

# Effet de l'anisotropie lors de la coupe du bois



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE  
**GESAAF**  
DIPARTIMENTO DI GESTIONE  
DEI SISTEMI AGRARI,  
ALIMENTARI E FORESTALI

Vendredi 23 novembre 2018 – Cluny, France

Giacomo Goli, Rémi Curti, Bertrand Marcon, Louis Denaud

Groupe Usinage Bois

## Contexte

- ❑ Les paramètres de coupe lors de l'usinage du bois sont empiriques et basés sur l'expérience de l'opérateur. Les méthodes développées dans l'industrie du métal comme les méthodologies « COM » sont encore moins présentes dans notre industrie. Gains de temps et de nombre d'opérations disponibles.
  
- ❑ Le projet ANISOTROPEE, financé par l'université de Florence vise donc à développer une stratégie innovante et simple dans le but de collecter des données pour une approche plus scientifique du paramétrage d'opérations d'usinage.
  - Méthode de caractérisation nouvelle, rapide et simple
  - Caractérisation des états de surface
  - Caractérisation des efforts de coupe et des efforts spécifiques de coupe (pression spécifique / coefficient spécifique de coupe)
  - Pour tout angle du fil (dans le plan LT)

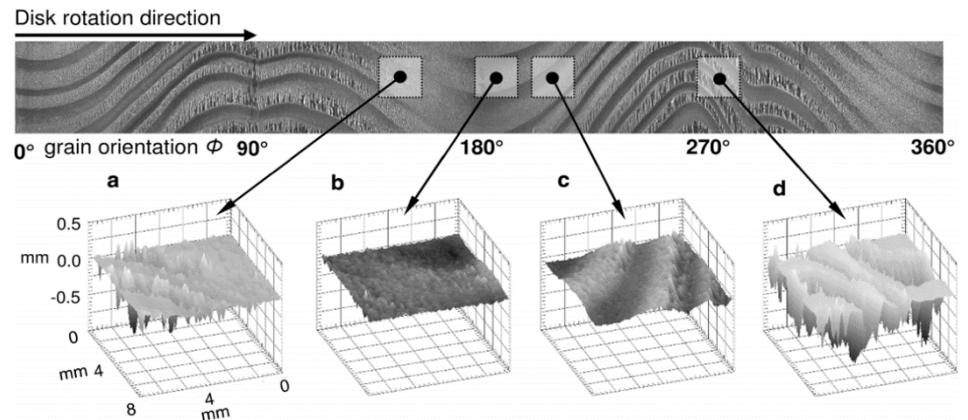
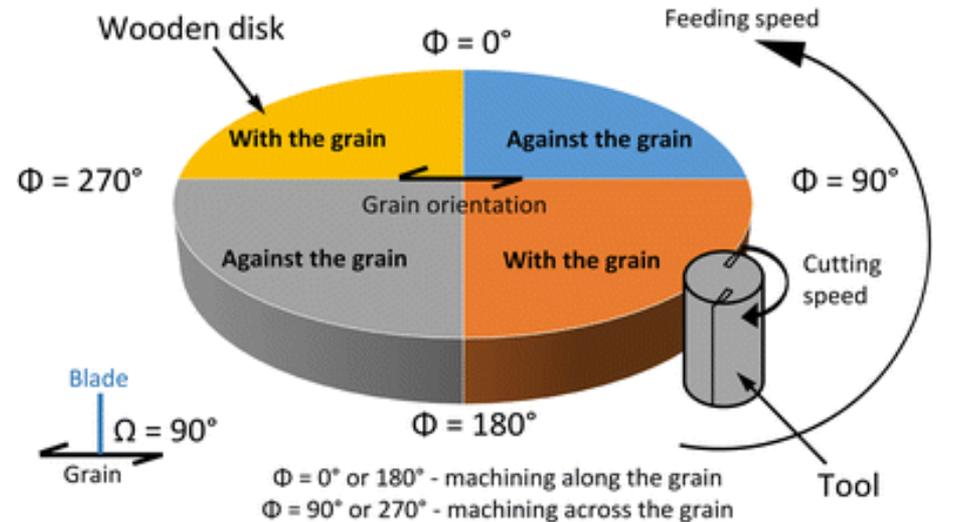
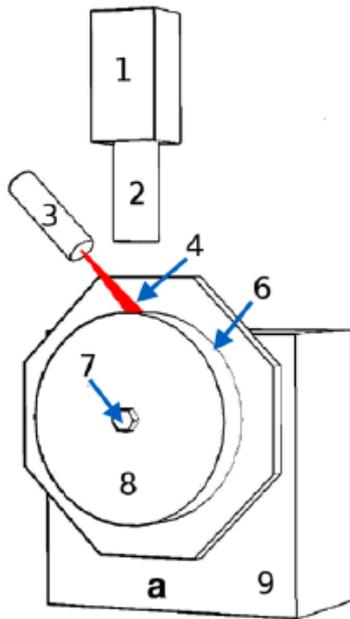


