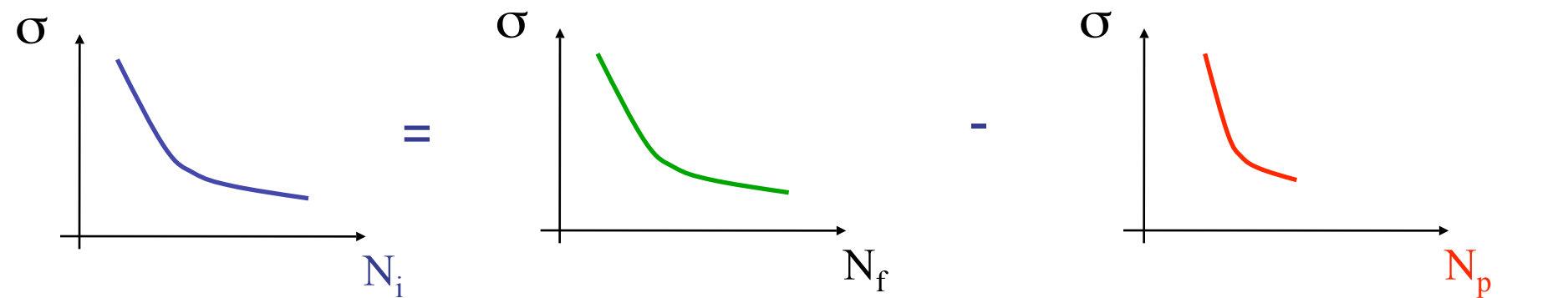
Données d'entrées = données de propagation

CRITERE "QUALITE" DE SURFACE / FATIGUE DU 7010AL

Modélisation de l'influence de l'état de surface

□ Endurance :

➤ Amorçage :



$$N_i = N_f - N_p$$

Courbe de référence (K_t local = 1) **expérimentale**

Calcul de N_p pour différents niveaux de charge

↓

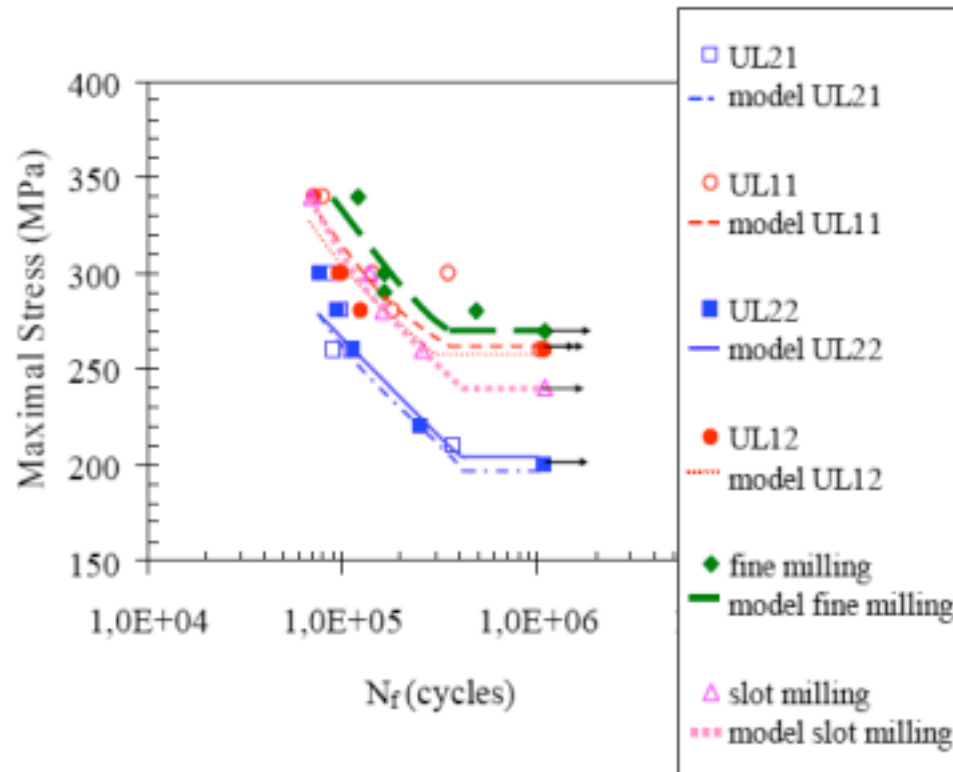
$$N_i = \beta \sigma^\alpha$$

Utilisation de α et β pour toutes les autres éprouvettes

$$N_i = \beta \left(K_t \sigma \right)^\alpha$$

CRITERE "QUALITE" DE SURFACE / FATIGUE DU7010AL

Résultats :

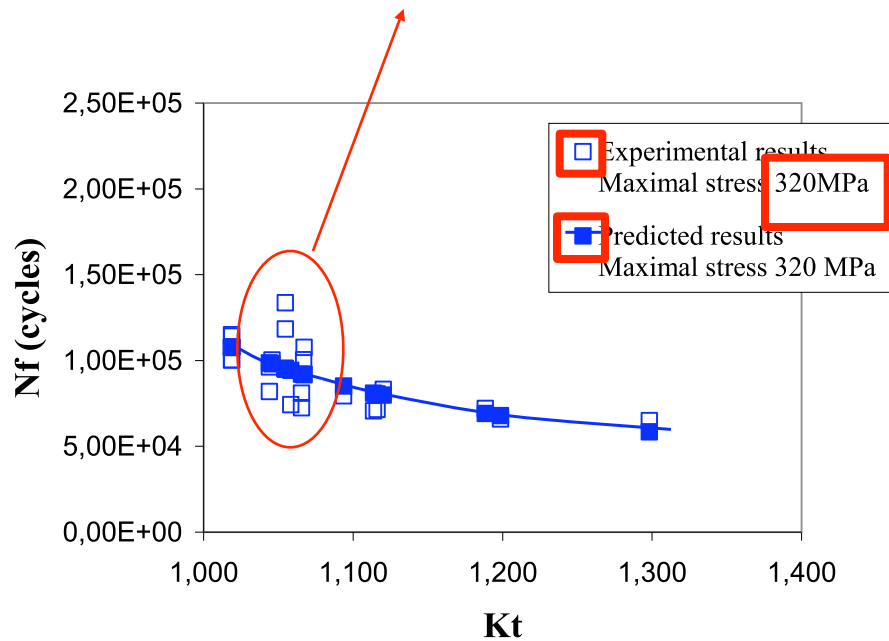


➔ Le K_t local déterminé par l'analyse EF de la topographie de la surface donne un bon critère de prédiction de durée de vie en fatigue

