

---

# ÉTUDE DES EFFORTS DE COUPE EN PERÇAGE

## Document préliminaire au TP

---

### Présentation

Ce TP s'appuiera sur la réalisation d'une opération de perçage pour étudier les problématiques liées aux efforts en usinage par outil coupant. La prédiction ou du moins la compréhension des efforts engendrés par l'enlèvement de matière lors d'une opération d'usinage est essentielle pour toutes les problématiques liées aux déformations des pièces, vibrations rencontrées en usinage mais aussi plus directement pour le dimensionnement d'une opération. Les efforts engendrés par l'opération de coupe conditionnent la puissance que la machine devra fournir et leur prédiction permet ainsi de dimensionner une opération ou de conditionner un choix de machine.

Ce TP permettra d'aborder deux autres notions complémentaires. D'une part la notion d'énergie spécifique de coupe sera étudiée, celle-ci étant une grandeur utile pour comparer l'efficacité énergétique de différents procédés entre eux. D'autre part les essais réalisés permettront de poser les bases d'un modèle de prédiction des efforts, utile pour les ingénieurs pour des calculs et dimensionnement d'opération d'usinage.

Le TP se déroulera en trois parties :

- en premier lieu, la réalisation d'essais de perçage pendant lesquels seront mesurés les efforts et couples engendrés
- en second lieu, ces données d'efforts seront utilisées pour déterminer les puissances consommées et aborder la notion d'énergie spécifique
- enfin, l'exploitation des données permettra aussi de poser les bases d'un modèle de prédiction des efforts.

