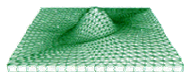


# APPROCHE GEOMETRIQUE ET MECANIQUE DE PERCAGE



LABORATOIRE DE  
PHYSIQUE ET  
MECANIQUE DES  
MATERIAUX

Mohamad JRAD  
Dr. Arnaud Devillez  
Pr. Daniel Dudzinski



# Introduction

---

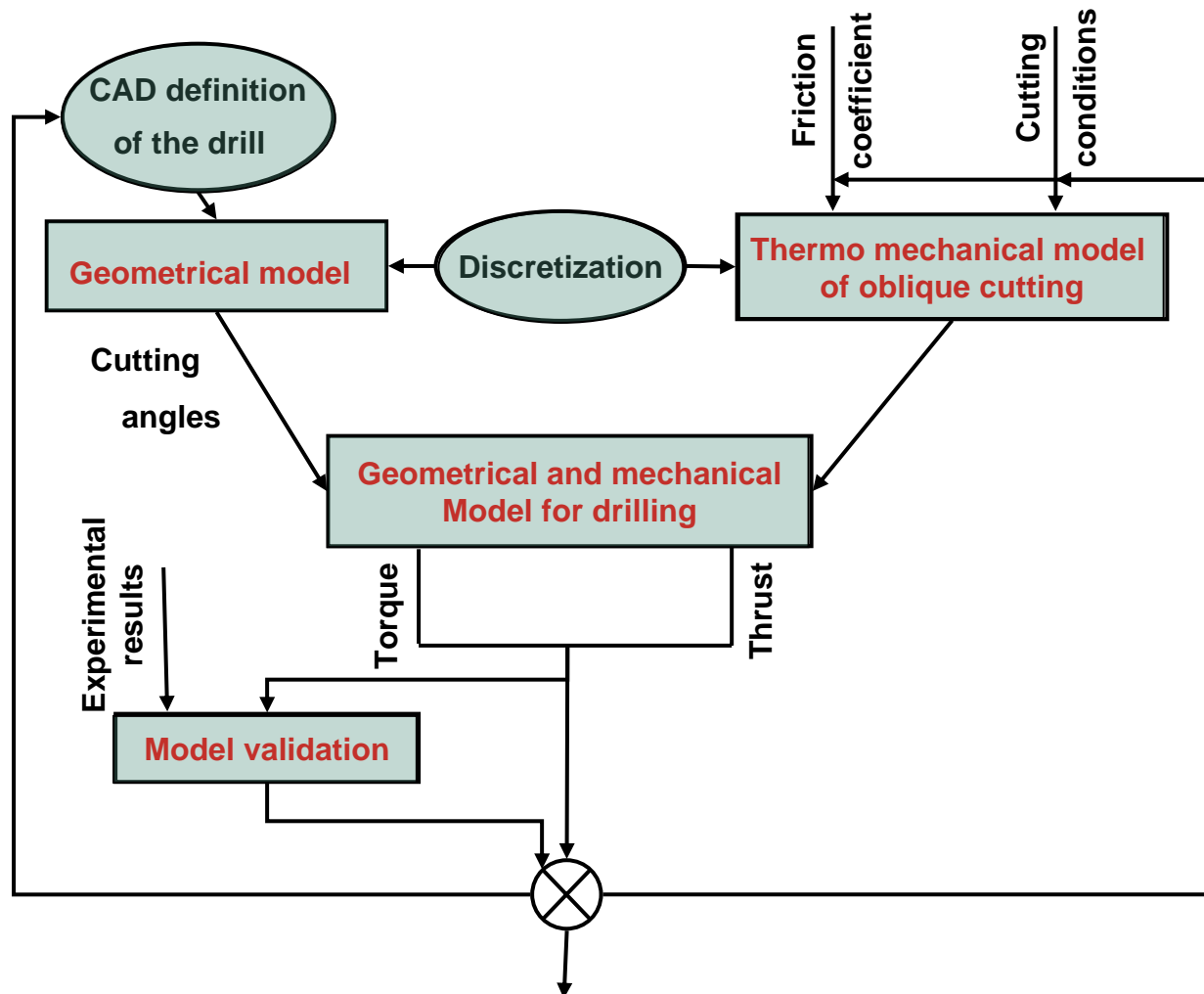
- Le perçage est un procédé de fabrication très courant.
- Plusieurs problèmes sont associés au perçage : l'erreur de forme, les vibrations, l'usure et la rupture de l'outil, la montée en température du foret et de la pièce....
- Ces problèmes sont liés aux efforts de coupe, et aux températures générées lors du perçage.
- Dans cette présentation un modèle analytique est proposé pour calculer les efforts de coupe à partir d'une définition CAO du foret.

# Objectifs

---

- La modélisation des efforts de coupe :
  - définition de la géométrie du foret,
  - conditions de coupe,
  - matériaux usinés.
  
- L'optimisation du perçage.
  - conditions de coupe,
  - géométrie du foret.

# Plan



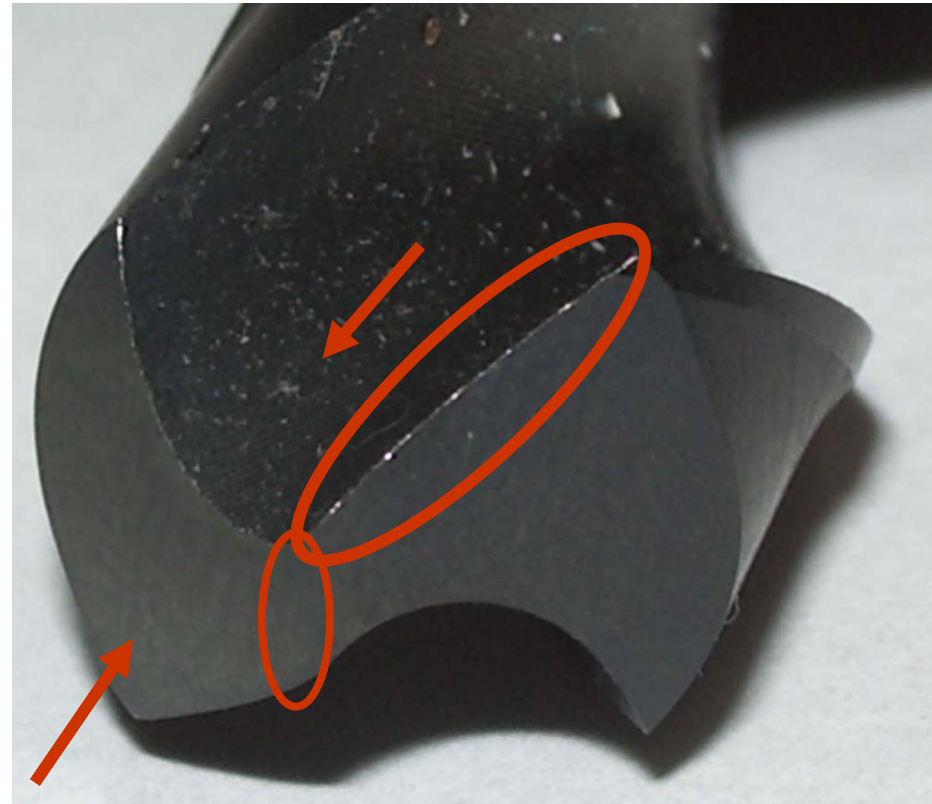
# Plan

---

- Modèle géométrique
- L'application du modèle thermomécanique
- Validation expérimentale
- Conclusions

# Modèle géométrique

- Le foret est un outil très complexe puisque les angles de coupe varient le long des arêtes de coupe.
- La géométrie du foret est composée de deux surfaces: la goujure et la pointe.
- Les forets conventionnels ont été étudiés en détail.



# Modèle géométrique

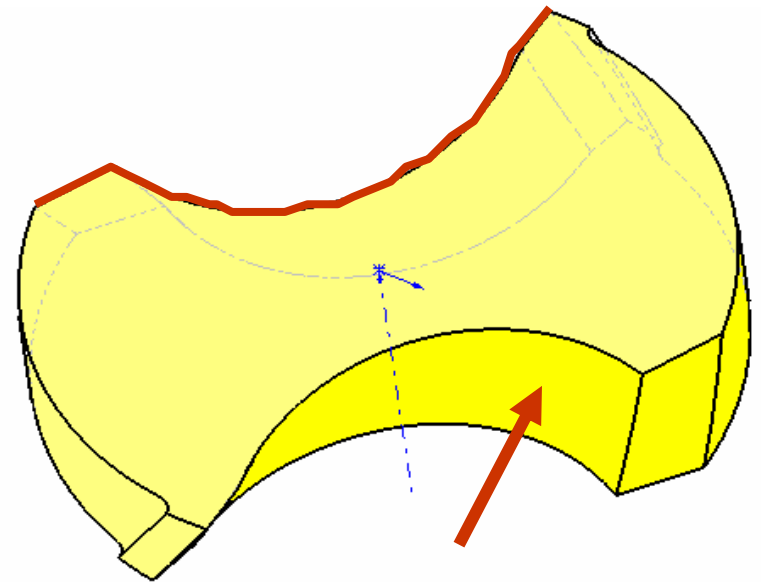


- Le modèle présenté dans ce travail étudie les forets avec des arêtes complexes.
- Le modèle proposé peut être utilisé avec la majorité des forets, en particulier les forets avec des arêtes centrales amincies.



# Modèle géométrique

- L'une des surfaces constituant la géométrie du foret est la goujure.
- La goujure peut être définie par le contour d'une section initiale du foret en mouvement de rotation et de translation par rapport à l'axe du foret.