CRITERE "QUALITE" DE SURFACE / FATIGUE DU7010AL

Résultats / Validation fraisage UGV:

Mesure de K_t sur une éprouvette de chaque catégorie



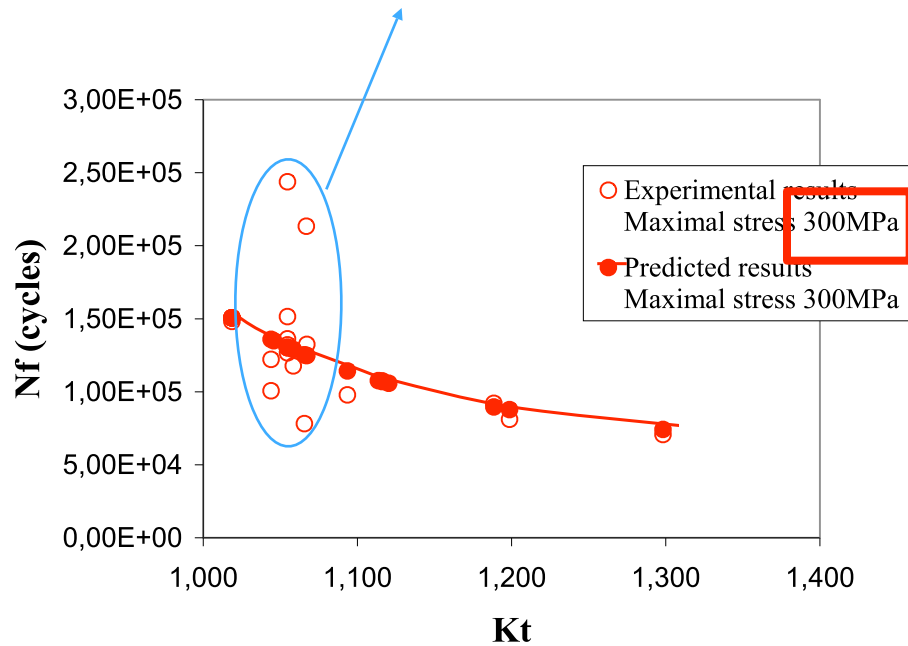
- Usinage Classique
- Balayage
- Surfaçage Avalant
- Surfaçage Opposition
- Détourage Avalant
- Détourage Opposition
- Finition Fond Avalant
- Finition Fond Opposition
- Finition Flanc Avalant

→ Le K_t local déterminé par l'analyse EF de la topographie de la surface donne un bon critère de prédiction de durée de vie en fatigue

CRITERE "QUALITE" DE SURFACE / FATIGUE DU7010AL

Résultats / Validation fraisage UGV:

Mesure de K_t sur une éprouvette de chaque catégorie



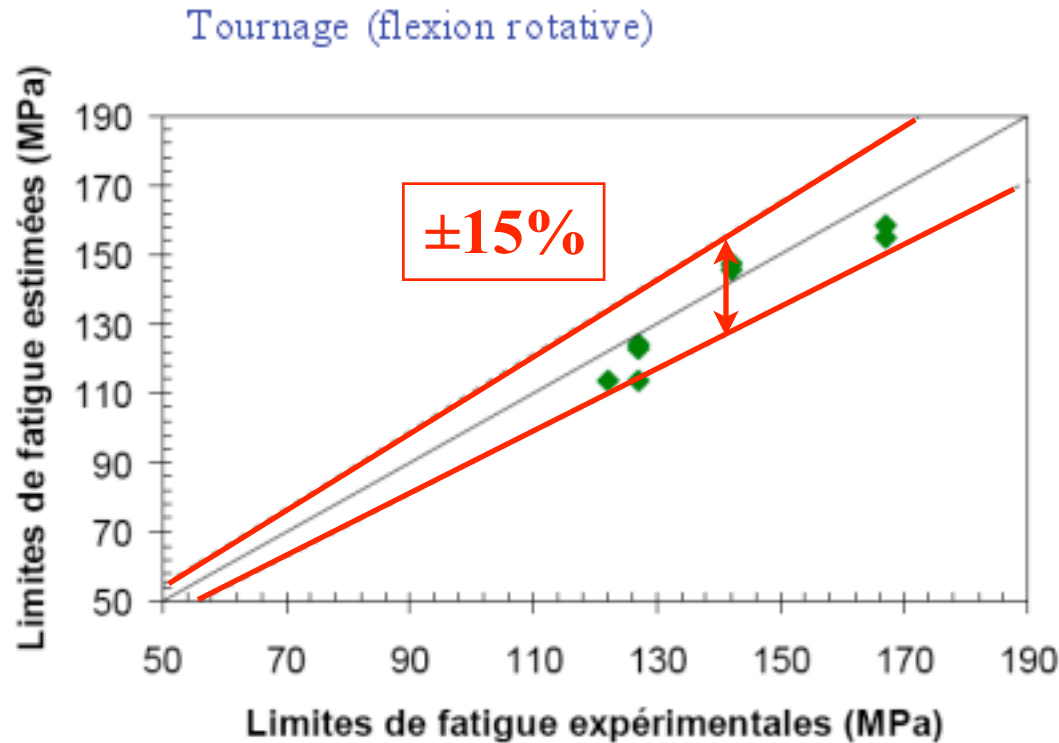
- Usinage Classique
- Balayage
- Surfaçage Avalant
- Surfaçage Opposition
- Détourage Avalant
- Détourage Opposition
- Finition Fond Avalant
- Finition Fond Opposition
- Finition Flanc Avalant

→ Le K_t local déterminé par l'analyse EF de la topographie de la surface donne un bon critère de prédiction de durée de vie en fatigue

→ Bon en fraisage et à l'étau limeur. Et en tournage ?