### L'opération de perçage : aspects macroscopiques

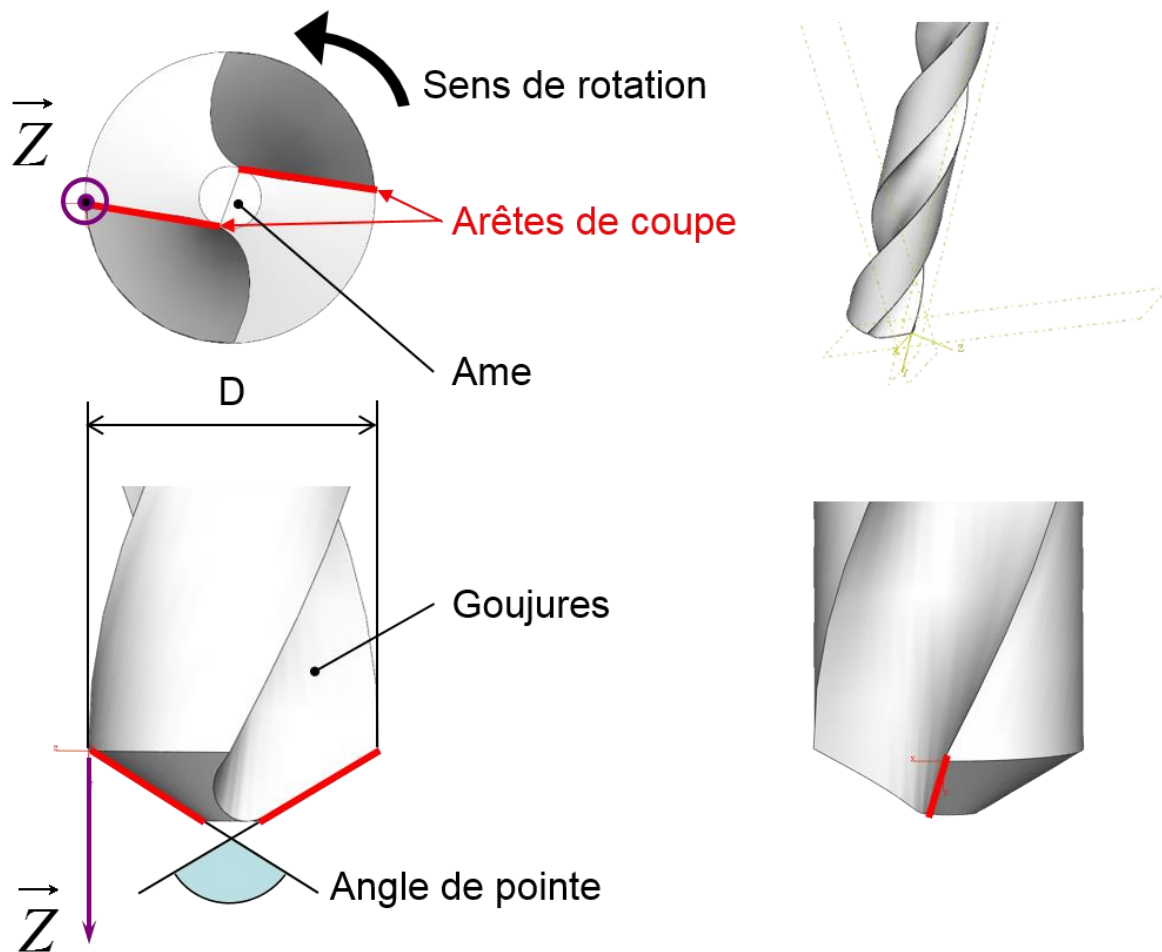
#### *Géométrie de base du foret :*

Afin de comprendre les expérimentations mises en place il est nécessaire de comprendre les aspects géométriques, cinématiques et dynamique d'une opération de perçage.

Un foret est un outil permettant la réalisation de trous cylindriques. Un foret *classique* comporte généralement deux arêtes de coupe, qui sont les parties aiguisées, actives de l'outil qui réaliseront la découpe de la matière. Au-dessus de ces arêtes se situent des rainures hélicoïdales, appelées goujures, qui servent à l'évacuation du copeau formé lors de l'opération de découpe. La partie centrale du foret est appelée *âme*. Sur un foret *classique*, il n'y a plus d'arête de coupe au niveau de l'âme ce qui fait que l'outil ne sera pas capable d'enlever de matière en son centre. Il sera donc nécessaire de réaliser un avant-trou ou un pointage pour guider le foret et éviter que le perçage ne s'effectue pas droit. Des forets dits *coupe au centre* sont réalisés avec un affûtage différent de la partie centrale, permettant de venir percer directement

sur une surface vierge, sans besoin de réaliser un avant-trou, ce qui permet notamment d'éviter une opération lors de la fabrication.

Plusieurs grandeurs géométriques permettent de caractériser un foret mais on pourra se contenter pour ce TP d'identifier les plus simple : diamètre extérieur  $D$  du foret, angle de pointe, présence ou non d'une coupe au centre, **voir figure 1**. Par convention, l'axe Z sera pris comme étant l'axe du foret.



**Figure 1 : géométrie d'un foret (sans coupe au centre)**

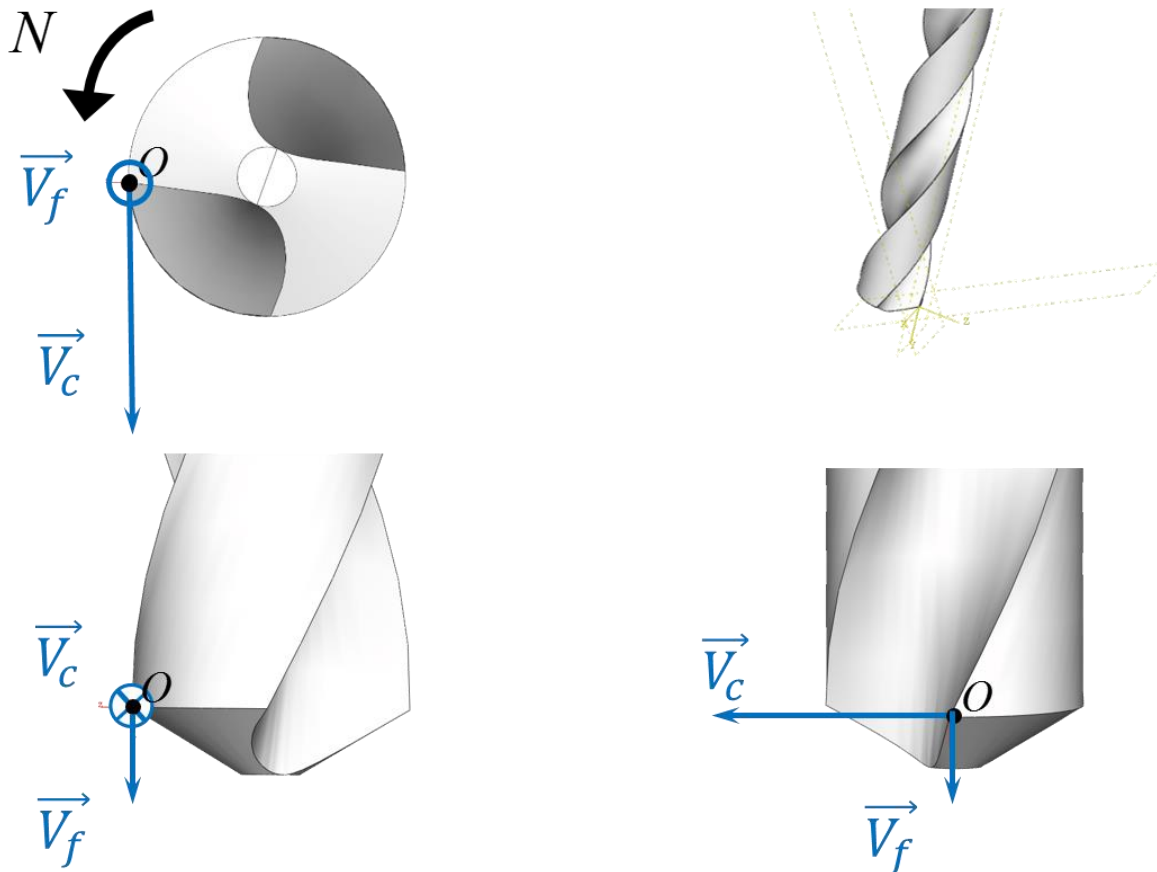
### Aspects cinématiques :

