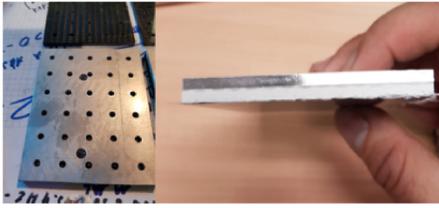


## Qu'est ce qu'un stack ?

Empilement de couche de matière métal-composite (fibre de verre ou carbone) :



Résulte d'applications visant à réduire la masse des structures largement utilisées dans les secteurs du transport :

- Aéronautique, aérospacial
- Automobile
- Ferroviaire
- Etc

## Enjeux et problématique

Usinage laborieux des stacks dû à :

- L'hétérogénéité et différences de propriétés des matériaux
- Aux conditions optimales différentes pour les 2 matériaux

Problèmes rencontrés :

- Vibrations et tolérances dimensionnelles faibles
- Casse, surchauffe et usure excessive d'outils
- Délaminage de la couche composite (décollement interne des plis)
- Etats de surface insuffisants

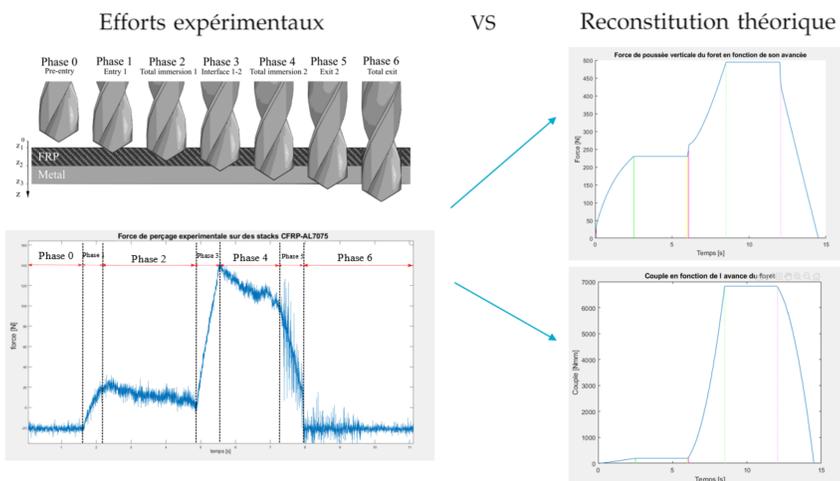
Thématiques étudiées :

- Elaboration d'un modèle analytique générant les efforts de coupe de perçage (opération d'usinage la plus fréquente pour les stacks) dont la connaissance est indispensable pour résoudre les problèmes cités ci-dessus
- Elaboration et couplage du modèle précédent avec des simulations de coupe 3D FEM (éléments finis) sur ABAQUS

## Modèle analytique macroscopique d'efforts de coupe de perçage

### Objectifs

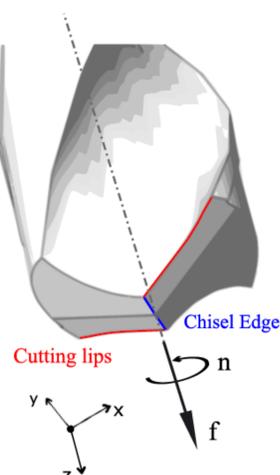
Reconstitution des courbes théoriques suivantes :



### Principes du modèle

Division du foret en zone de coupe où les efforts seront définis différemment :

- Zone centrale appelée goujure (chisel edge) : coupe orthogonale (arête de coupe orthogonale à la vitesse de coupe) et indentation plastique (écrasement de matière)
- Zone périphérique appelée lèvre de coupe (cutting lips) : coupe oblique (arête de coupe non-orthogonale à la vitesse de coupe)



### Obtention des efforts

Basée sur une **double discrétisation** :

- Discrétisation **spatiale** : division des arêtes en segment de longueur infinitésimales pour lequel les paramètres géométriques sont considérés comme constants, les efforts totaux sont obtenus comme suit en sommant la totalité :

$$\vec{F} = x \sum_0^{N_d} d\vec{F}_z \quad (1)$$

$$\vec{C} = x \sum_0^{N_d} d\vec{C} \quad (2)$$

Avec respectivement :