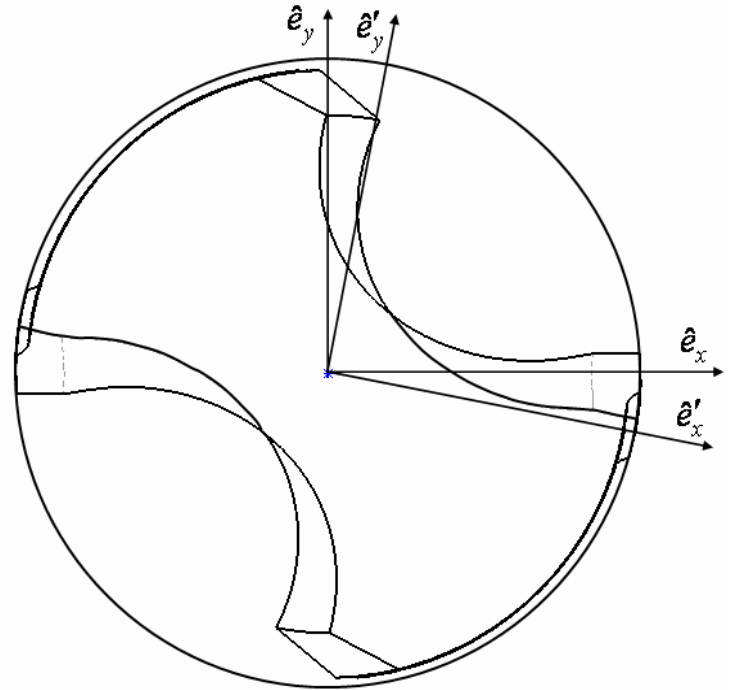




# Modèle géométrique



- Les coordonnées de certains nombres des points du contour de goujure sont déterminés par l'utilisation de la définition CAO du foret.
- La surface de goujure est exprimée par l'expression suivante:

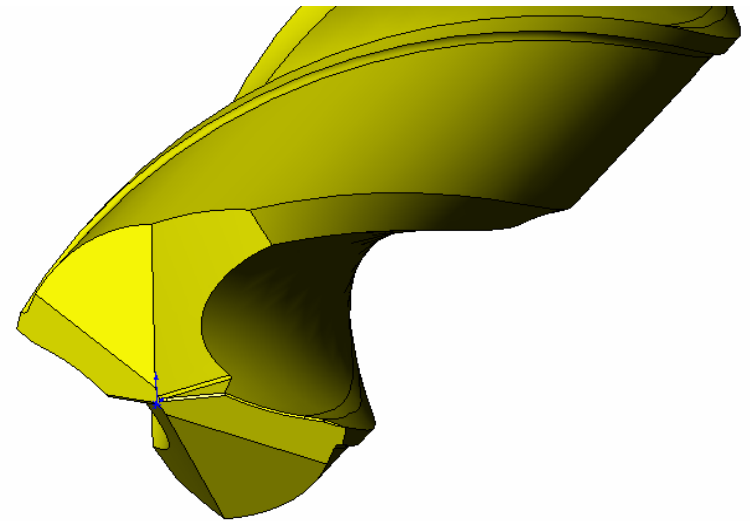


$$G(x, y) = x \sin\left(\frac{2\pi z}{p}\right) - y \cos\left(\frac{2\pi z}{p}\right) + \sum_{i=0}^n b_i \left( x \sin\left(\frac{2\pi z}{p}\right) + y \cos\left(\frac{2\pi z}{p}\right) \right)^i = 0$$

# Modèle géométrique



- Différents types de pointes ont été développés.
- Parmi le type de pointe le plus utilisé, on trouve les pointes avec une arête centrale amincie et une face de dépouille plane.
- L'équation de la face de dépouille peut être exprimée par l'expression suivante:

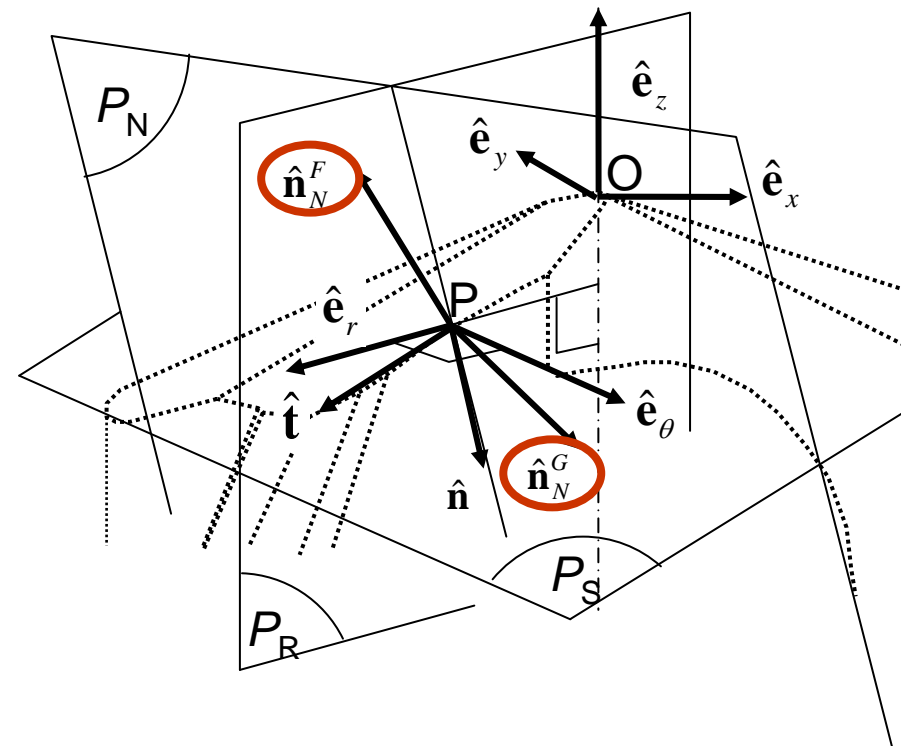


$$F(x, y, z) = ax + by + cz = 0$$

# Modèle géométrique



- Les normes ISO ont été utilisées pour définir les plans fondamentaux.
- L'arête de coupe correspond à l'intersection entre la surface de goujure et la pointe du foret.
- Donc, l'équation de l'arête de coupe est obtenue par la résolution des équations suivantes simultanément :

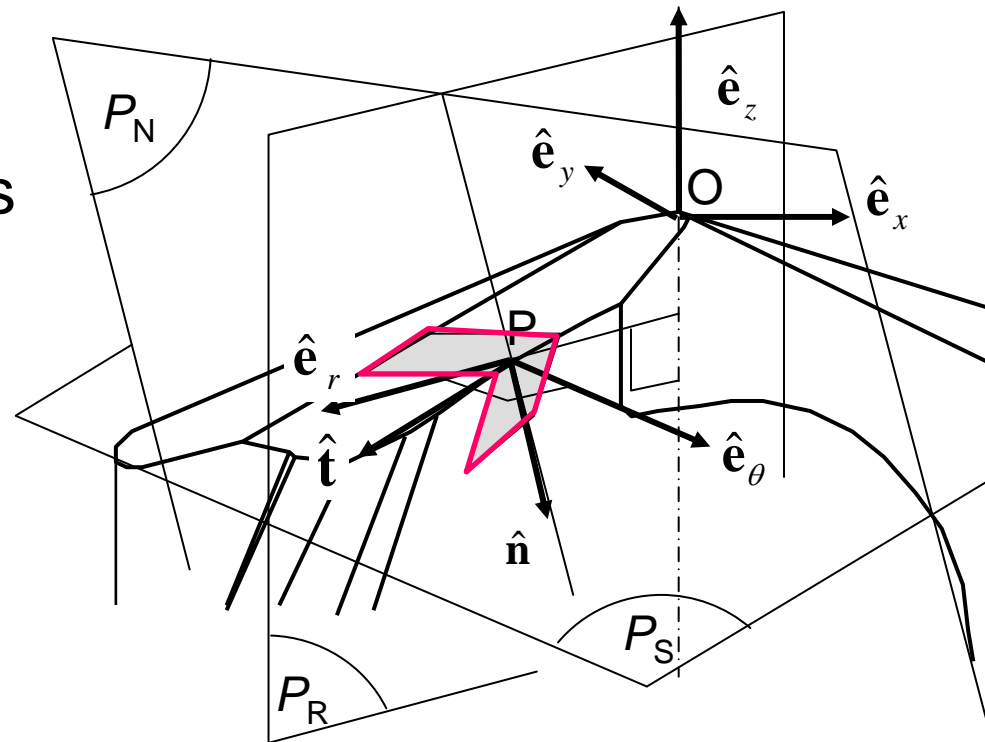


$$F(x, y, z) = 0 \text{ et } G(x, y, z) = 0$$

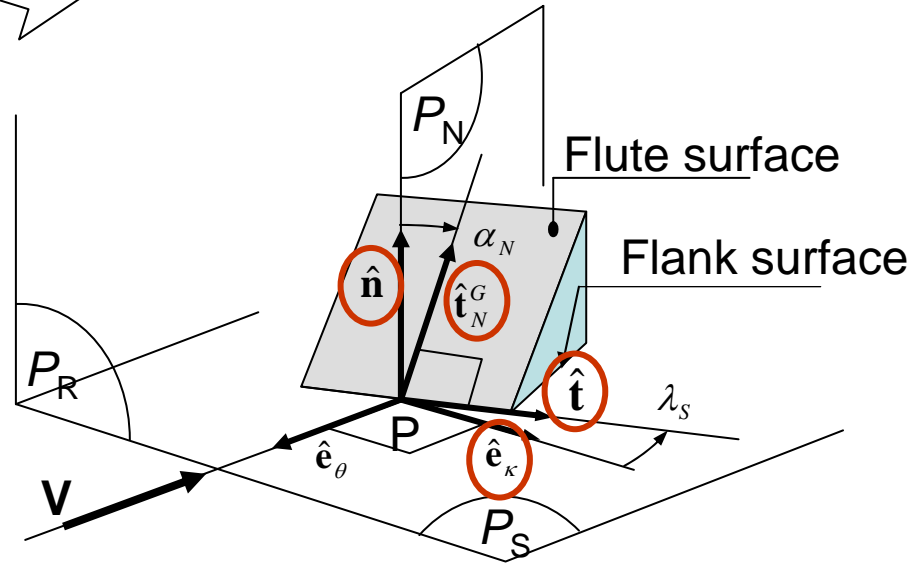
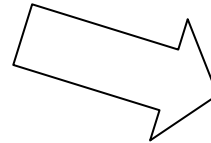
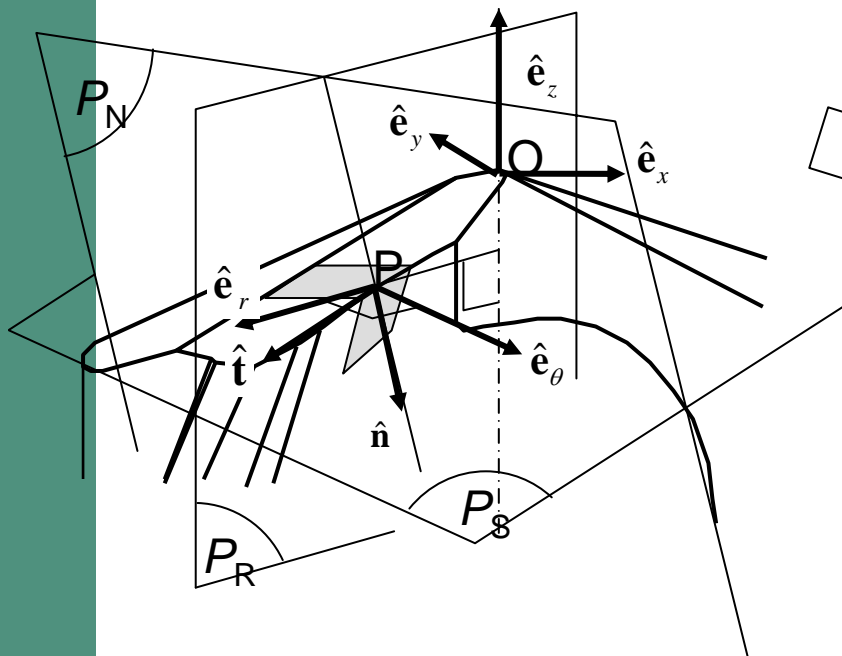
# Discrétisation de l'arête de coupe