D'un point de vue macroscopique, deux composantes de vitesses sont à identifier sur un foret :

- la vitesse de coupe  $V_c$  qui est la vitesse circonférentielle mesurée au diamètre extérieur du foret. Celle-ci étant généralement exprimée en  $[m/min]$ , elle est liée à la vitesse de rotation  $N$   $[tr/min]$  de la broche et au diamètre du foret, exprimé logiquement en  $[mm]$  par la relation :  $V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000}$ . La vitesse de coupe sera typiquement égale à quelques dizaines de  $m/min$  pour l'usinage d'un acier
- la vitesse d'avance  $V_f$  qui est la vitesse axiale de translation du foret et qui est exprimée en  $[mm/min]$ . Si cette vitesse est la vitesse de translation de l'outil et donc la vitesse que pilote la machine, elle est rarement utilisée comme paramètre d'entrée de l'opération. C'est le paramètre d'avance  $f$ , exprimé en  $[mm/tr]$  et qui correspond à l'incrément de déplacement réalisé par l'outil au cours d'une rotation unitaire qui est utilisé. L'avance représente ainsi la quantité de matière (le long de l'axe du foret) enlevée pour un tour de broche. La vitesse d'avance est ainsi liée à la rotation de la broche par la relation  $V_f = f \cdot N$ . Un foret comportant plusieurs dents, ou arêtes de coupe, on identifiera ainsi l'avance par dent  $f_z$  qui sera la quantité de matière prise par chacune des dents et sera donc liée à l'avance par la relation  $f = f_z \cdot n_z$ ,  $n_z$  étant le nombre de dents.

NB : les unités classiquement utilisées pour la vitesse de coupe et la vitesse d'avance sont intimement liées à leurs ordres de grandeur. La vitesse de coupe, en perçage, comme en usinage par outil de coupant de manière générale, étant supérieure à la vitesse d'avance de plusieurs ordres de grandeurs. Les échelles représentées sur la figure 2 sont ainsi trompeuses.

Il pourra être montré que trois paramètres suffisent à fixer la géométrie et les aspects cinématiques d'une opération de perçage. Ces paramètres, pour une opération de perçage, appelés **paramètres de coupe** sont la vitesse de coupe  $V_c$ , l'avance  $f$  et le diamètre du foret  $D$  assimilable à la profondeur de passe  $a_p$  rencontrée pour d'autres opérations d'usinage.