CRITERE "QUALITE" DE SURFACE / FATIGUE DU7010AL

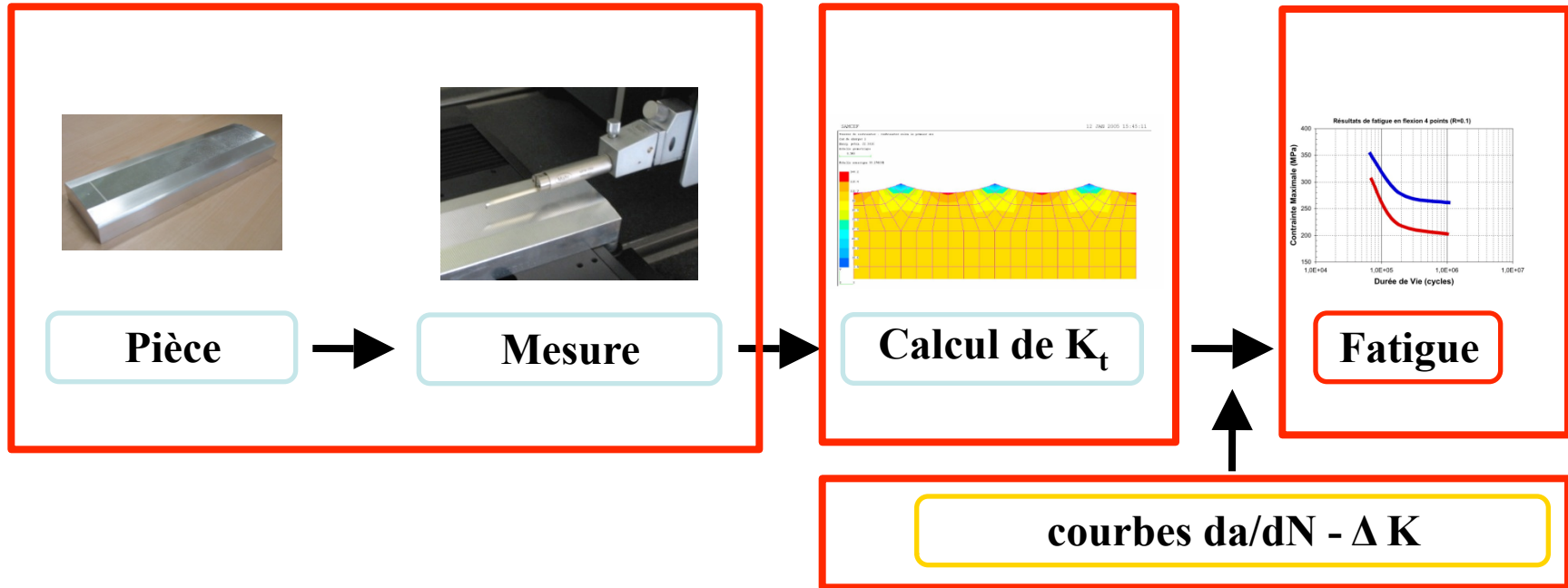
Résultats / Validation **tournage** :



➔ Le K_t local déterminé par l'analyse EF de la topographie de la surface donne un bon critère de prédiction de durée de vie en fatigue

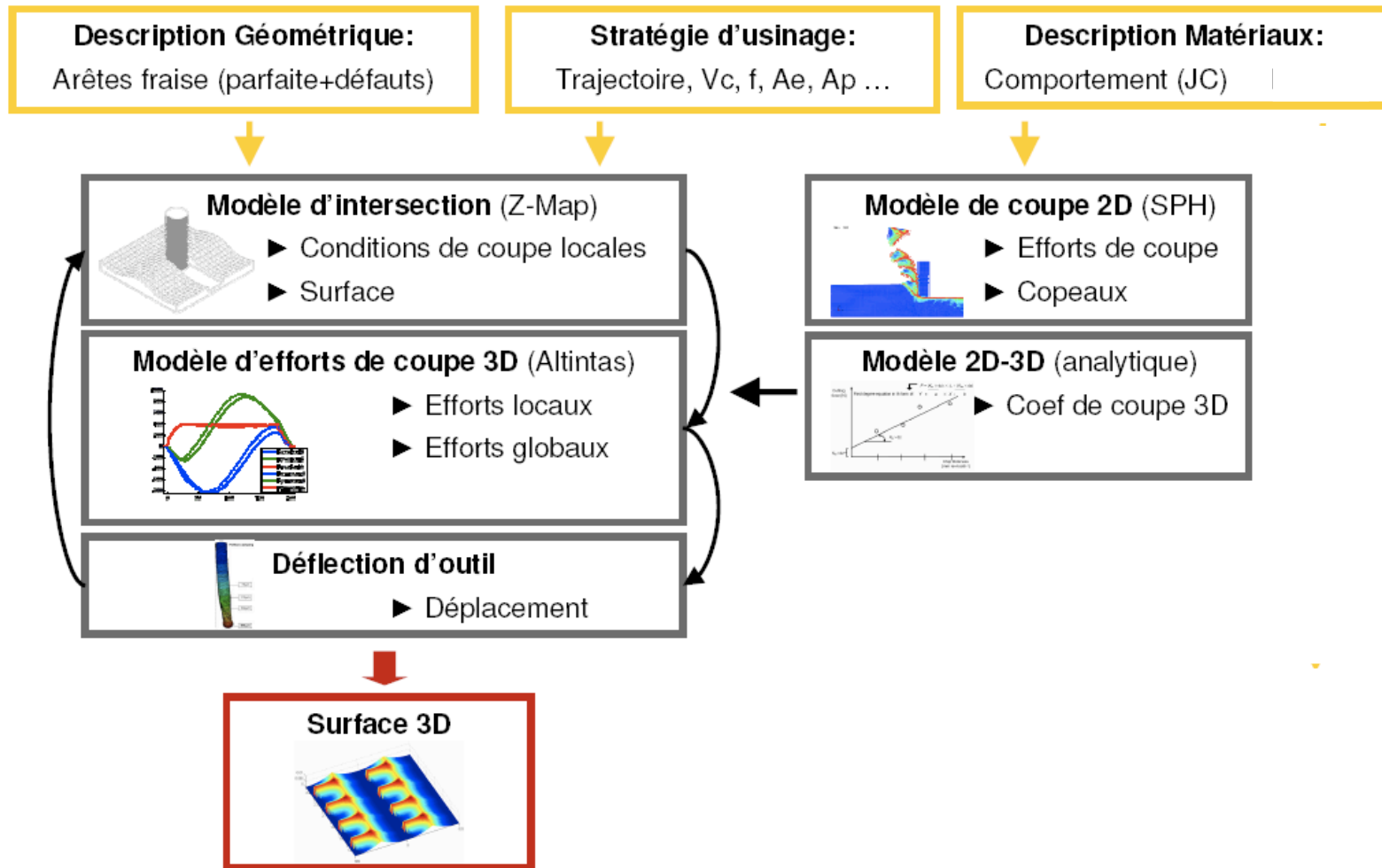
CRITERE "QUALITE" DE SURFACE/ FATIGUE du 7010