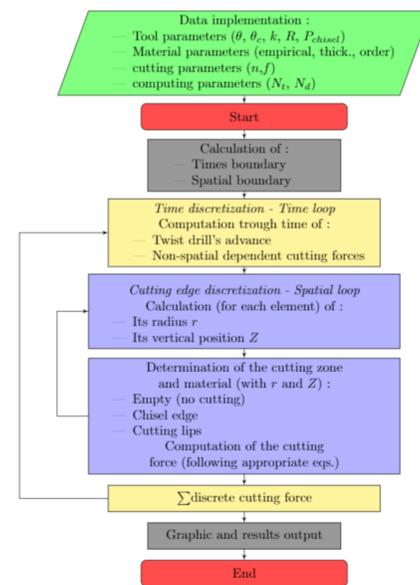
- $\vec{F}_z, \vec{C}$  la force de poussée et le couple
- $d\vec{F}_z, d\vec{C}$  la force de poussée et le couple infinitésimaux
- $N_d, x$  le nombre d'éléments discrétisés et le nombre d'arêtes de coupe

Les efforts infinitésimaux sont obtenus de manière séparée pour les métaux et composites en fonction de la zone de coupe dans laquelle l'élément se trouve, ceux-ci sont respectivement obtenus par la théorie de Chandrasekharan and al's [1] et Langella and al's [2]. Ces auteurs basent eux-même leur théorie sur le postulat de Merchant [3] stipulant que la force de coupe est directement proportionnelle à un facteur K (fonction de paramètres empiriques liés au matériau) appelé pression spécifique dont la définition diffère selon les auteurs

- Discrétisation **temporelle** : l'essai de perçage est divisé en pas de temps de période infinitésimale pour lesquels les efforts sont recalculés afin d'obtenir ceux-ci en fonction de l'avancée du foret dans la matière et du matériau

### Structure algorithmique

Le programme générant les efforts a suivi la structure algorithmique suivante :



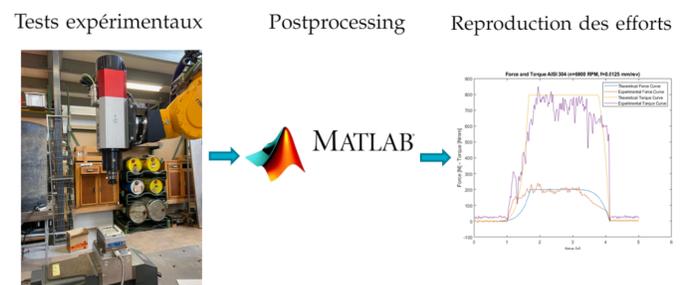
### Obtention des paramètres d'entrée

Deux manières sont approfondies dans le cadre de ces recherches :

- Par comparaisons **expérimentales** à l'aide d'un modèle inverse fonctionnant sur le principe des moindres carrés : l'objectif est de minimiser l'écart entre des efforts de perçage obtenus de manière expérimentale et des efforts théoriques fonction de paramètres empiriques de matériaux recherchés
- Par comparaisons avec des efforts obtenus de manière **théorique** sur des logiciels aux éléments finis (simulations de coupe 3D en cours sur ABAQUS)

### Validations expérimentales

Le modèle a été validé par voie expérimentale grâce au protocole de test visible ci-dessous.



Les tests ont démontré que des résultats fiables (erreurs moyennes de l'ordre de 10% avec les courbes expérimentales) peuvent être obtenus sur une large plage de paramètres de coupe à partir d'un nombre réduit de mesures (4 essais de perçage).

### Bibliographie

- [1] V. Chandrasekharan, S.G. Kapoor, R.E. DeVor *A Mechanistic Model to Predict the Cutting Force System for Arbitrary Drill Point Geometry* Journal of Manufacturing Science and Engineering (1998) 563-570
- [2] A. Langella, L. Nele, A. Maio, *A torque and thrust prediction model for drilling of composite materials*, Compos Part A 36 (2005) 83-96
- [3] M.E. Merchant, *Basic mechanics of the metal cutting mechanics of the process*, Transactions of the ASME (1955) 103-114

Remerciements : nous remercions la région Wallonne pour le financement du projet MachStack