## Présentation du principe



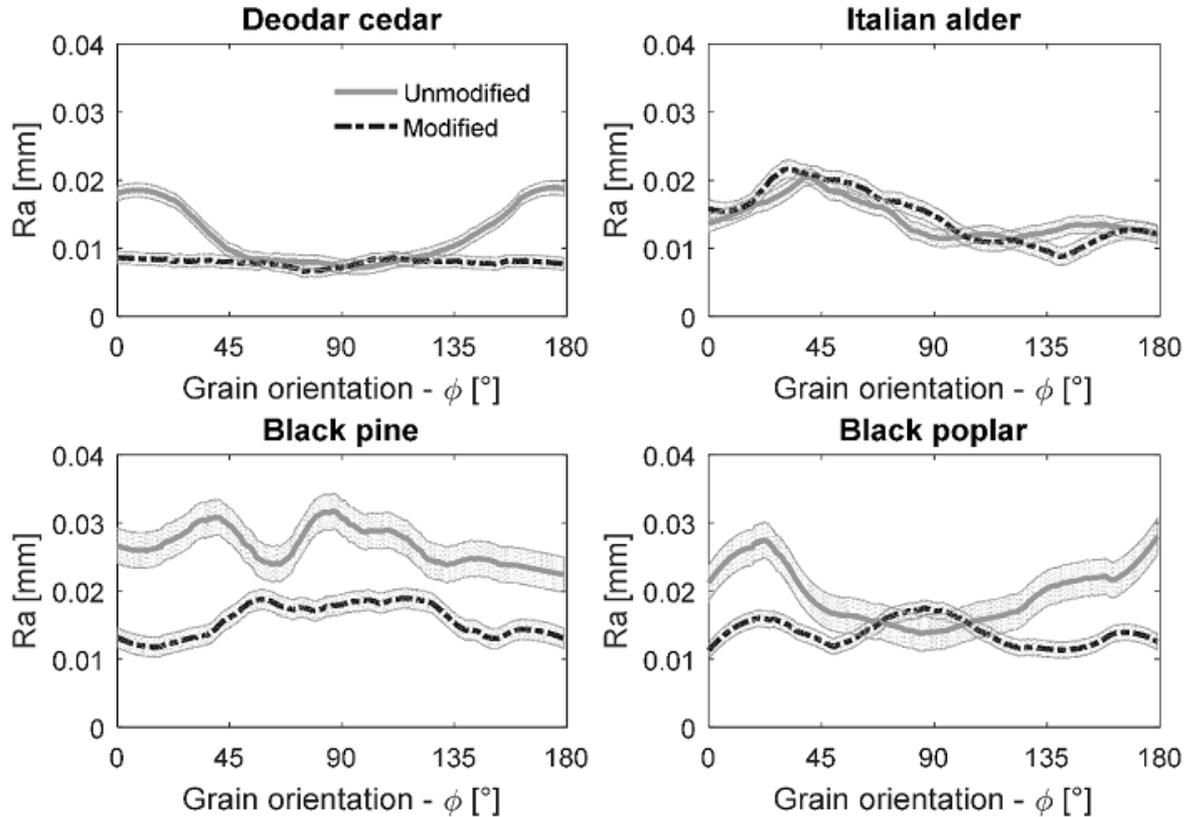
## Contexte – travaux précédents

- ❑ Cadre : Etre capable de prendre en compte plus finement le paramètre « fil du bois » lors de l'élaboration de stratégie de coupe
- ❑ Suite de [Goli 16]  
Etude focalisée a la définition de la méthode



## Contexte – travaux précédents

- Cadre : Détermination de la qualité de surface après usinage du bois traité et non traité thermiquement [Sandak 17]



## Ressources du projet

ENSAM et Université de Florence tour à tour.

- ❑ ENSAM financé venue Giac 1 mois à Cluny (juillet 2017 - Campagne initiale)
- ❑ Cost FP 1407 Rémi à Florence 1 semaine (janvier 2018 - Traitement des données)
- ❑ Univ. Florence 1 an Rémi à Florence et ENSAM 2 mois Giac a Cluny (octobre 2018 à octobre 2019 - Approfondissement)



ModWoodLife



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**GESAAF**  
DIPARTIMENTO DI GESTIONE  
DEI SISTEMI AGRARI,  
ALIMENTARI E FORESTALI

## Campagne expérimentale initiale

- ❑ Objectif initial : Peut-on quantifier les efforts de coupe et calculer des coefficients spécifiques de coupe lors d'essais de fraisage en fonction de l'angle du fil?



4 engagements radiaux : 0,3 0,7 1,1 et 1,5 mm  
 (=> 4 épaisseurs moyenne de copeau : 0,02 0,04 0,06 et 0,08 mm)

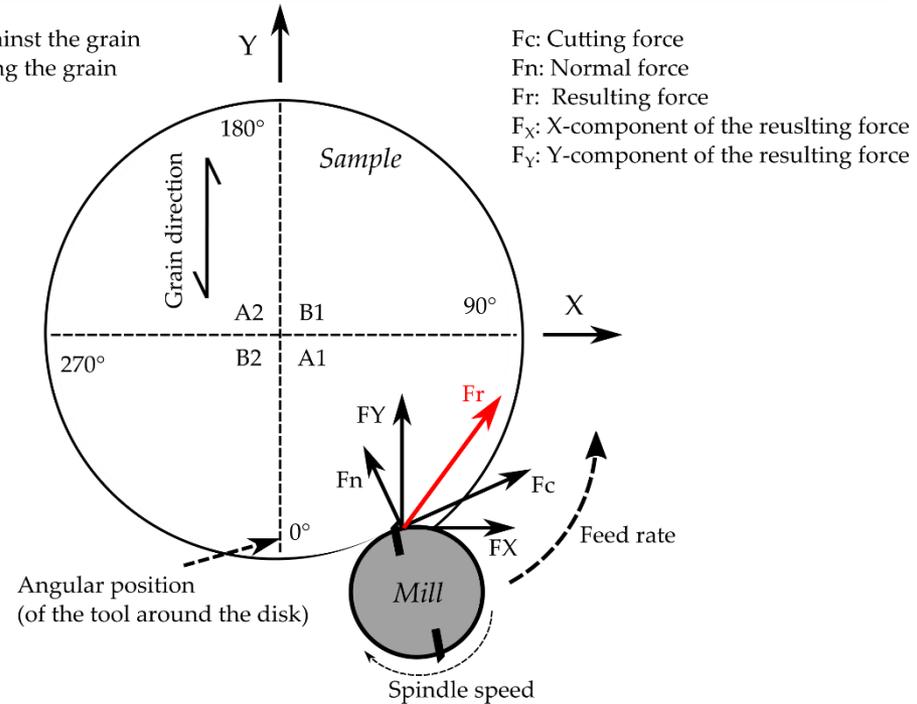
Vitesse de broche : 3000 tr/min (50 tr/sec)  
 Vitesse d'avance : 2000 mm/min

Période dent engagée : 7° (mini) → **0.388 ms**  
 Période d'acquisition : 1/50 kHz<sup>-1</sup> (filtre P-bas 10 kHz...) → **0.01 ms**  
 (Résonance platine : 1,5 kHz)