Conclusion partielle :



→ Outil de contrôle : de la surface à la fatigue

MODELISATION DES SURFACES USINEES

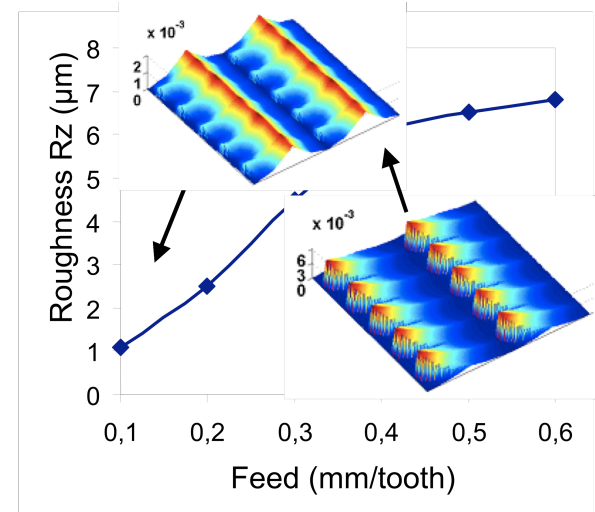
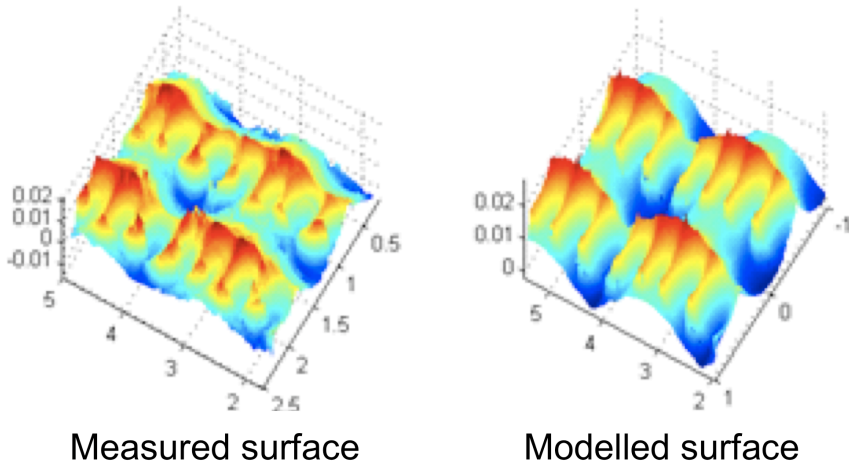


➔ Outil prédictif: de la gamme à la texture de la surface

MODELISATION DES SURFACES USINEES

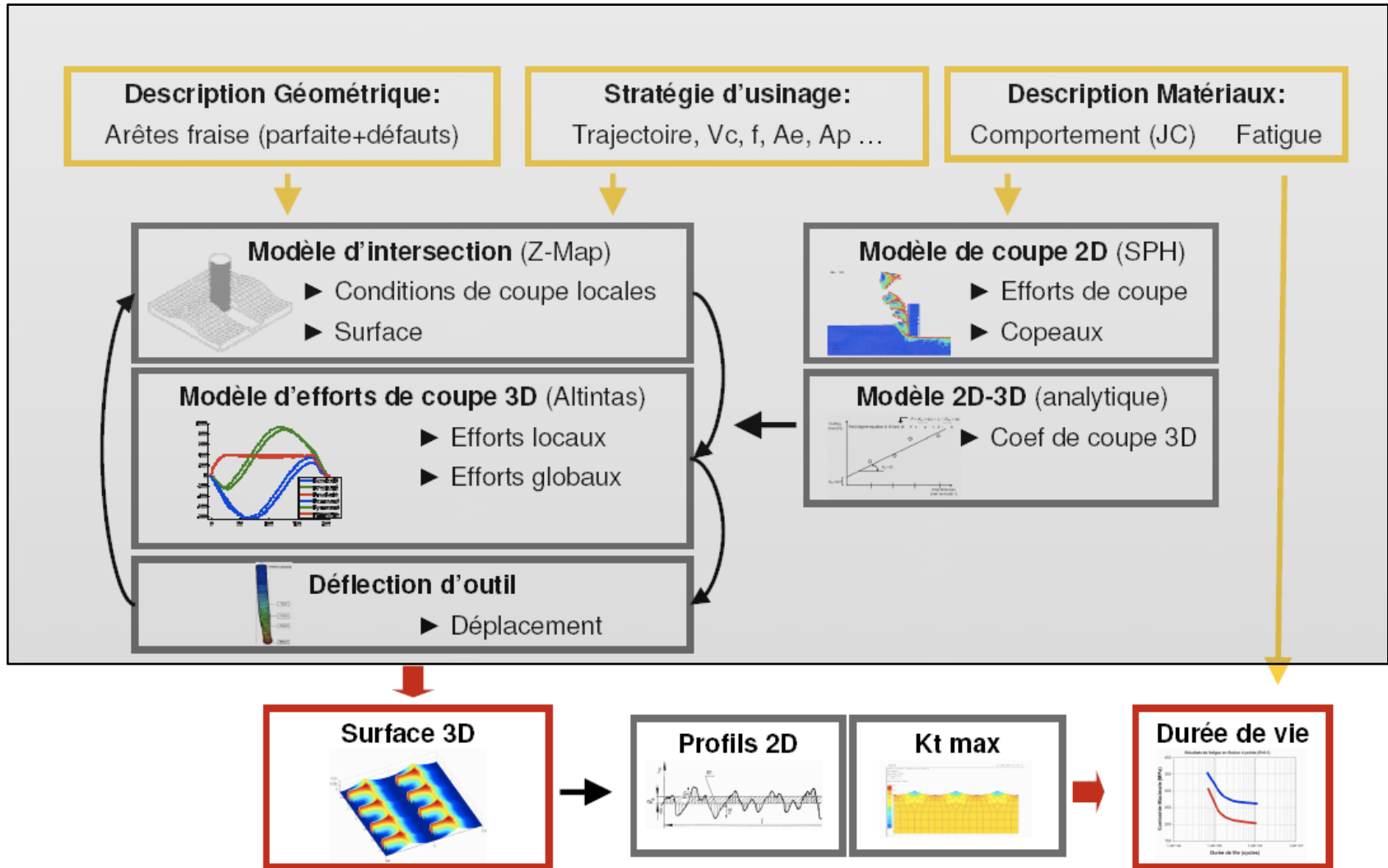
Modélisation de l'intersection outil /pièce :