- Les arêtes de coupe du foret sont ensuite décomposées en arêtes de coupe élémentaires.
- Chaque arête de coupe élémentaire travaille en coupe oblique.



# Discrétisation de l'arête de coupe



Local normal rake angle:

$$\alpha_n = \cos^{-1} \left( \frac{\hat{\mathbf{n}} \cdot \hat{\mathbf{t}}_N^G}{\|\hat{\mathbf{n}}\| \|\hat{\mathbf{t}}_N^G\|} \right)$$

Local inclinaison angle:

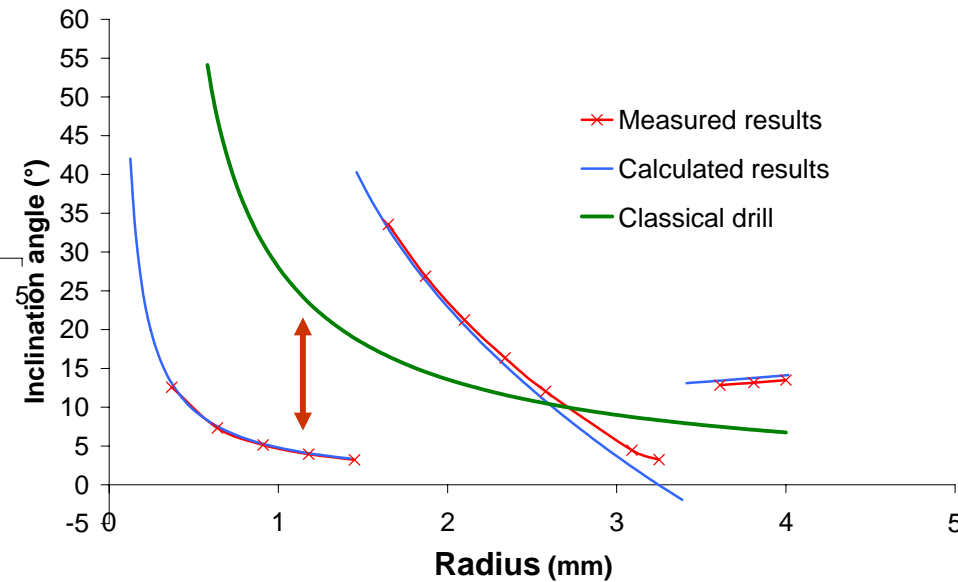
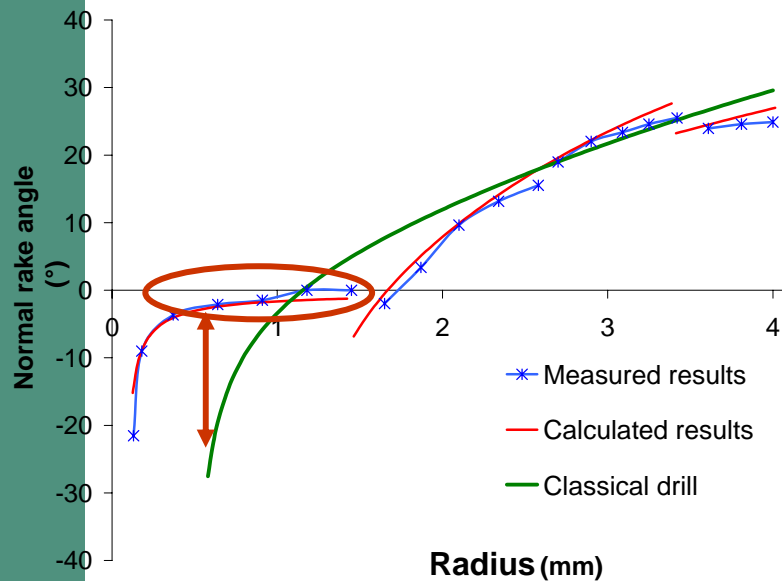
$$\lambda_s = \cos^{-1} \left( \frac{\hat{\mathbf{e}}_\kappa \cdot \hat{\mathbf{t}}}{\|\hat{\mathbf{e}}_\kappa\| \|\hat{\mathbf{t}}\|} \right) \quad 13$$

# Modèle géométrique



- Un programme Matlab basé sur cette analyse géométrique et vectorielle a été développé afin de calculer les angles du foret.
- Les résultats obtenus avec notre programme ont été validés par les valeurs mesurées directement sur le modèle CAO.
- Les valeurs mesurées et calculées s'accordent de telle manière que l'écart entre ces valeurs est inférieur à 10%.

# Modèle géométrique



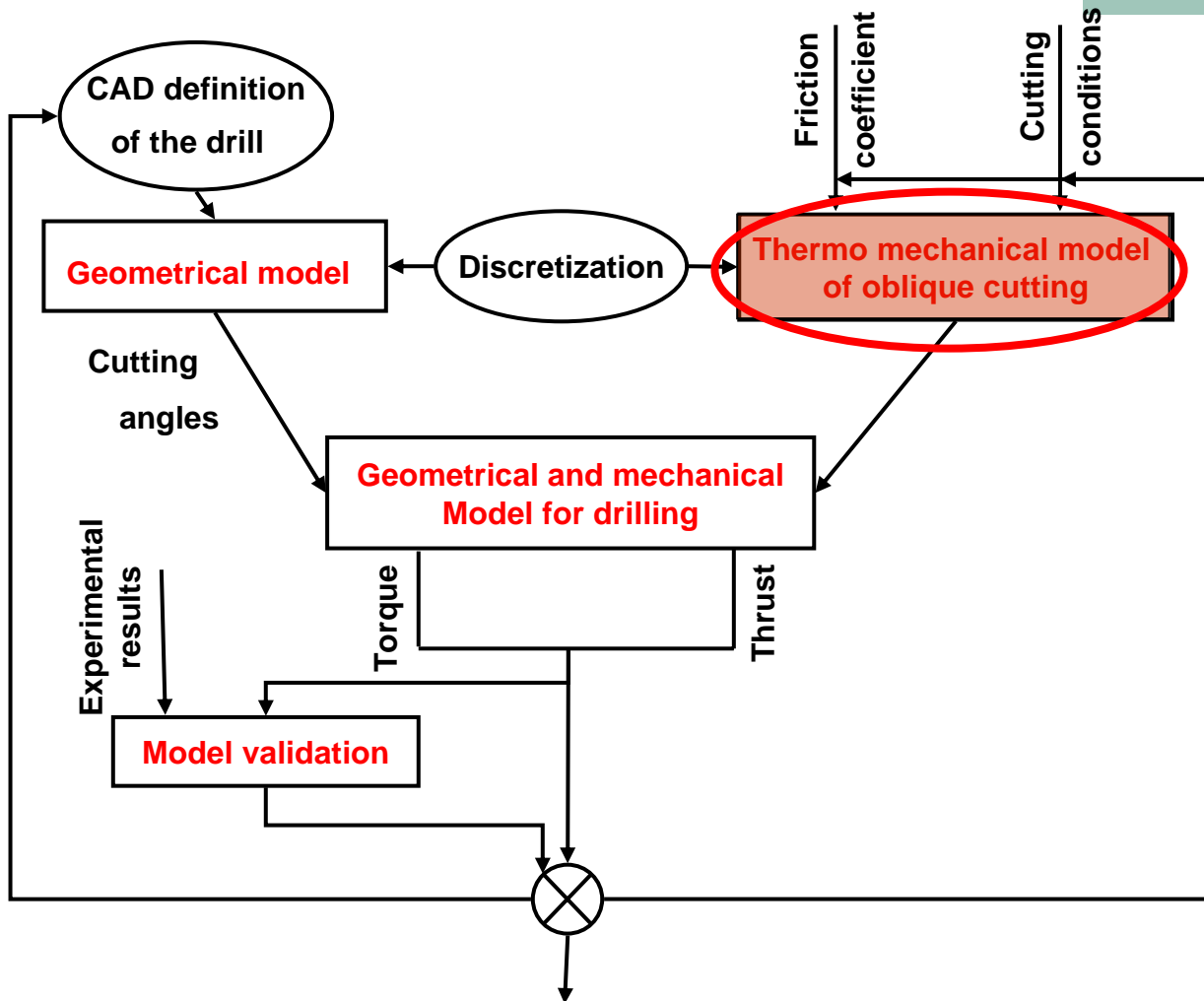
## Drill geometrical characteristics

Drill diameter = 8 mm

Point angle =  $140^{\circ}$

Helix angle =  $30^{\circ}$

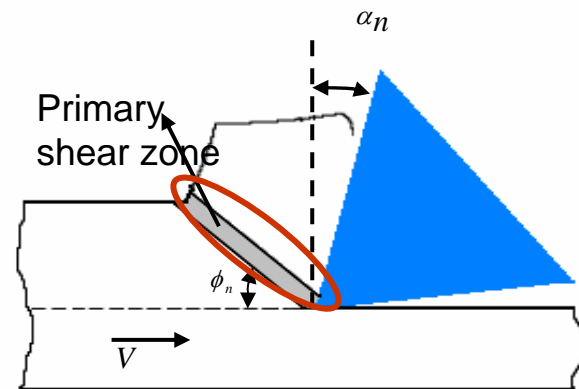
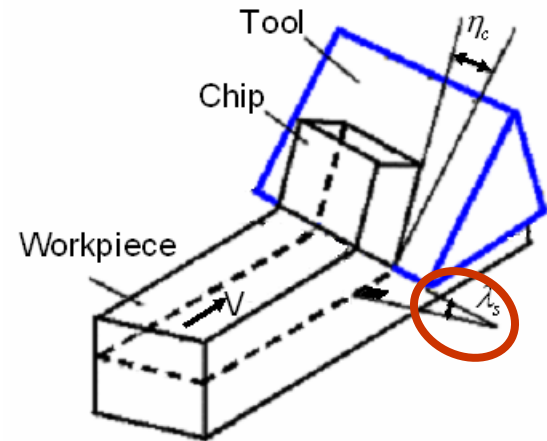
Flute length = 41 mm





# Modèle Thermomécanique

- Les arêtes de coupe du foret sont décomposées en arêtes élémentaires de coupe.
- Chaque arête élémentaire, travaille en coupe oblique.
- Le modèle thermomécanique de coupe oblique est appliqué sur chacune des arêtes de coupe élémentaires.
- Dans ce modèle la formation de copeau se déroule dans une bande fine de cisaillement.