Bonne discrétisation  
 du passage d'une  
 dent mais pas de  
 filtre contre les  
 vibrations

## Méthode - Principe schématisé

A1 and A2 : machining against the grain  
B1 and B2 : machining along the grain



4 engagements radiaux : 0,3 0,7 1,1 et 1,5 mm  
(=> 4 épaisseurs moyenne de copeau : 0,02 0,04 0,06 et 0,08 mm)

Vitesse de broche : 3000 tr/min (50 tr/sec)

Vitesse d'avance : 2000 mm/min

Période dent engagée : 7° (mini) → **0.388 ms**

Période d'acquisition : 1/50 kHz<sup>-1</sup> (filtre P-bas 10 kHz...) → **0.01 ms**

(Résonance platine : 1,5 kHz)

Bonne discrétisation  
du passage d'une  
dent mais pas de  
filtre contre les  
vibrations

## Méthode - Matériaux usinés

- ❑ 1<sup>ère</sup> campagne exploratoire. but premier → Valider la faisabilité du projet → Diversité dans les matériaux usinés

Matériau	Produit			
PTFE	« Massif »			
MDF	« Massif »			
Peuplier	Massif	Massif TT	LVL	CP
Hêtre	Massif	Massif vert	LVL	
Douglas	Massif	Massif vert		

- ❑ Chaque produit = 1 seul échantillon et 8 passes d'usinage
  - 4 engagements radiaux en avalant
  - 4 engagements radiaux en opposition
  - Divers types d'anisotropies, de densités, d'anatomies
  - Diamètre initial des disques : ~300 mm. Epaisseur ~30 mm

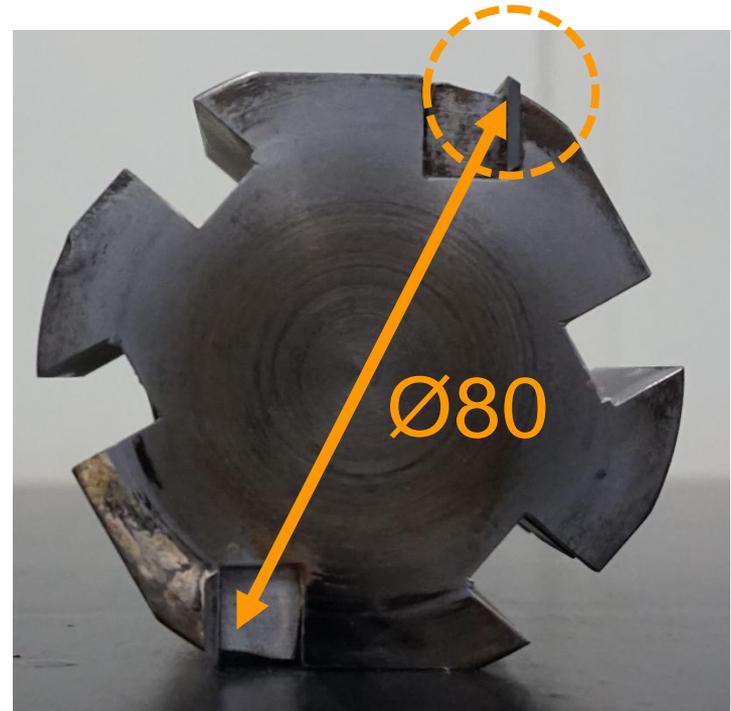
## Méthode - Usinant

❑ Outil : Fraise  $\varnothing 80$  / 1 fer droit.

(second fer présent pour équilibrage mais plus court et non-usinant)

❑ Angles

- D'attaque :  $25^\circ$
- De bec :  $55^\circ$
- De dépouille :  $10^\circ$



## Méthode - Remarque

- ❑ Même essai, relevé des efforts de coupe pour plusieurs engagement radiaux => calcul de la pression de coupe (rapport entre effort dans la direction de coupe et section du copeau)

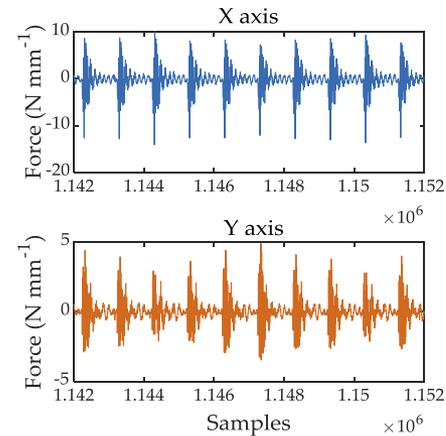
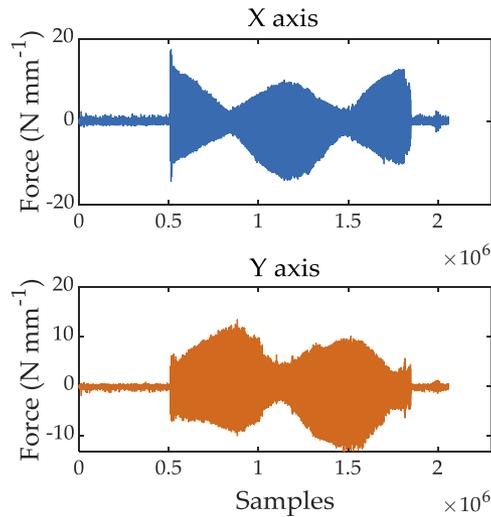
$$F_c = K_c \cdot b \cdot h_m + \text{Intersection}$$

fixe                      variable

- ❑ Efforts présentés en « N mm<sup>-1</sup> » car systématiquement divisés par l'épaisseur du disque (rappel : environ 30 mm)