- Approche statique et idéale de l'avance de l'outil
- Prise en compte des défauts axiaux, radiaux et d'excentricité de la fraise



- Texture 3D de la surface usinée
- Conditions locales de coupe

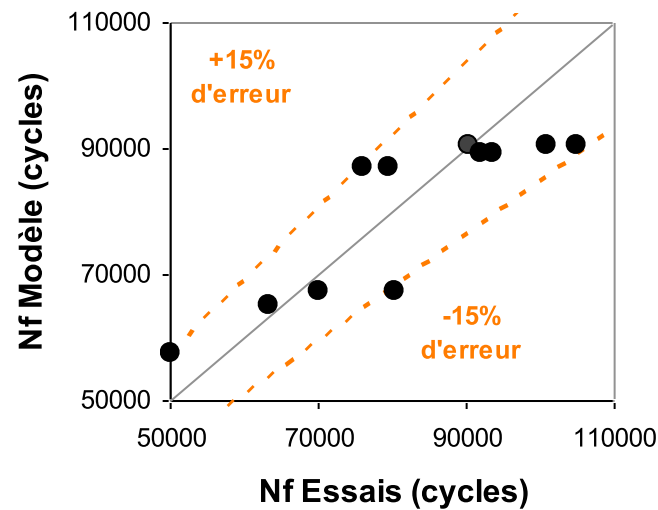
DE LA GAMME D'USINAGE A LA FATIGUE DE LA PIECE



DE LA GAMME D'USINAGE A LA FATIGUE DE LA PIECE

Validation :

- Essais de flexion 4-points
- Fraisage UGV torique (gamme d'usinage représentative de conditions de coupe actuelles)



➔ Environ 15% d'erreur (même ordre de grandeur de l'erreur que dans le cas des surfaces mesurées)

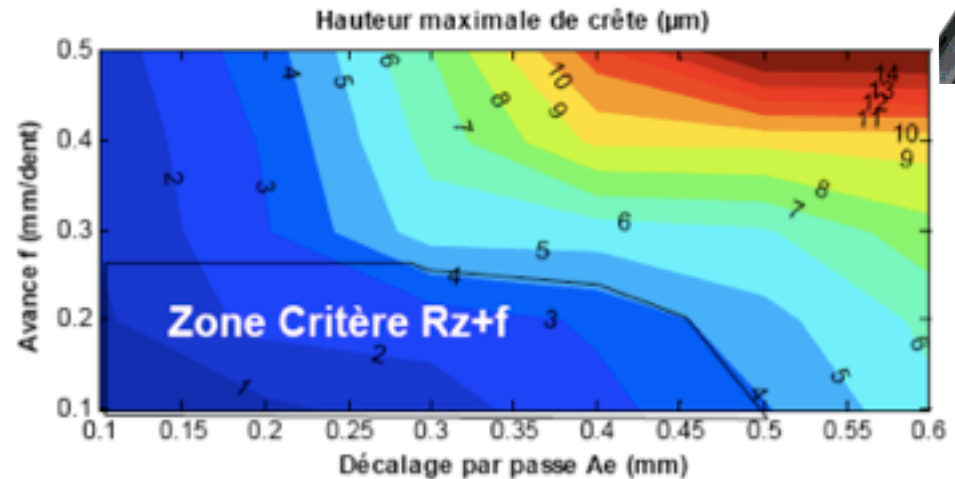
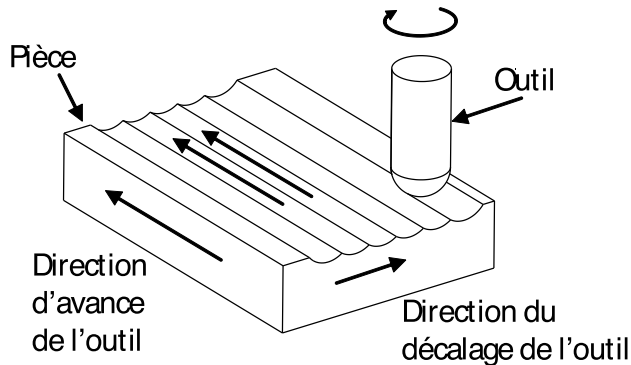
DE LA GAMME D'USINAGE A LA FATIGUE DE LA PIECE

Vers un outil d'optimisation :

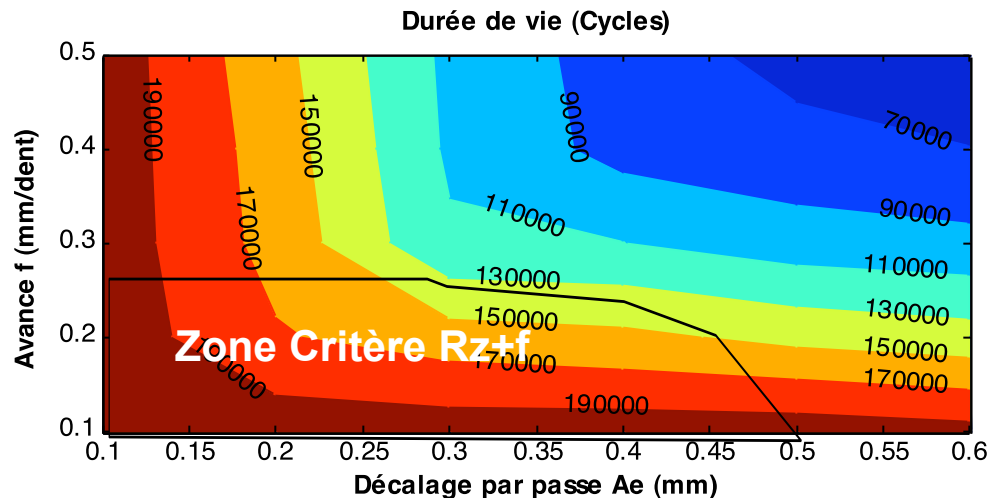
- Application du modèle complet au cas du fraisage hémisphérique