# Modèle Thermomécanique

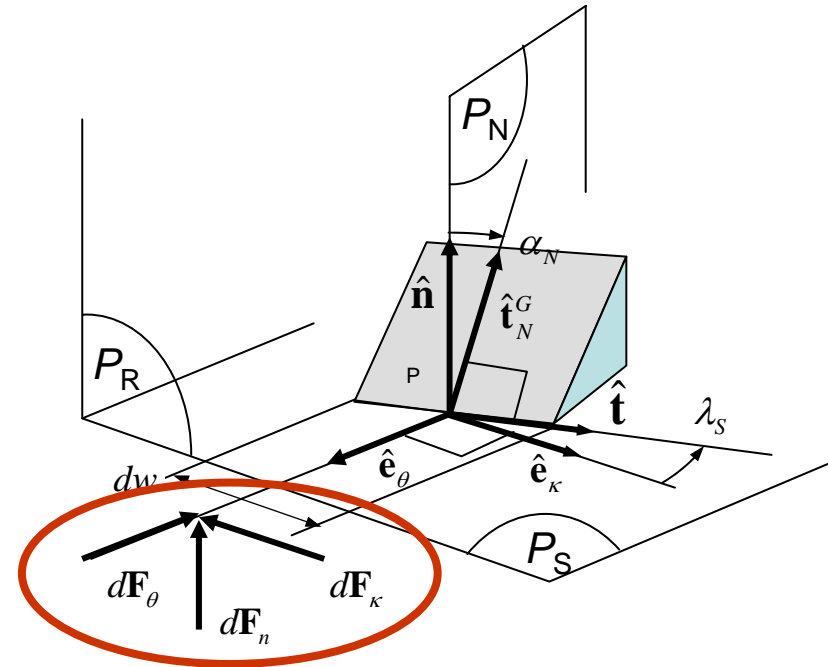
- Les équations utilisées dans le modèle thermomécanique sont:
- L'équation de conservation d'énergie,
- L'équation de mouvement,
- L'équation J2 d'écoulement,
- Le loi de comportement de Johnson-Cook.

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{3}} \left[ A + B \left( \frac{\gamma}{\sqrt{3}} \right)^n \right] \left[ 1 + m \ln \left( \frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_0} \right) \right] \left[ 1 - \left( \frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^v \right]$$

# Modèle Thermomécanique

- Les forces élémentaires de coupe sont calculées

$$\begin{bmatrix} dF_x \\ dF_y \\ dF_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \theta & -\cos \theta \sin \kappa & -\cos \theta \cos \kappa \\ -\cos \theta & -\sin \theta \sin \kappa & -\sin \theta \cos \kappa \\ 0 & \cos \kappa & -\sin \kappa \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dF_\theta \\ dF_\kappa \\ dF_n \end{bmatrix}$$



# Modèle Thermomécanique

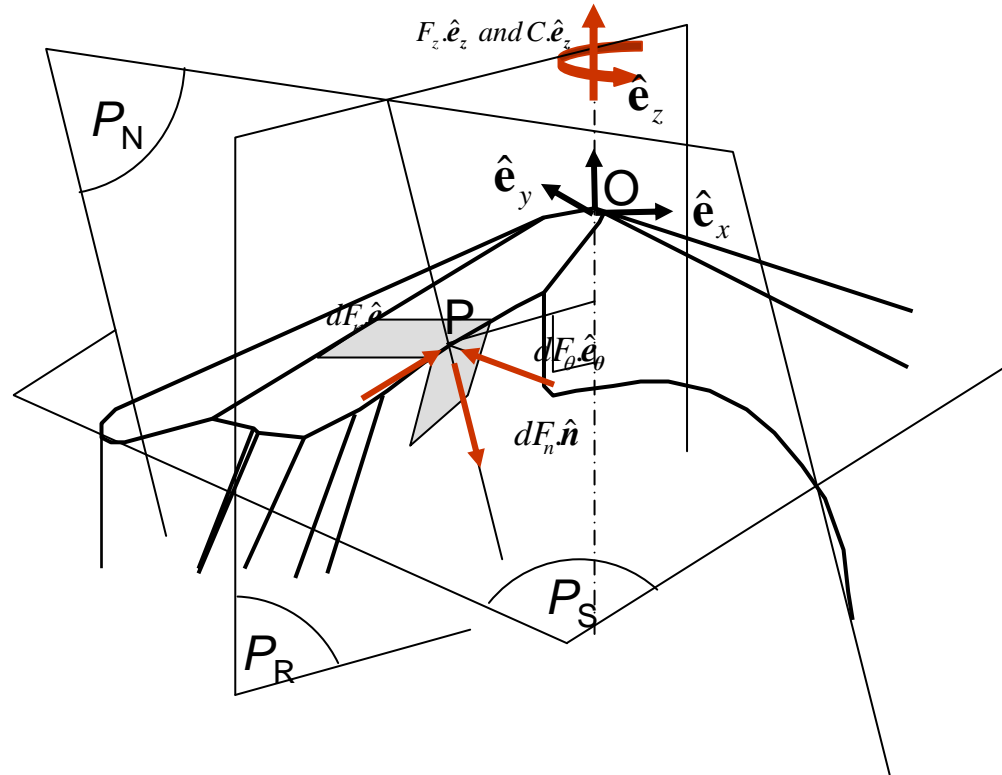
- L'effort globale de coupe sont obtenu par sommation des efforts élémentaires.