# Méthode - Signaux mesurés

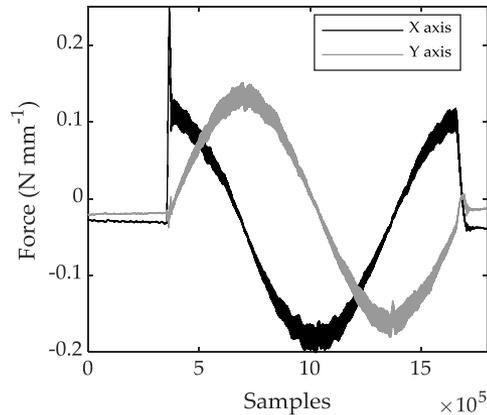
Signaux bruts



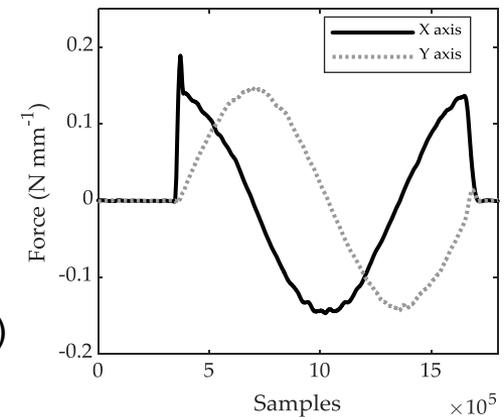
Zoom sur 10 passages de dents



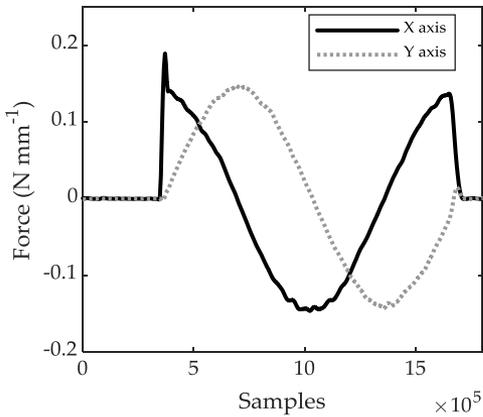
Moyenne mobile sur 20 périodes



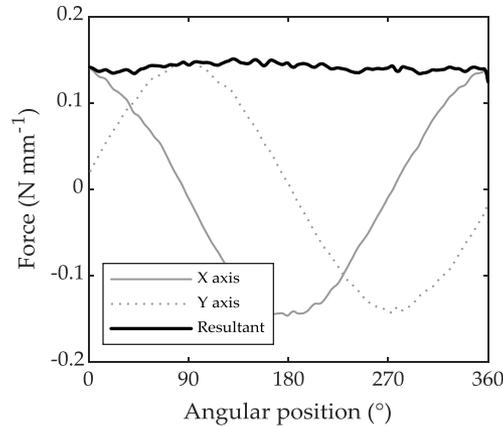
« Smooth » (MM  
10 périodes)  
→  
« Detrend »  
(essai long,  
dérive de la platine)



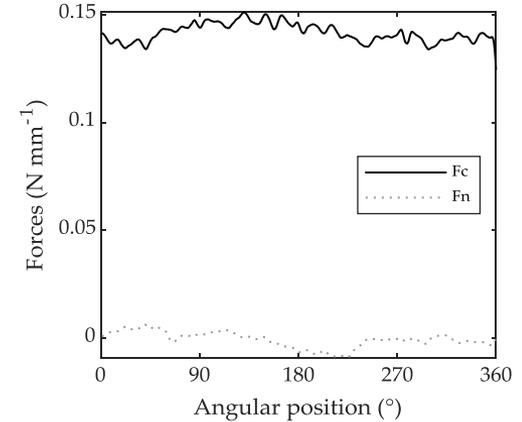
# Méthode - Changement de repère



Calcul de la **résultante**

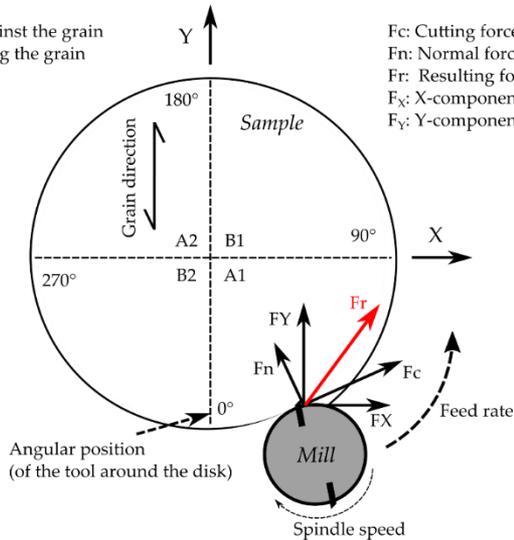


Projection



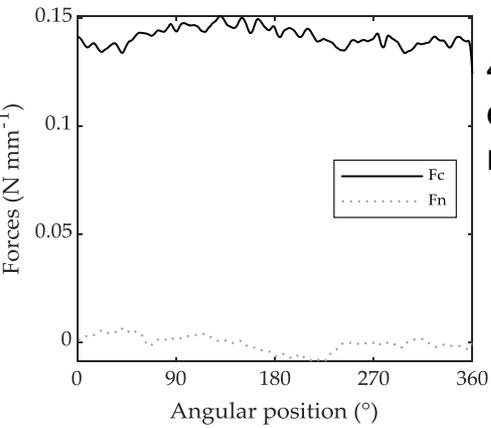
( )

A1 and A2 : machining against the grain  
B1 and B2 : machining along the grain

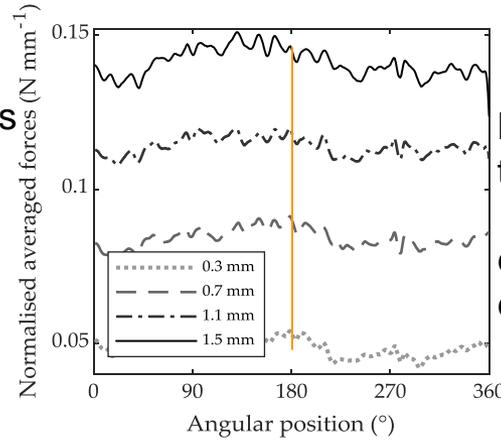


Fc: Cutting force  
Fn: Normal force  
Fr: Resulting force  
Fx: X-component of the resulting force  
Fy: Y-component of the resulting force