**Figure 2 : aspects cinématiques : vitesses de coupe  $V_c$  [ $m/min$ ] et d'avance  $V_f$  [ $mm/min$ ]**

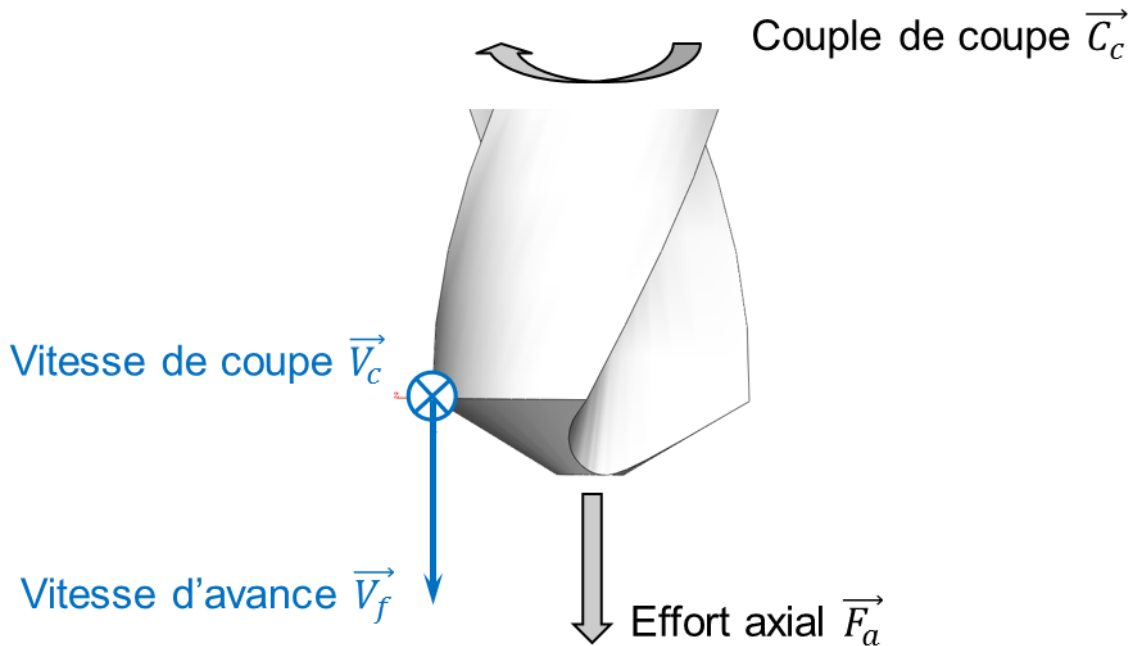
### Aspects dynamiques :

Pour un foret supposé parfaitement symétriques (pas d'usure asymétrique sur les arêtes de l'outil, perçage d'une surface plane...), le torseur des efforts exercés par l'outil sur la pièce percée aura une forme

relativement simple :  $\{\mathfrak{S}_{o/p}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ C_c & F_a \end{Bmatrix}_M$  où M est un point quelconque de l'axe du foret.  $C_c$  sera le couple

de coupe qui est le couple résistant autour de l'axe du foret et  $F_a$  l'effort axial, i.e. dans la direction du foret.

Ce sont ces deux grandeurs qui seront mesurée au cours des essais.



**Figure 3 : aspects dynamiques : efforts axial  $F_a$  et couple de coupe  $C_c$  vus au niveau macroscopique d'une opération de perçage**

Les grandeurs dynamiques et cinématiques de l'opération de perçage étant identifiées. Il est ainsi possible de calculer la puissance  $P_{tot}$  nécessaire à une opération de perçage. Cette puissance pourra être décomposée en deux contributions : une contribution de l'effort axial, notée  $P_{axiale}$  et une du couple de coupe  $P_{coupe}$ .

Il est utile ici d'introduire la notion d'énergie spécifique de coupe  $E_{sc}$ . Cette grandeur, couramment exprimée en  $[J \cdot mm^{-3}]$  est définie comme étant l'énergie nécessaire  $E_{tot}$  à l'enlèvement d'un certain volume de matière  $V$  soit :

$$E_{sc} = \frac{E_{tot}}{V}.$$

C'est une grandeur qui ne rend pas compte de la vitesse à laquelle cette quantité de matière est enlevée mais donne par contre des indications sur la consommation énergétique du procédé et permet de comparer utilement deux procédés d'enlèvement de matière à l'aide d'une grandeur scalaire simple à manipuler. Il est possible de l'exprimer sous une forme différente en introduisant le débit moyen d'enlèvement de matière  $Q_{moy}$  et la durée  $t$  de l'opération :

$$E_{sc} = \frac{P_{tot} \cdot t}{Q_{moy} \cdot t} = \frac{P_{tot}}{Q_{moy}}.$$

En négligeant la puissance axiale devant la puissance de coupe, hypothèse qui sera validée ultérieurement par les mesures effectuées au cours du TP, il est possible d'exprimer l'énergie spécifique de coupe directement à partir des paramètres d'entrée de l'opération ( $V_c, f, D$ ) et des paramètres de sortie mesurés ( $F_a, C_c$ ). Pour cela, il suffit de noter que le volume de matière enlevé au cours d'une opération de perçage  $V$  est celui d'un cylindre de diamètre égal à celui du foret et de longueur  $L$ . Cette longueur  $L$  s'exprime ensuite simplement comme étant la distance parcourue par l'outil à sa vitesse de translation pendant la durée  $t$  de l'opération.