$$d\mathbf{C} = dC \hat{\mathbf{e}}_z = dF_\theta r \hat{\mathbf{e}}_z$$

$$d\mathbf{F}_z = dF_z \hat{\mathbf{e}}_z$$

$$\mathbf{C} = \sum 2 \times d\mathbf{C}$$

$$\mathbf{F}_z = \sum 2 \times \mathbf{F}_z$$

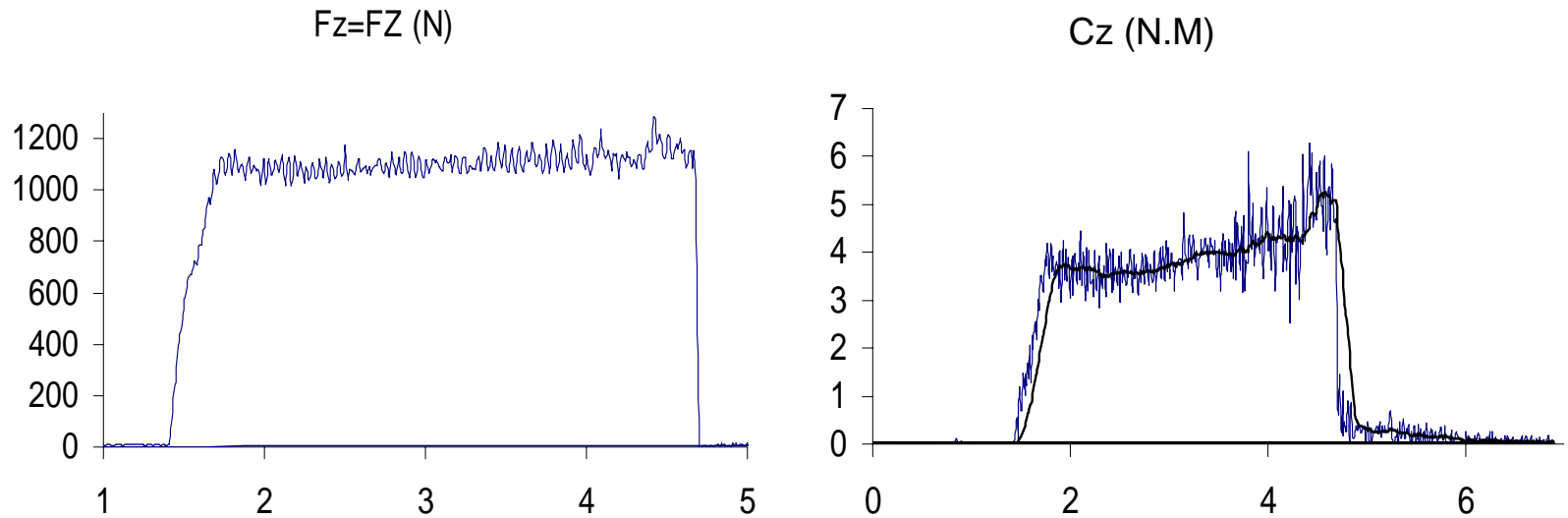


# Validation expérimentale

---

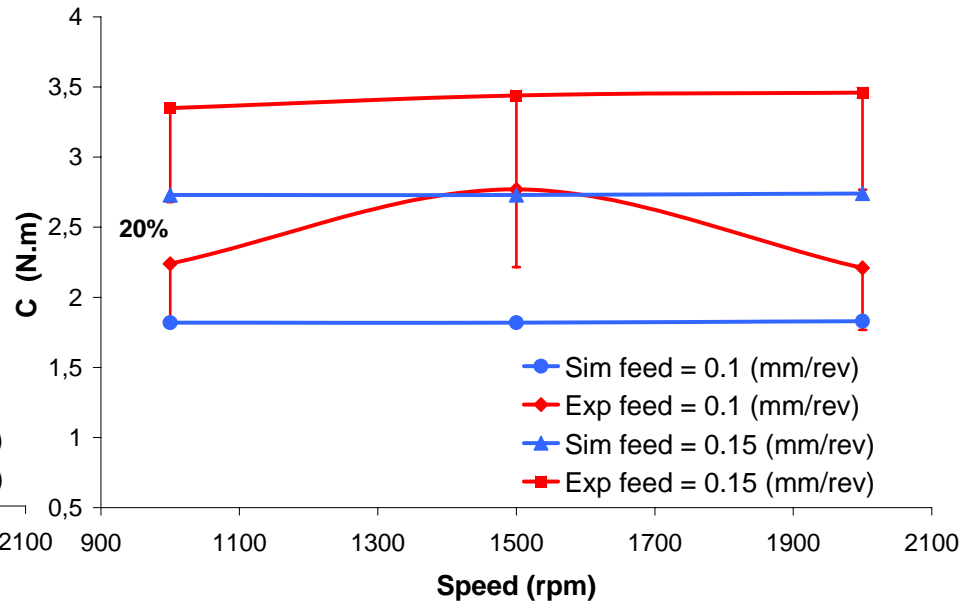
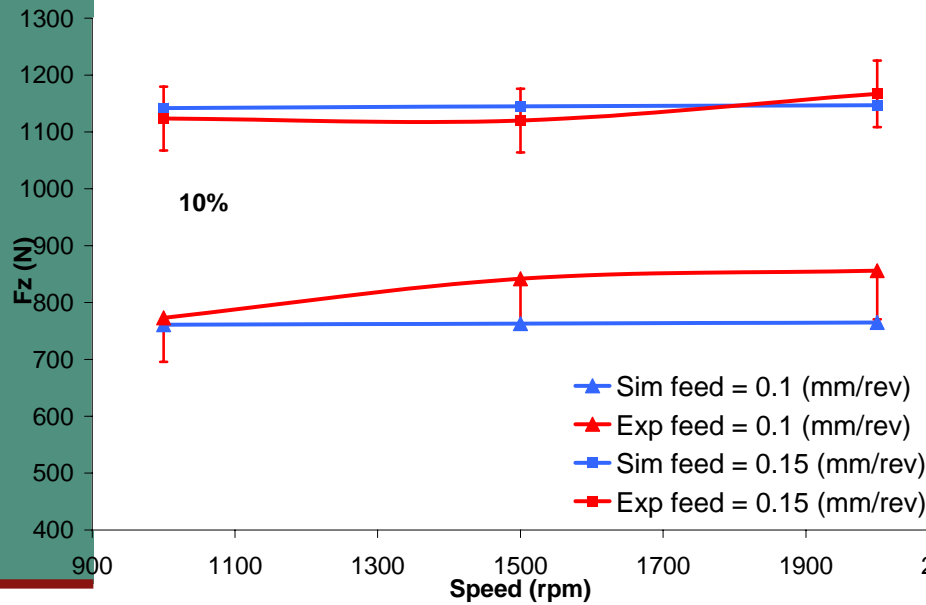
- Des essais de perçage à sec sont réalisés sur l'acier 42CrMo4.
- Les essais sont réalisés sur une machine CNC Röders RP600 équipé avec une platine Kistler pour le mesure des efforts de coupe.
- Les vitesse de coupe et l'effort axial sont les suivantes:  $N = 1000$  tr/min, 1500 tr/min et 2000 tr/min;  $f = 0.1$  mm/tr et 0.15 mm/tr.

# Validation expérimentale



Signaux obtenu avec le dynamomètre Kistler.

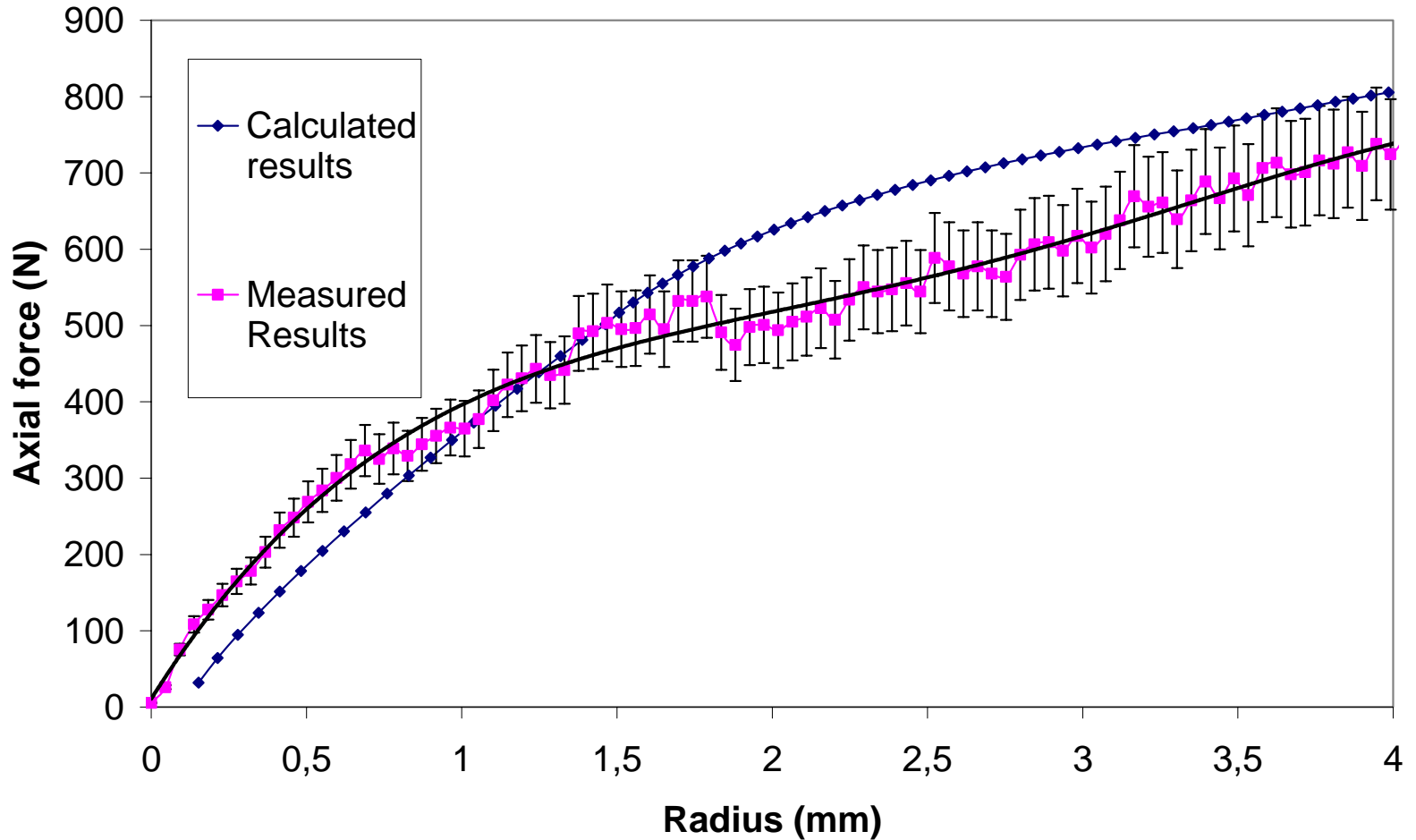
# Validation expérimentale



		Feed ( mm/rev)			
		0,1	0,125	0,15	
Speed (rpm)	1000	778	972	1167	Predicted values
	1000	798	998	1141	Experimental results
	%	-3	-3	2	
	1000	2,55	3,19	3,82	Predicted results
	1000	2,65	3,52	3,81	Experimental results
	%	-4	-9	0	
	1500	780	975	1170	Predicted results
	1500	853	1020	1138	Experimental results
	%	-9	-4	3	
	1500	2,55	3,19	3,83	Predicted results
	1500	2,41	3,05	3,71	Experimental results
	%	6	5	3	
	2000	781	976	1172	Predicted results
	2000	864	1012	1150	Experimental results
	%	-10	-4	2	
	2000	2,5	3,2	3,84	Predicted results
	2000	2,5	3,24	3,91	Experimental results
	%	0	-1	-2	



# Validation expérimentale



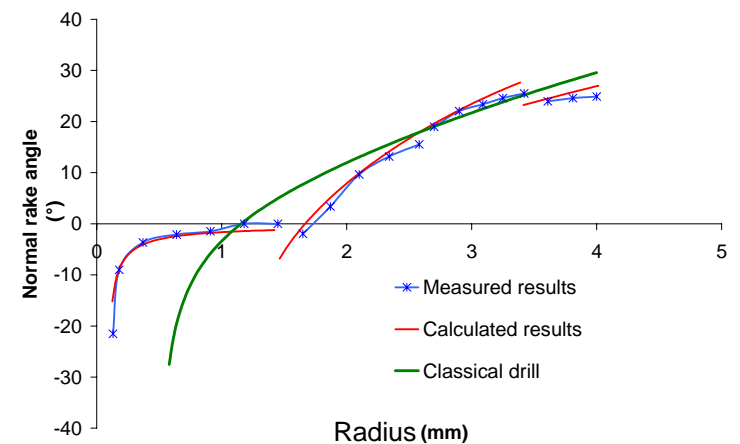
Speed (rpm)	Feedrate (mm/rev)	Pred. Mechanical model	Pred. Thermomechanical	Experiment	%Error Mechanical model	% Error Thermomechanical
500	0,1	296	319	324	-8,6	-1,5
500	0,15	355	359	333	6,6	7,8
500	0,2	403	402	420	-4,0	-4,3
1000	0,05	203	182	196	3,6	-7,1
1000	0,1	297	322	308	-3,6	4,5
1000	0,15	367	363	381	-3,7	-4,7
1000	0,2	424	406	423	0,2	-4,0
1000	0,25	467	508	487	-4,1	4,3
1500	0,1	297	324	308	-3,6	5,2
1500	0,15	373	365	326	14,4	12,0
1500	0,2	437	409	468	-6,6	-12,6