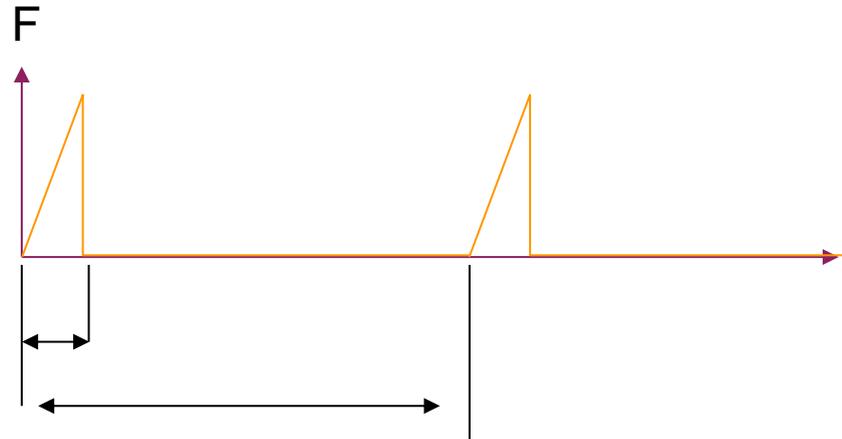
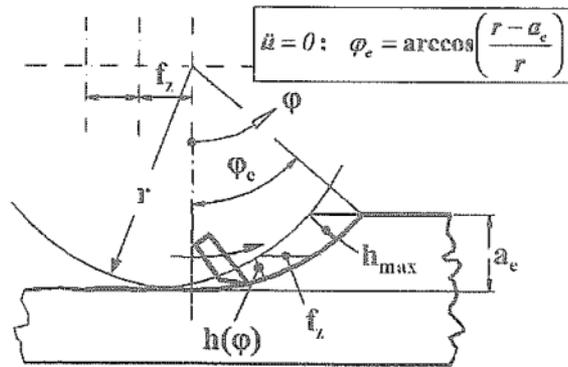
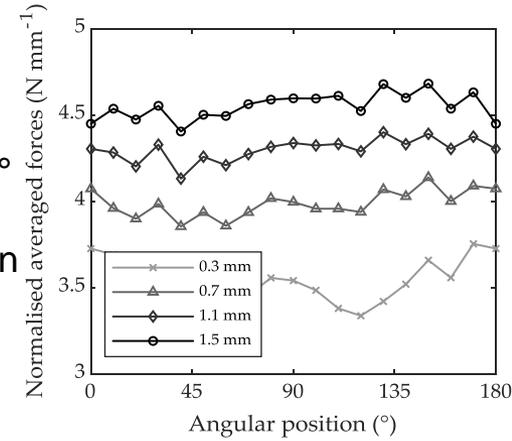
# Méthode – Calcul des efforts « instantanés »



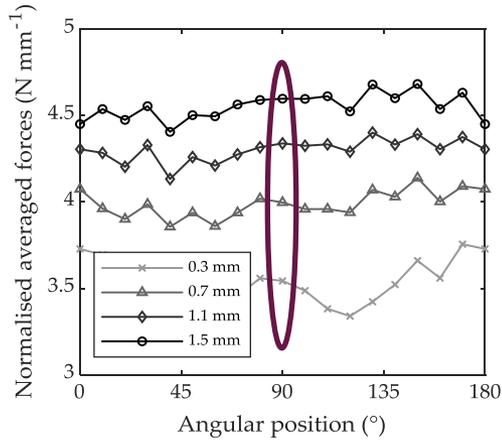
4 engagements radiaux



Moyenne tous les 10° et estimation effort réel



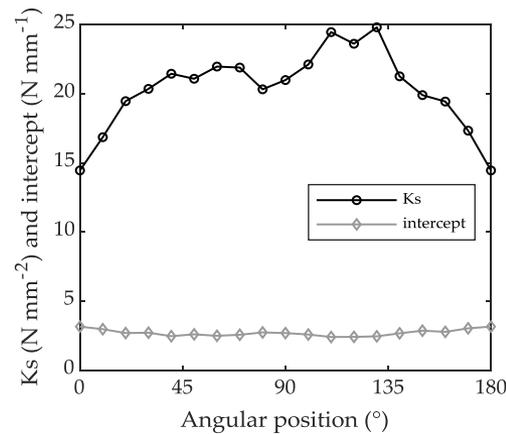
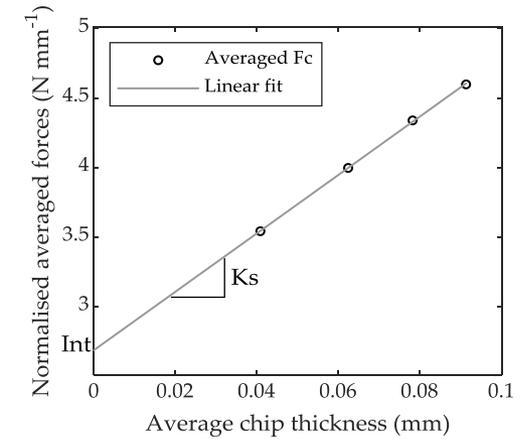
# Méthode – Calcul de la pression de coupe