R=8mm

Influence de f et A_e sur R_z et N_f



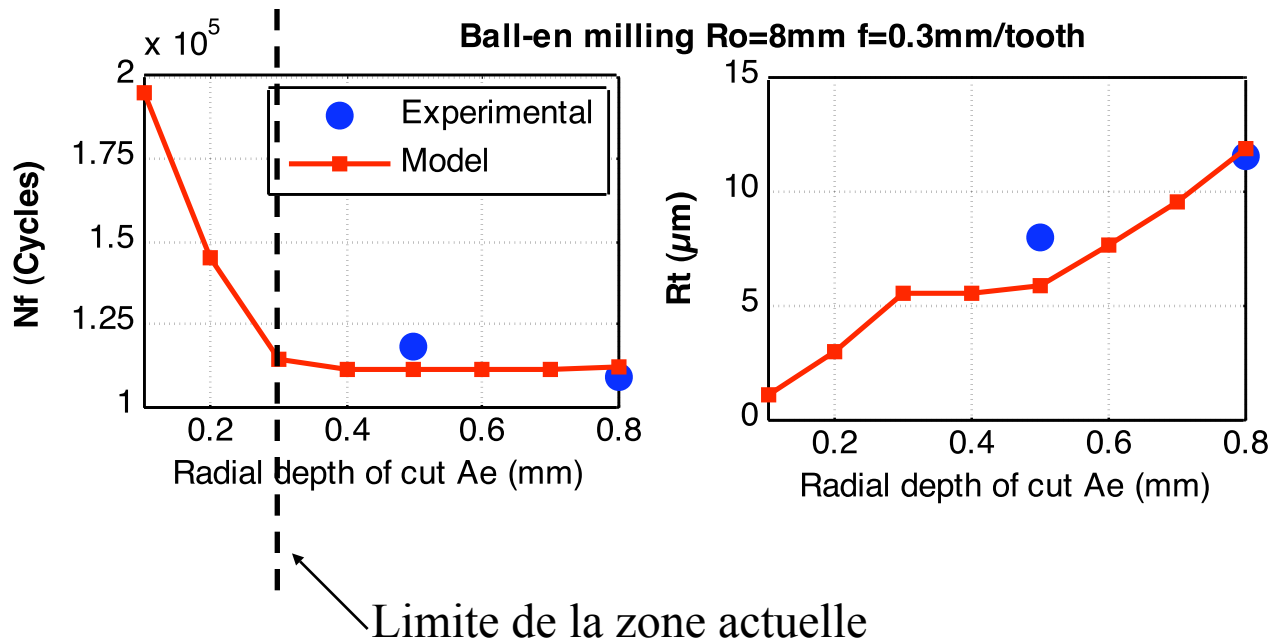
- N_f admissible: 90000 cycles
- Limites actuelles = surqualité
- $f=0,3\text{mm/dent}$ et $A_e=0,6\text{mm}$ devrait être admissible sur la base de l'outil d'aide au choix



DE LA GAMME D'USINAGE A LA FATIGUE DE LA PIECE

Vers un outil d'optimisation / Validation expérimentale:

- Essais de flexion 4-points
- Fraisage hémisphérique $R_0=8\text{mm}$ $A_p=0,5\text{mm}$, $f=0,3\text{mm/dent}$



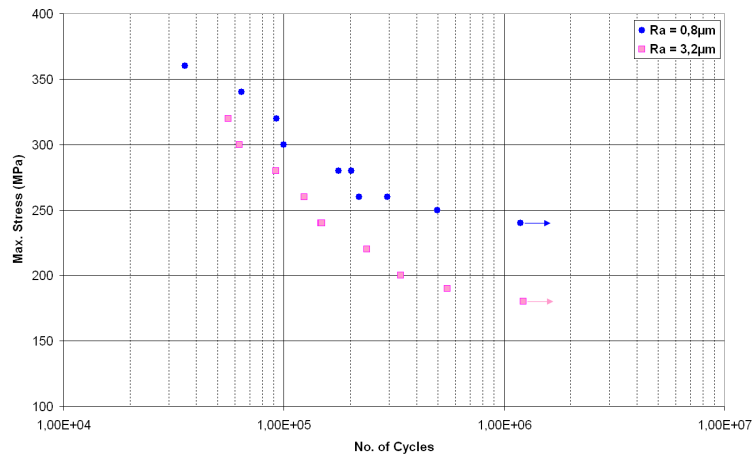
Indications durées de calcul

- SPH → Coefficients de coupe: environ 15h
- Modèle d'intersection: environ 15min
- Calcul K_t + fatigue: environ 10min

➔ Premier pas vers le développement d'un outil d'aide au choix

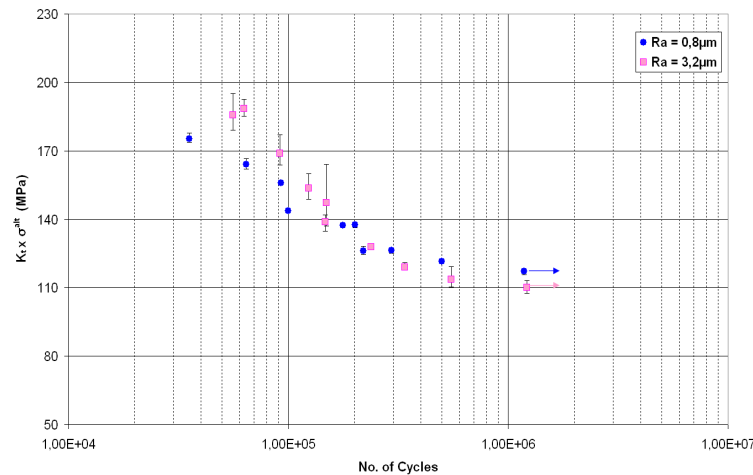
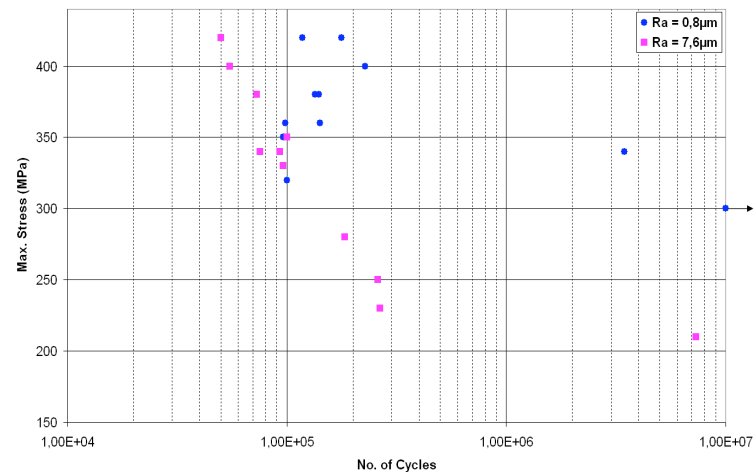
EXTENSION DU MODÈLE À UN AUTRE ALLIAGE D'ALUMINIUM le 2214 T6 usiné