# Validation expérimentale

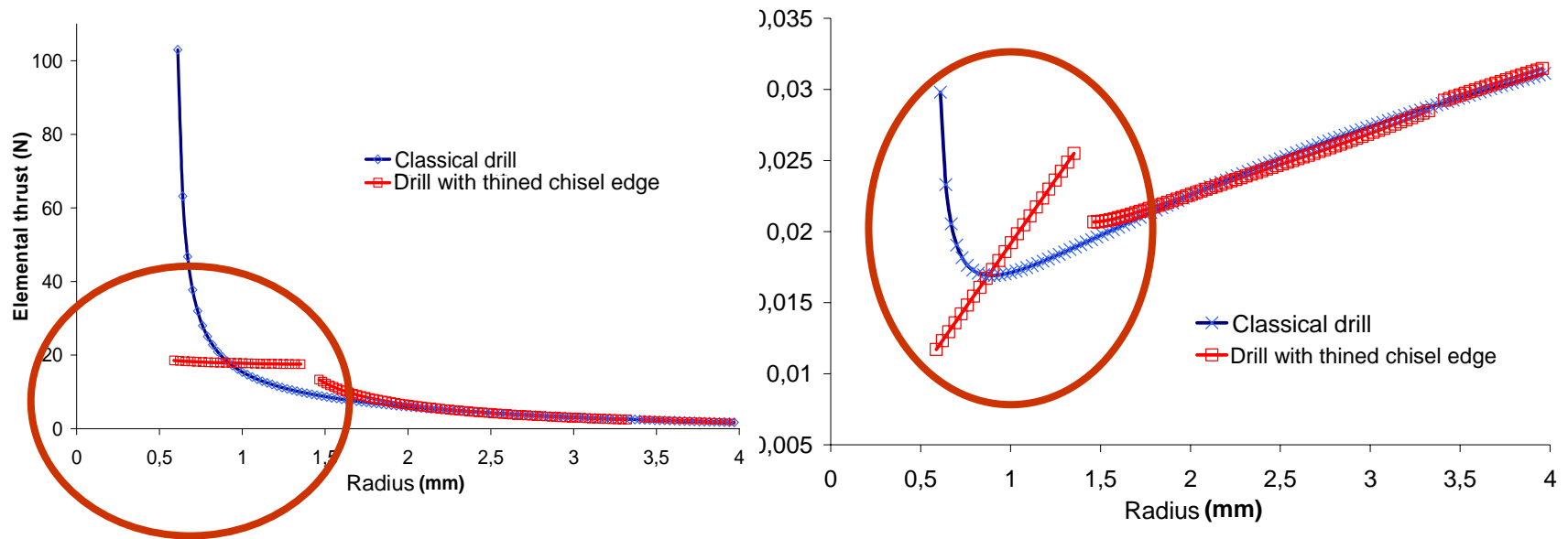
Speed (rpm)	Feedrate (mm/rev)	Pred. Mecha nistic model	Pred. Thermomecha nical	Experimen t	%Error Mecha nistic model	% Error Thermomecha nical
500	0,1	4,3	3,9	4,1	4,9	-4,9
500	0,15	5,8	5,5	5,9	-1,7	-6,8
500	0,2	7,2	7,2	7,1	1,4	1,4
1000	0,05	2,3	2	2,2	4,5	-9,1
1000	0,1	4	3,9	3,8	5,3	2,6
1000	0,15	5,5	5,6	5,4	1,9	3,7
1000	0,2	6,9	7,2	6,8	1,5	5,9
1000	0,25	8,3	9,1	8,8	-5,7	3,4
1500	0,1	3,8	3,9	3,8	0,0	2,6
1500	0,15	5,3	5,6	5,3	0,0	5,7
1500	0,2	6,8	7,3	6,9	-1,4	5,8

# Comparaison de géométrie

- Deux forets avec deux géométries différentes sont comparés.
- L'angle normale de coupe du foret aminci est moins négatif que le foret classique.
- Les efforts de coupe calculés des deux forets sont comparés.



# Comparaison de géométrie



# Conclusions

---

- Basé sur une définition CAO un foret avec une géométrie complexe a été modélisé.
- Les angles de coupe du foret, sur chaque point des arêtes de l'outil ont été calculés.
- Les arêtes de coupe du foret ont été discrétisées à des arêtes de coupe élémentaires.
- Dans chaque arête élémentaire l'enlèvement de la matière est une coupe oblique.

# Conclusions

---

- Le modelé thermomécanique de coupe oblique est utilisé.
- L'effort axiale et le moment sont obtenus par le sommation des efforts élémentaires calculés.
- Des résultats expérimentaux sont comparés aux résultats calculés.
- 2 géométries de forts ont été comparé.

# Perspectives.

---

- Le but de notre travail est de développer un outil de simulation permettant de prévoir les efforts de coupe dans le cas de perçage à partir d'une définition CAO du foret et les caractéristiques de la matière utilisée.
- Pour améliorer notre modèle les éléments suivants doivent être étudiés
- Différentes géométries du foret doivent être utilisées.

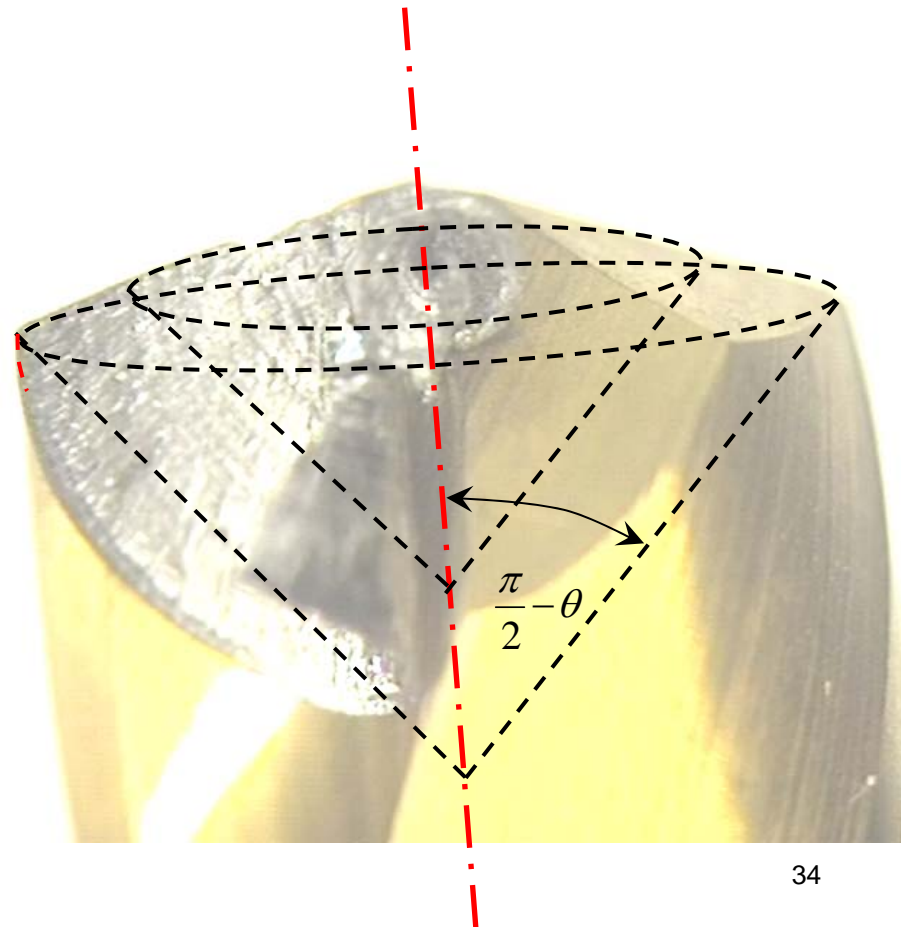
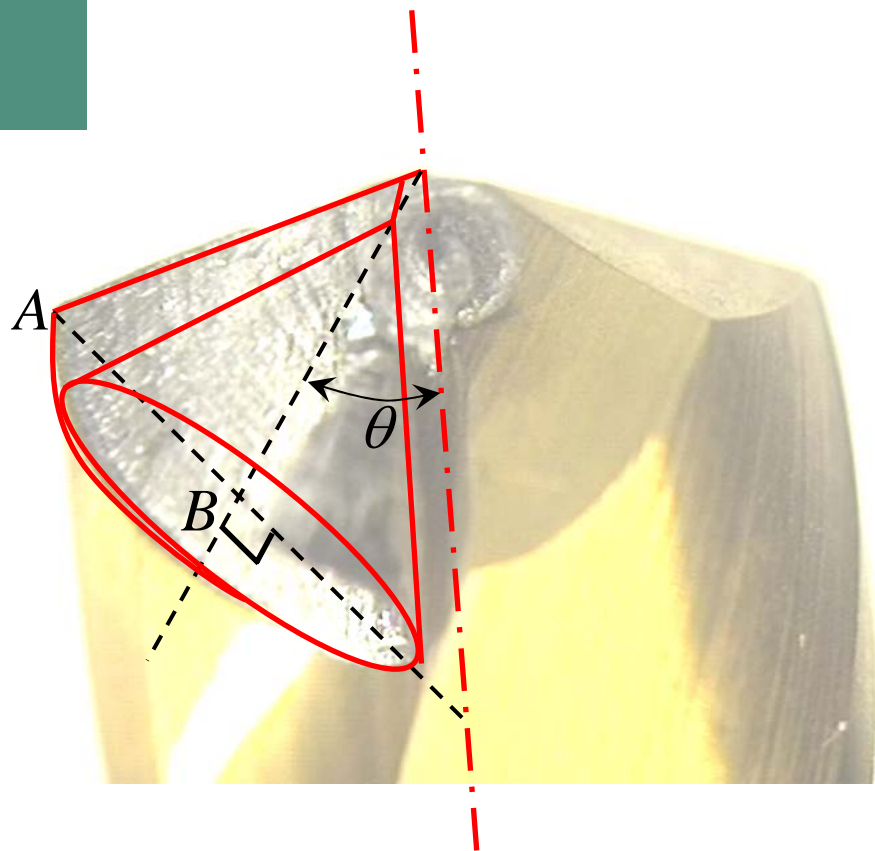