Régression linéaire

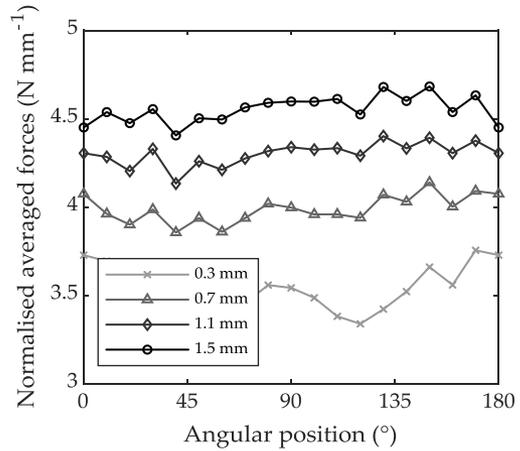


Pour les 18 positions  
angulaires moyennes

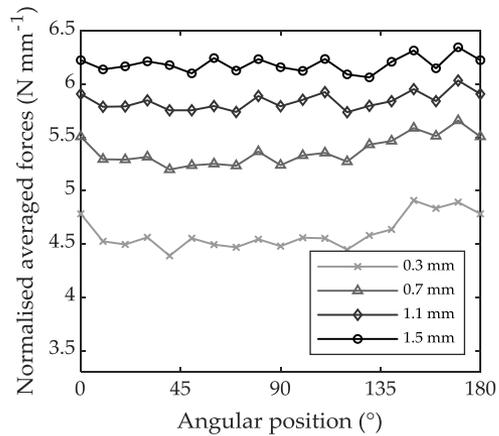
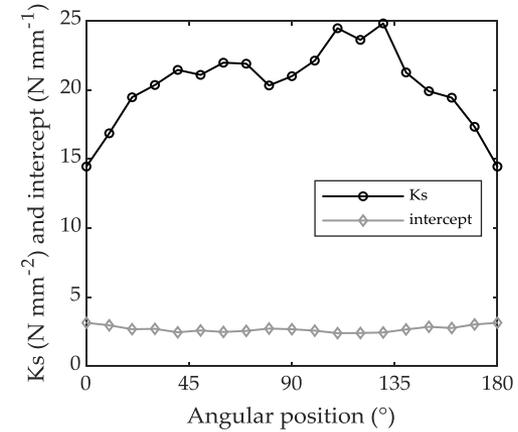


18 coefficients  
regroupés

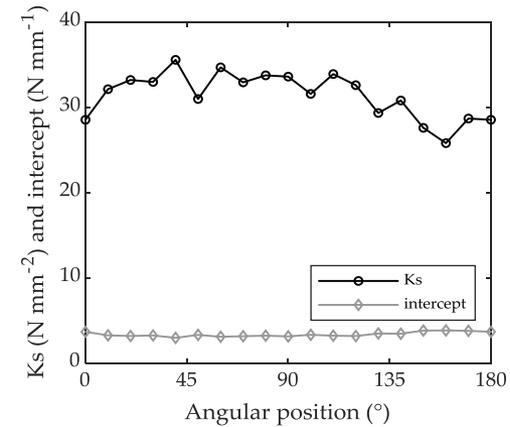
# Résultats - Milieux isotropes (usinage en opposition)



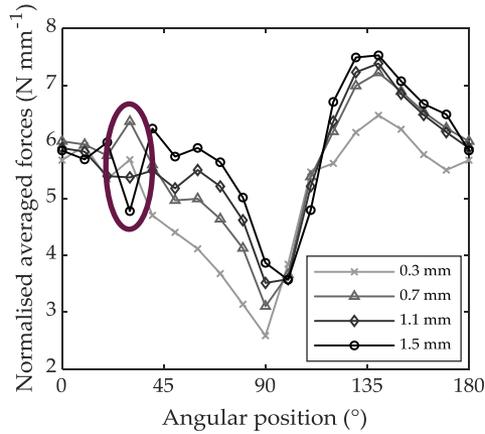
PTFE



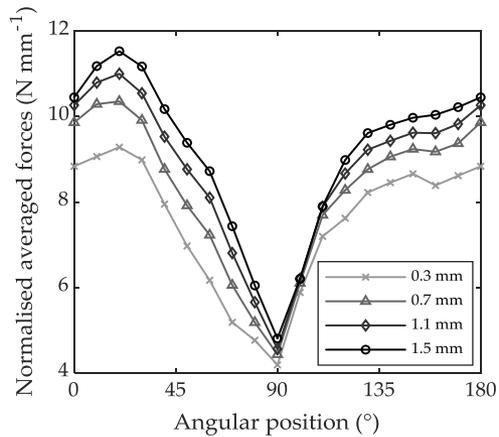
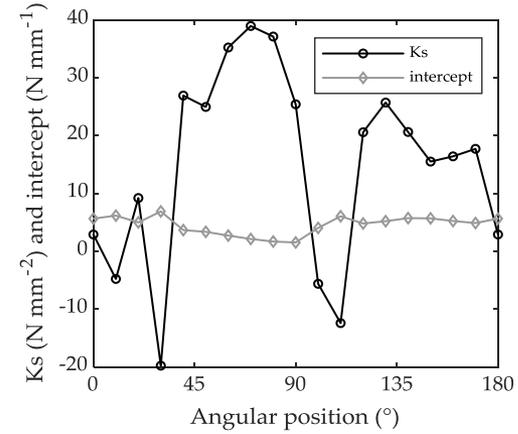
MDF



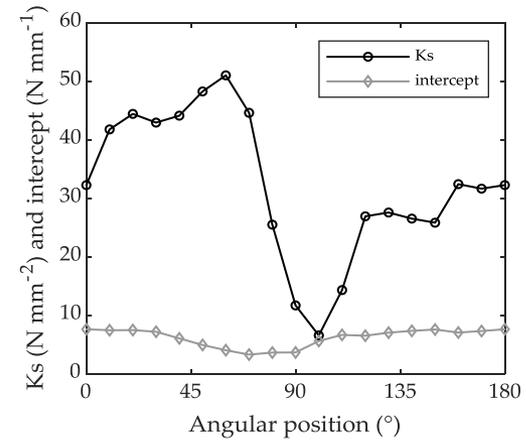
# Résultats – Milieux anisotropes (usinage en opposition)