cylindriques

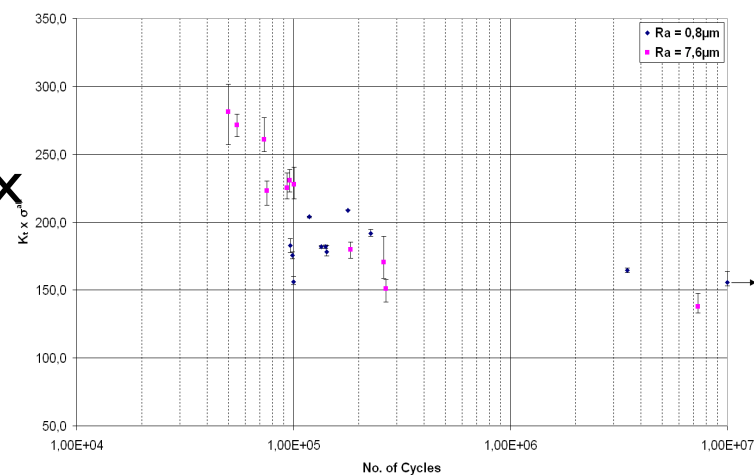


σ_{max}

prismatiques

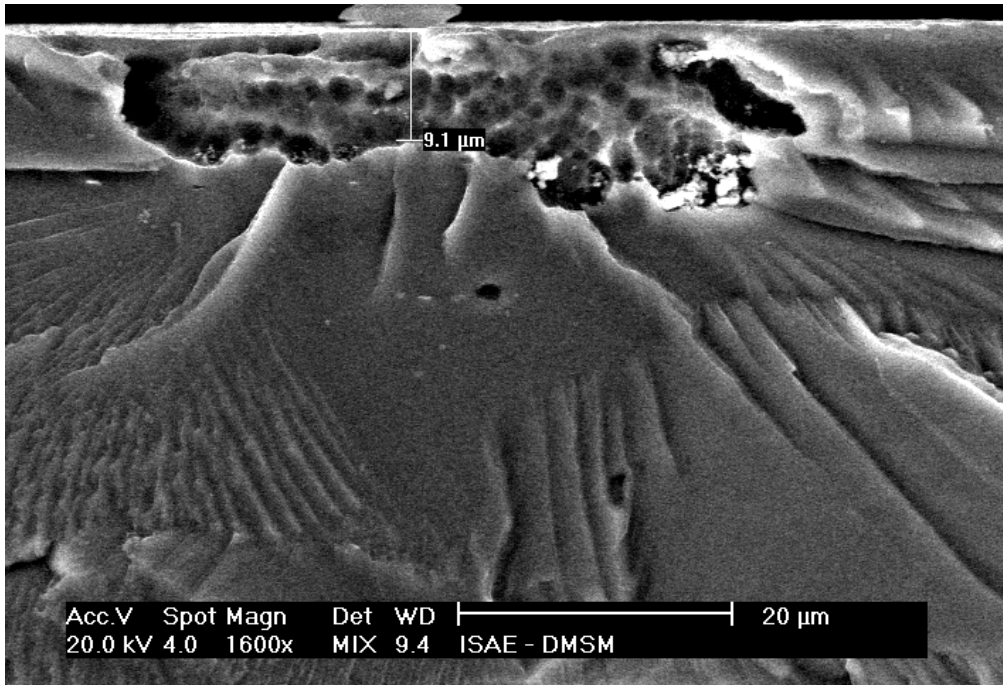


$K_t \sigma_{max}$



LIMITE DU MODÈLE DE FATIGUE : la multi-fissuration

- Cas du 7050 usiné anodisé :

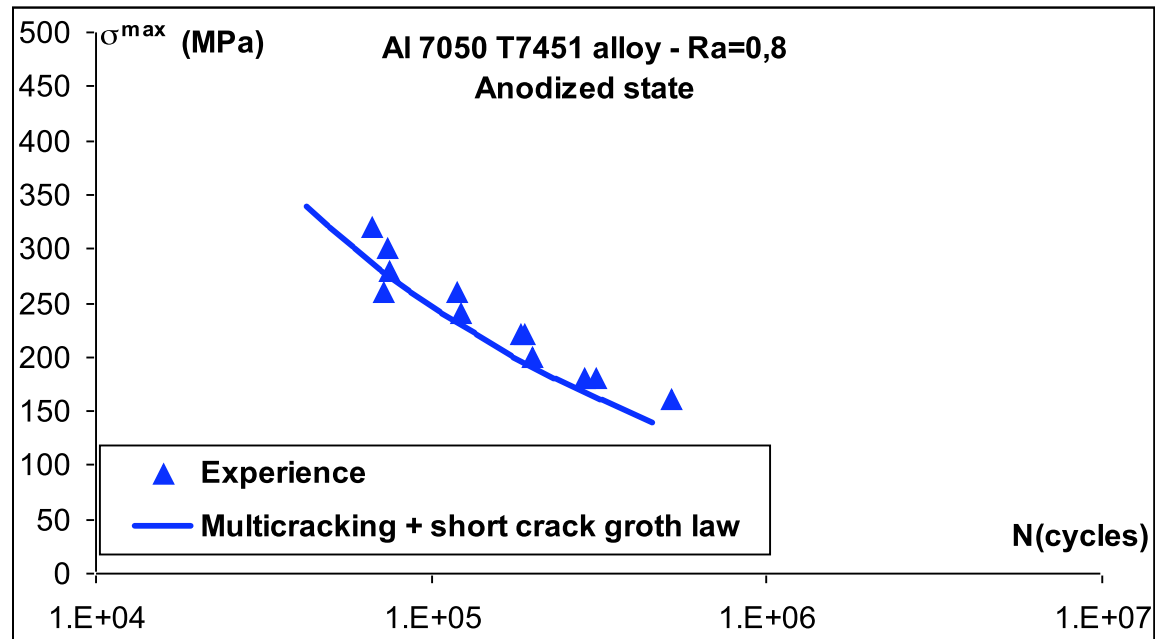
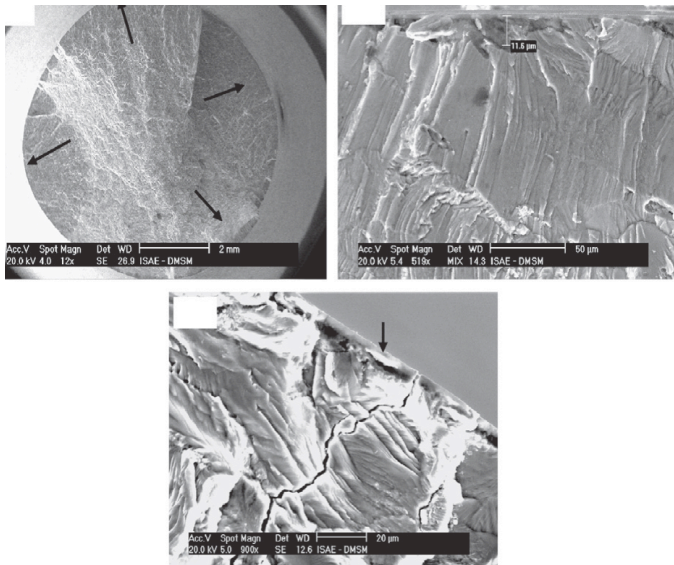