# Perspectives.

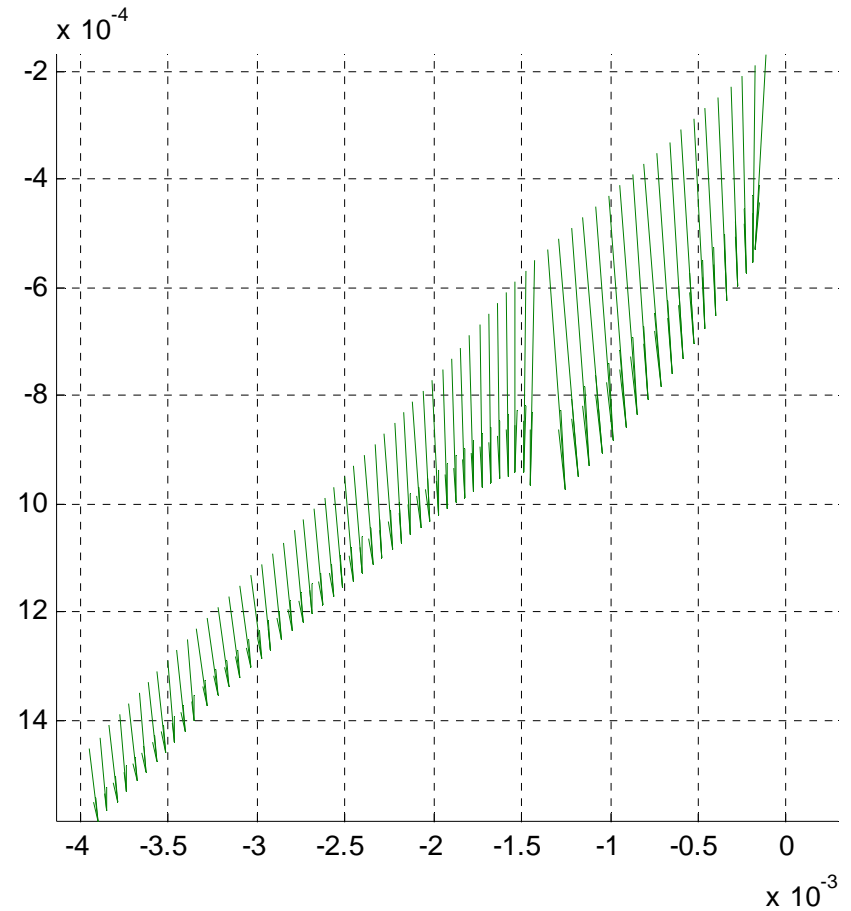
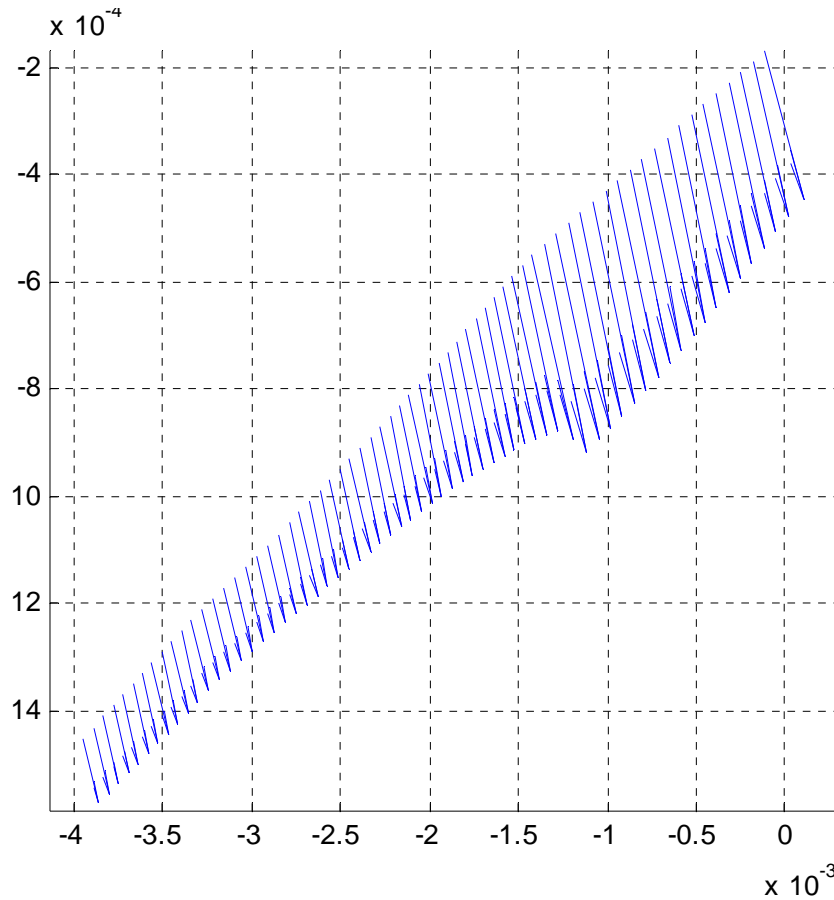
---

- L'écoulement des copeaux doit être vérifié.
- Coefficient de frottement.

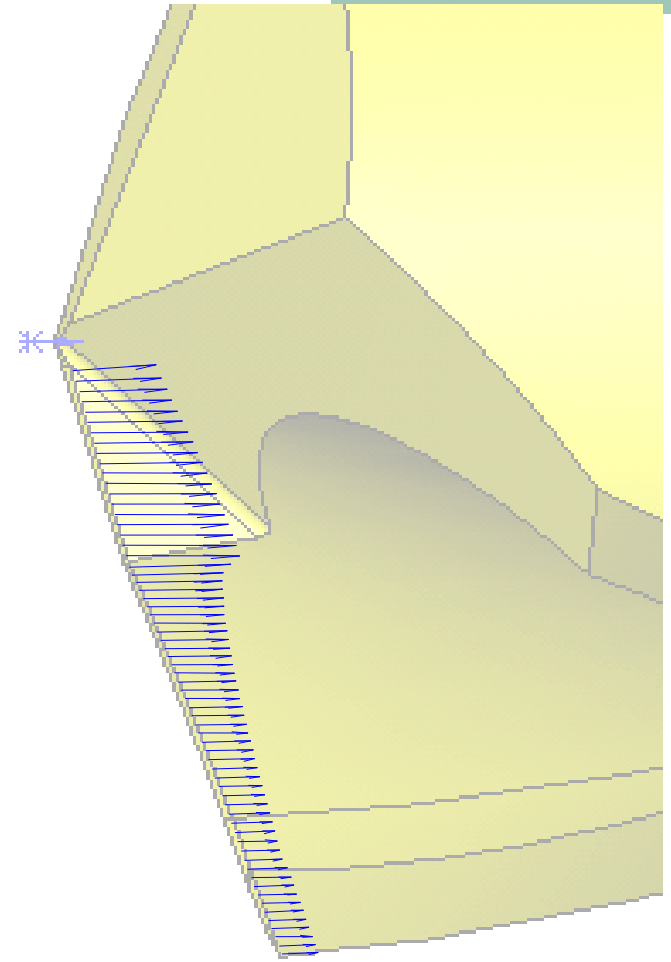
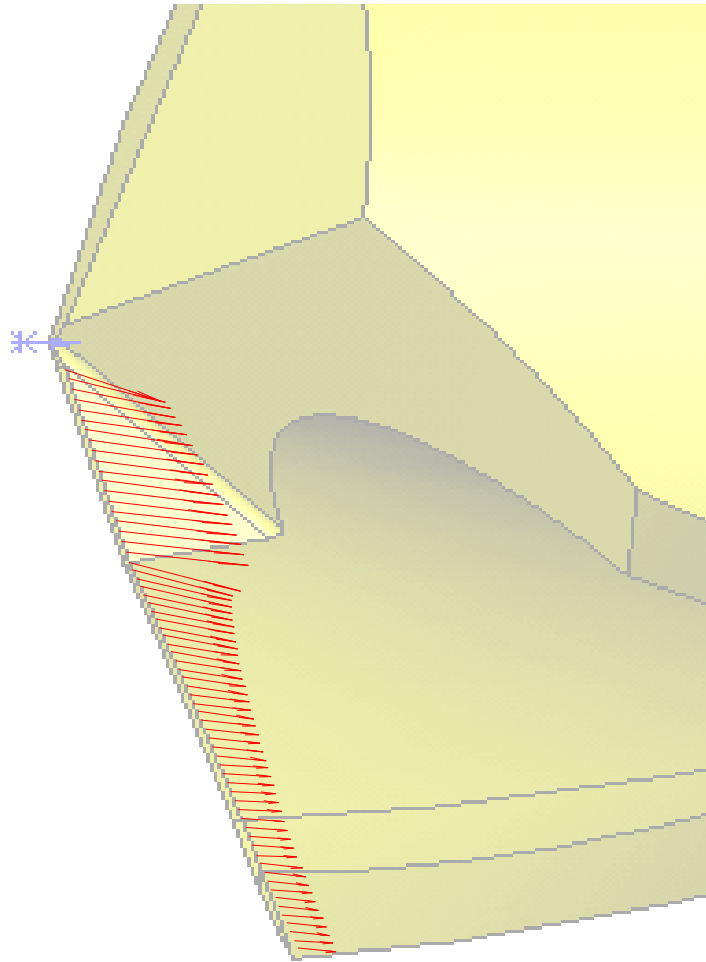
# Perspectives.