LVL  
peuplier



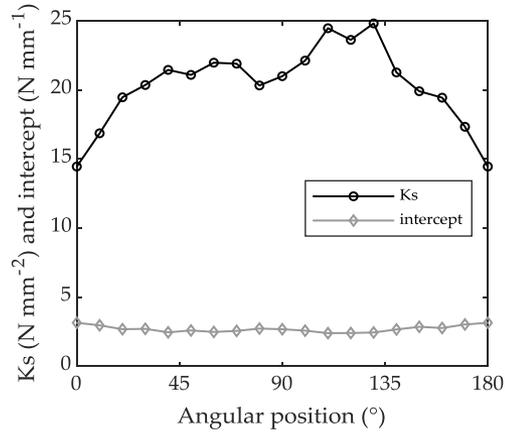
LVL hêtre





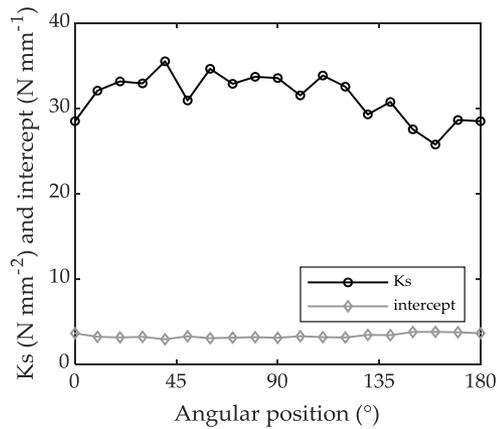
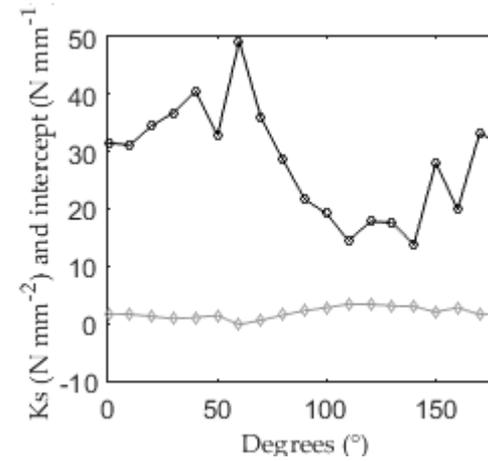
# Résultats – Milieux isotropes (usinage en avalant)

## Opposition

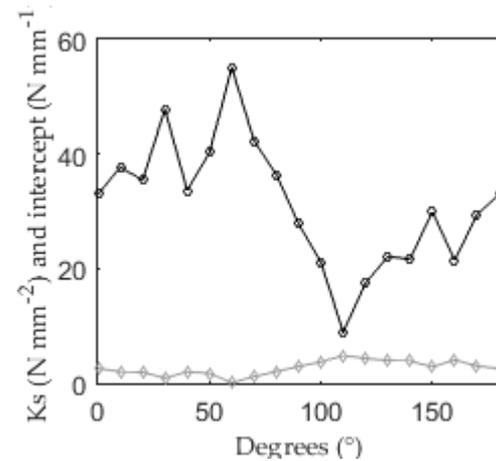


PTFE

## Avalant



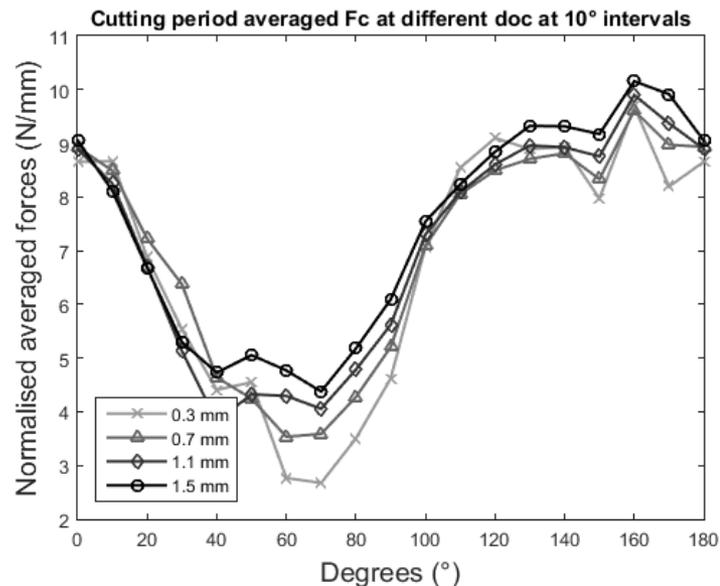
MDF



## Discussion – usinage en avalant

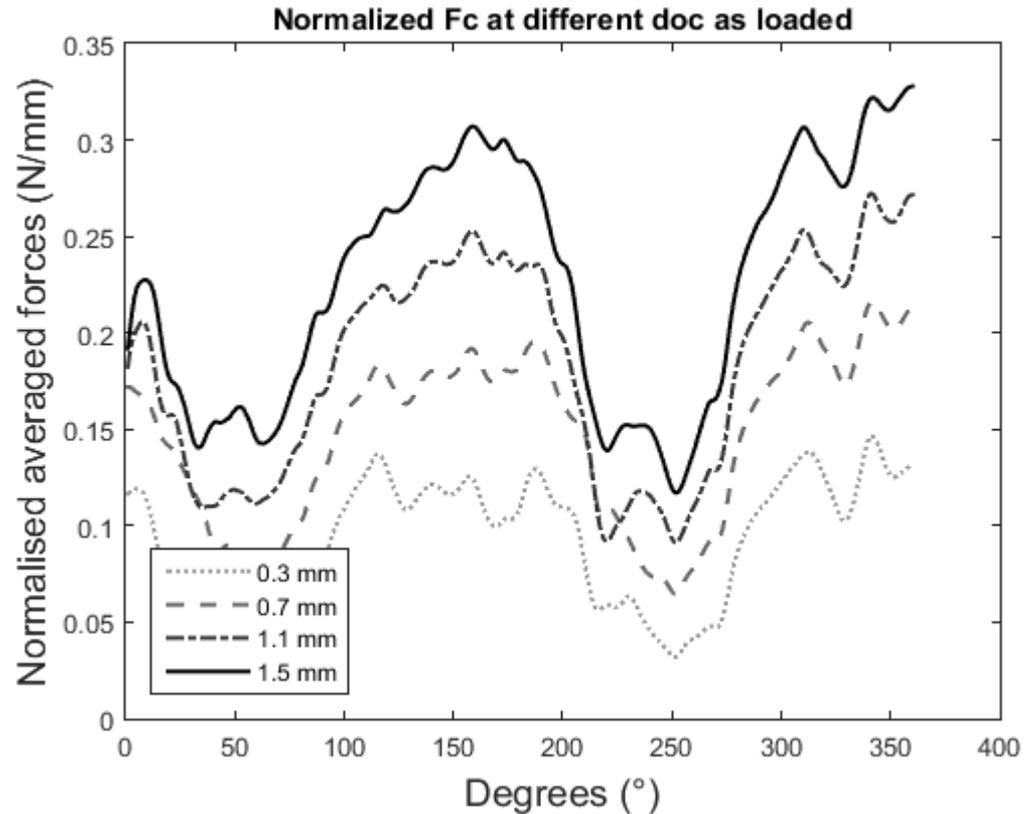
- Interrogation sur les phénomènes en avalant.
  - Certes plus de dynamique, mais?
  - Même échantillon (pas au même rayon)
  - Plusieurs approximations dues à la méthode de calcul :
    - Moyenne sur 180°, découpe du signal, etc ...
  - Efforts compensé par la « longueur du copeau » : Lisse tout
  - Rattrapage des jeux?