rugosité : usinage
+
piqûres : décapage

Validité du critère K_t ?

LIMITE DU MODÈLE DE FATIGUE : la multi-fissuration

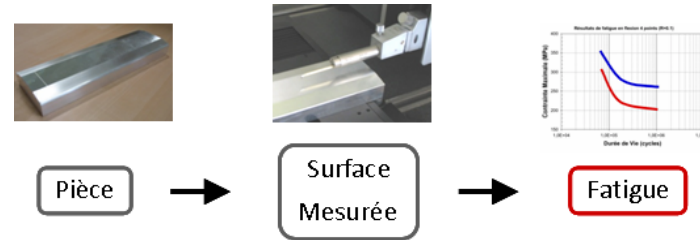
- Cas du 7050 usiné anodisé :
 - Le K_t reste un bon descripteur de la surface
 - le modèle de fatigue doit intégrer les sites d'amorçage multiples



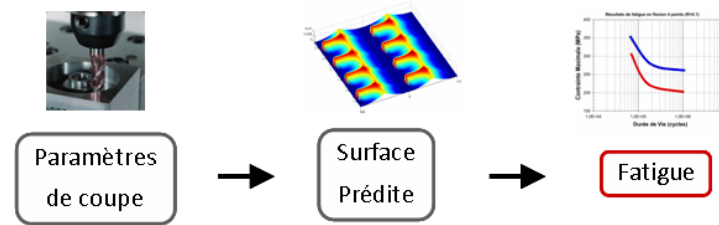
CONCLUSION

- Lien établi entre paramètres de coupe et durée de vie

➤ Outil de contrôle



➤ Outil de prédiction



• Limites du modèle

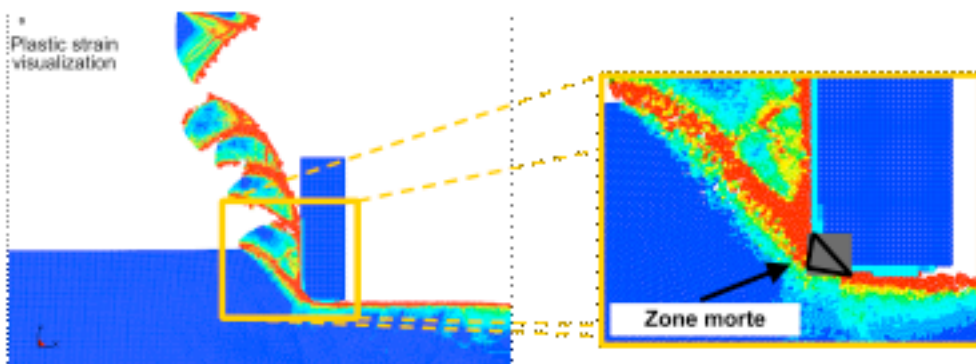
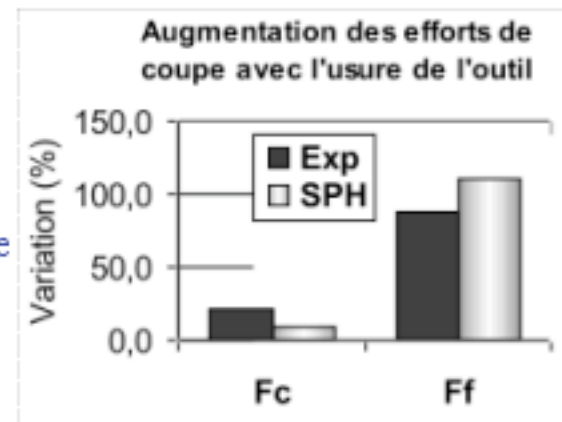
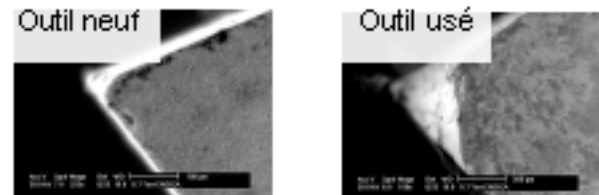
- Conditions de coupe stable et uniforme (usure, vibration, ... non prises en compte)
- Amorçage et propagation liés à la concentration de contraintes locale (K_t local)

• Perspectives

- Etablir le domaine de validité (autres types d'usinage, autres matériaux...)
- Etendre aux effets combinés de rugosité, microstructure et contraintes résiduelles.

PERSPECTIVES (exemple)

- **Objet:** influence de l'usure de l'outil
- **Approche proposée:** modèles SPH ayant un profil d'outil neuf et usé
- **Influence de l'usure sur les efforts de coupe**
 - 4 Augmentation significative de l'effort d'avance
 - 4 Le modèle SPH prend seulement en compte le changement géométrique de l'outil
- **Influence de l'usure sur la formation du copeau**
 - 4 Modélisation d'un copeau segmenté en accord avec l'expérience
 - 4 Une zone morte est identifiée



→ Possibilité d'optimisation usure/efforts/fatigue