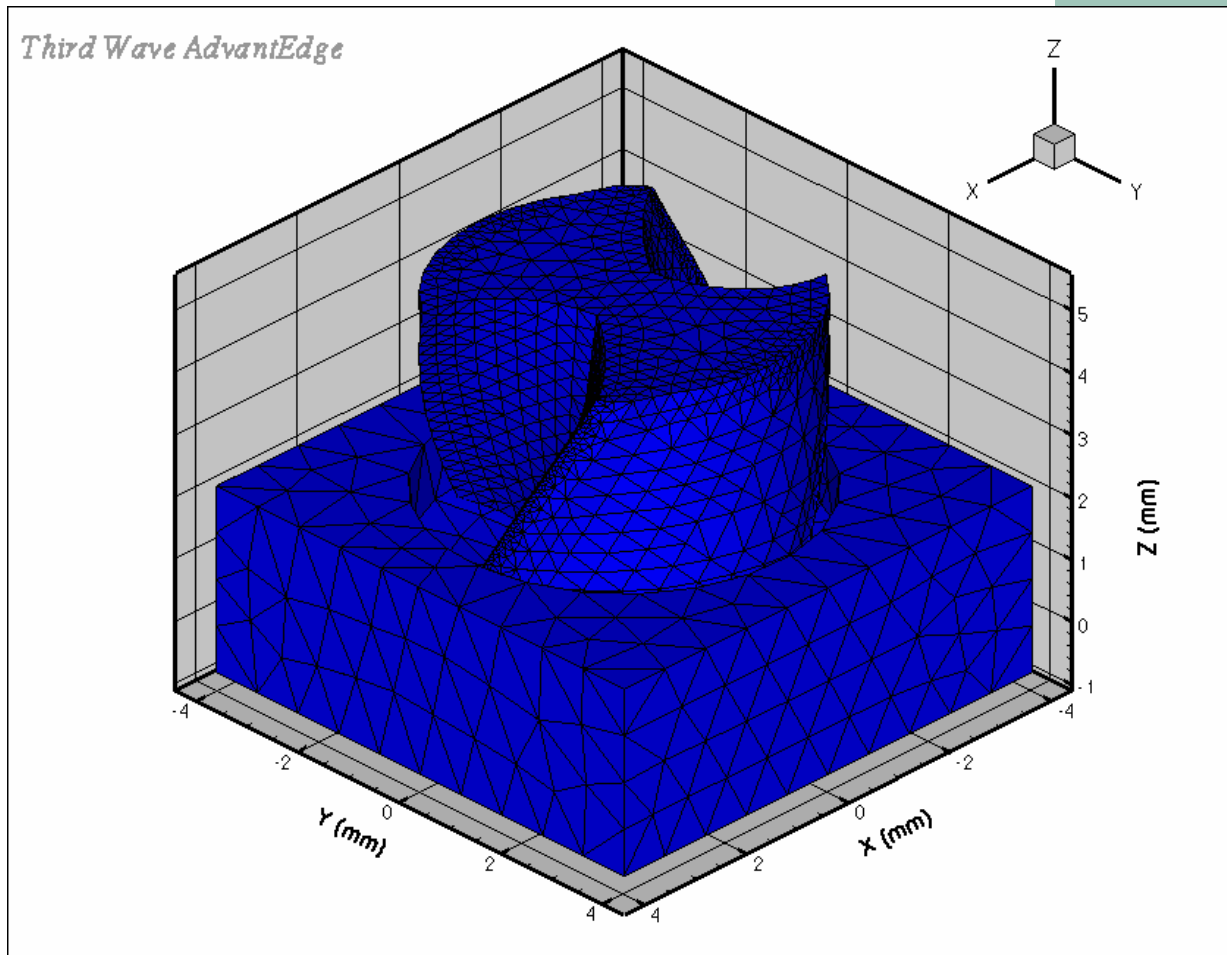
# Perspectives.



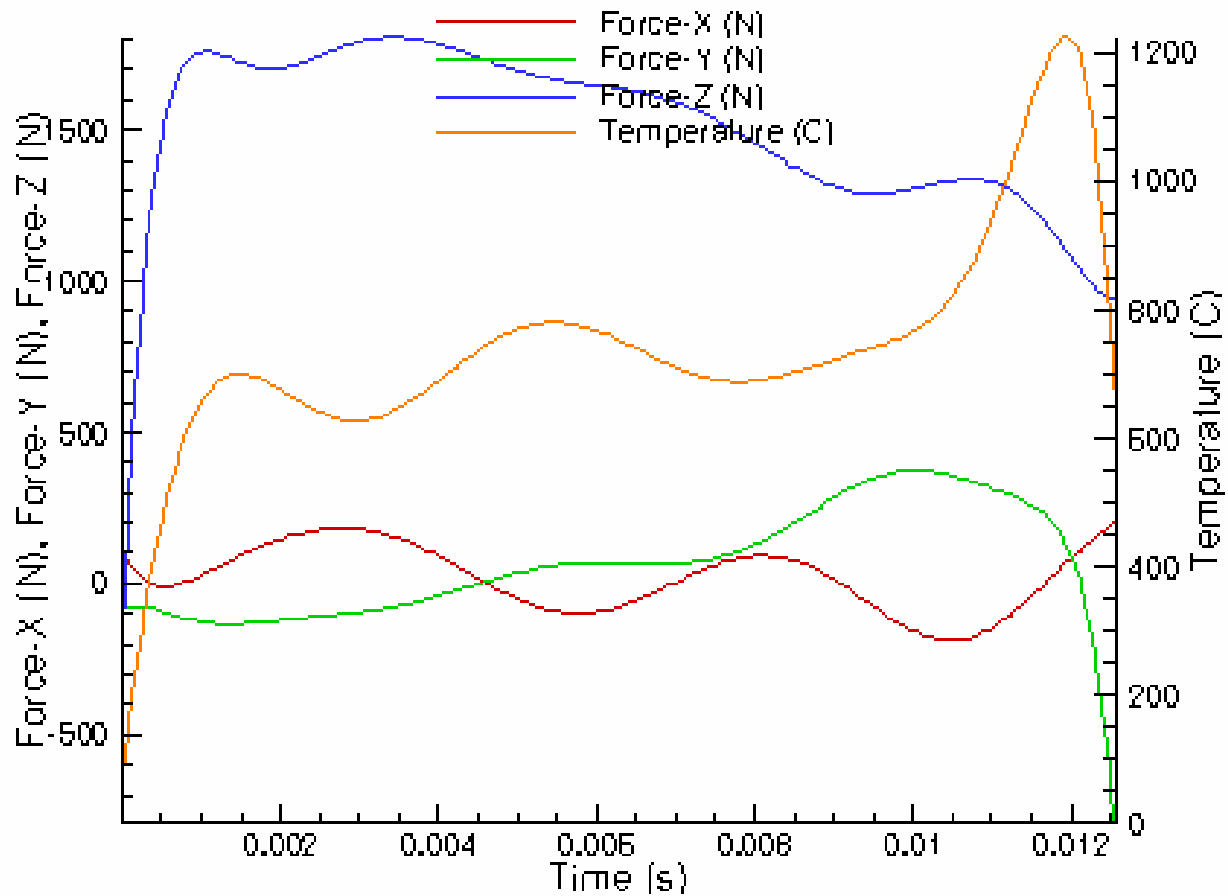
# Perspectives.



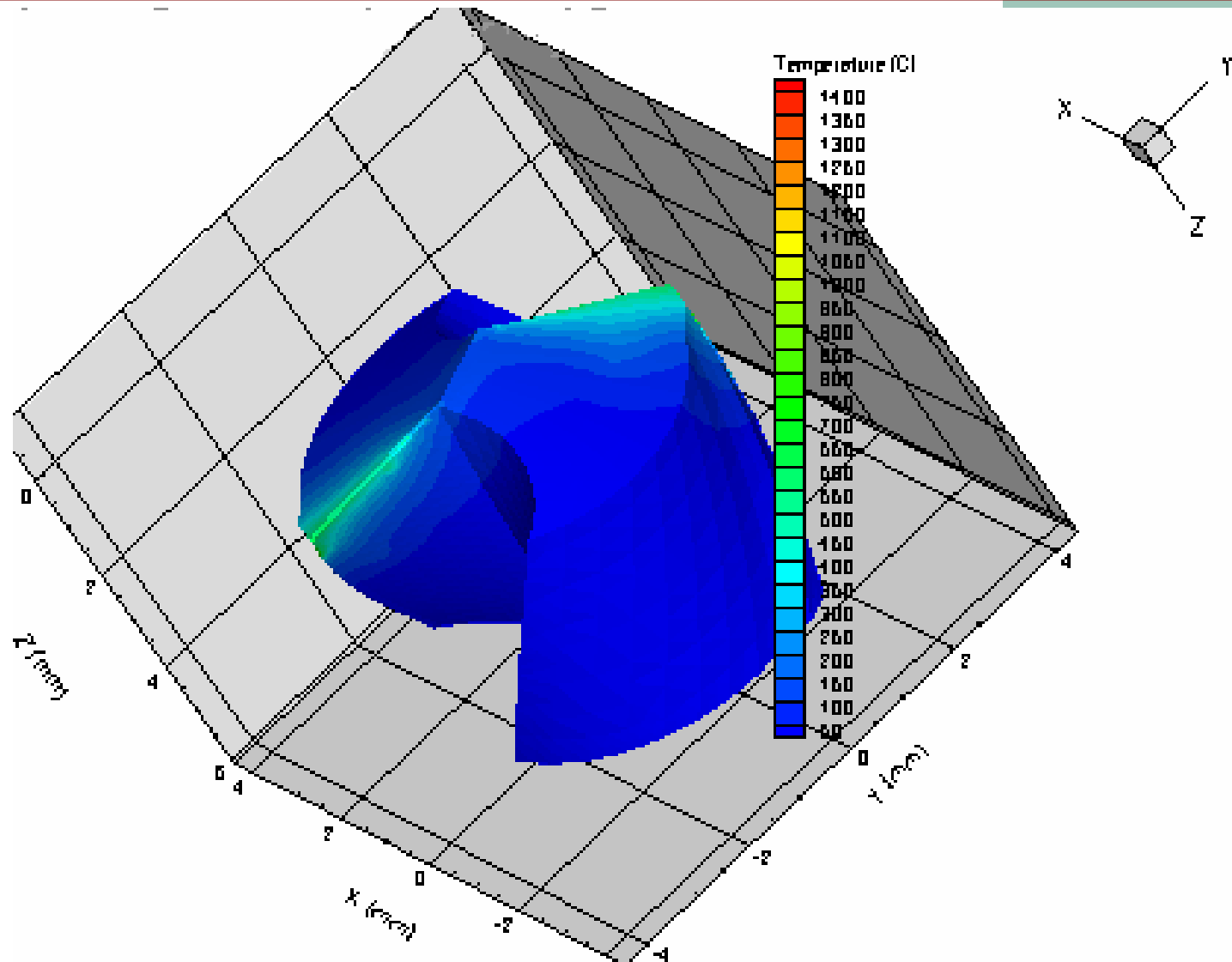
# Perspectives.



# Perspectives.



# Perspectives.



# Remerciement

---

- Un remerciement pour Florent Gaillard le directeur technique de Diager ind. pour sa collaboration dans cette étude.