LVL hêtre



## Discussion – usinage en avalant

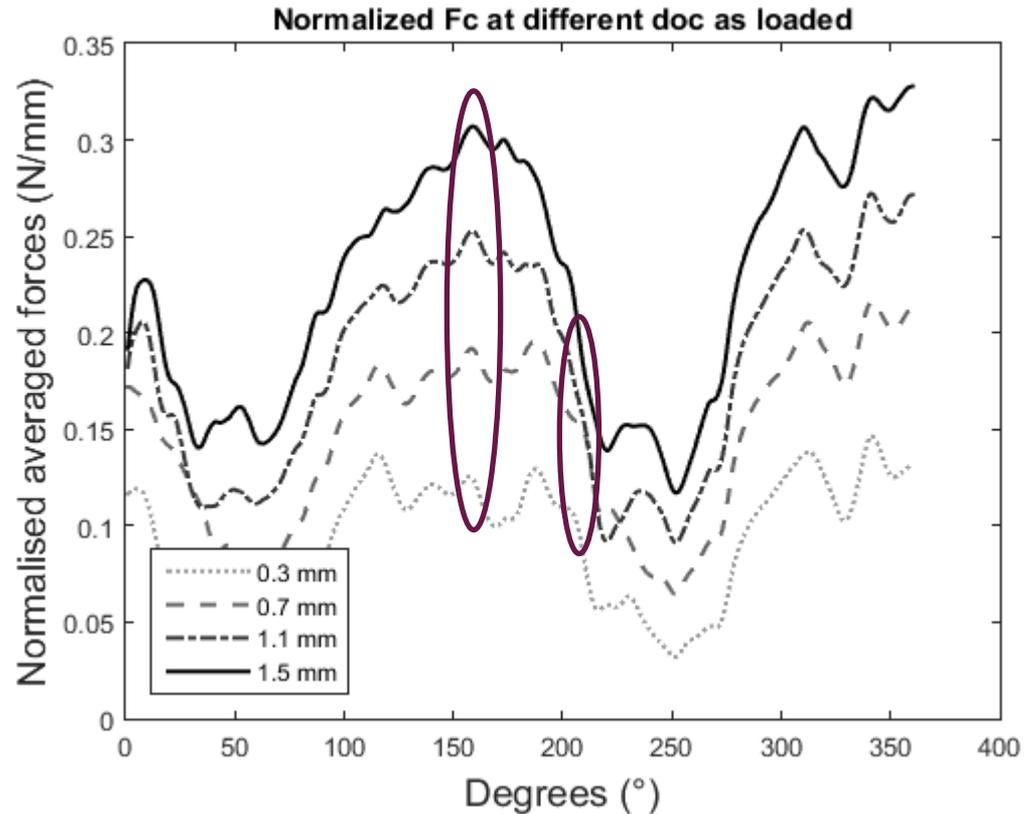
- ❑  $K_s$  extrêmement faible, erreur de calculs et simplification de la méthode crée des erreurs très forte.



LVL hêtre

## Discussion – usinage en avalant

- Note : pas affiché mais  $R^2$  calculés pour les régressions linéaires
  - Élevés quand  $K_s$  grand. S'effondre autrement



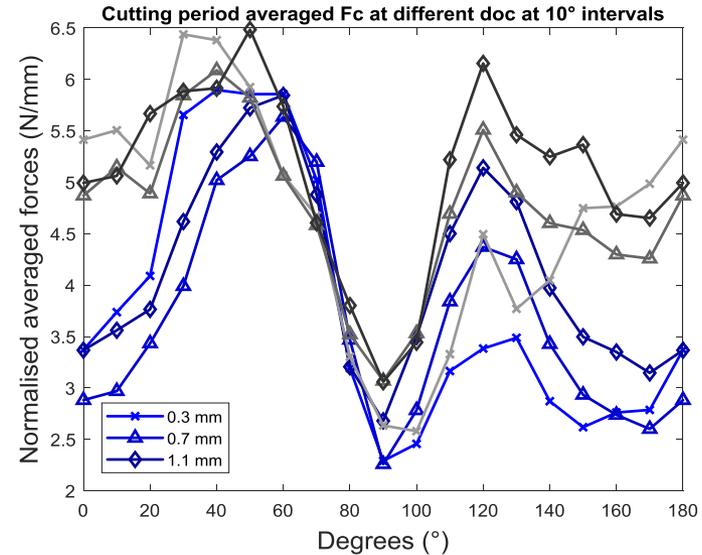
# Discussion - Peuplier traité thermiquement VS non traité

Peuplier



Massif

TT



- Bois différents
- Même densité (après-traitement)
- Efforts très différenciés à contre-fil

## Perspectives - Finalité

- ❑ Varier vitesses de broche et d'avance en fonction de l'angle du fil
  - Homogénéiser les efforts de coupe et les états de surfaces
  - Abaques de pressions spécifiques
    - Pour plusieurs géométries d'outils

## Perspectives – Travaux à venir à court- et moyen-terme

- ❑ A venir : Plus d'essais (outils différents), focalisation sur la compréhension des phénomènes en avalant
- ❑ Amélioration de la méthode. Essais très riches en information, nécessite une forte rigueur pour pouvoir être ensuite interprétés correctement.
- ❑ Mesures additionnelles (Densité locale), angle du fil

***Merci pour votre attention***

