



# Usinage à grande vitesse *UGV*

*Master II Fabrication mécanique et productique*

Par Dr. Slamani Mohamed

**UGV**



# Modèles de coupe

# Introduction

La compréhension et la modélisation des mécanismes de la coupe, initiés par Merchant au milieu des années 1940, ont très fortement contribué à ce maintien. Aujourd'hui encore, cette technique est toujours étudiée car les nouveaux matériaux utilisés notamment par l'industrie de pointe (aéronautique, énergie, défense, etc.) sont retenus pour leurs caractéristiques en service et non pour leur aptitude à la mise en forme.

# Introduction

Prédire les intégrités de surface ou les vibrations en cours d'usinage conduit souvent à un gain de temps et d'argent indispensable. La connaissance des efforts générés par la coupe peut permettre d'optimiser le choix des outils, le dimensionnement des machines de production ou des stratégies d'usinage employées dans un contexte où la réalisation d'essais est difficilement envisageable ou dont le nombre économiquement permis est très faible.

# Introduction

La connaissance des efforts de coupe peut également permettre de définir de nouvelles géométries d'outils, revêtements ou préparations d'arêtes dans le but de minimiser ou d'orienter les actions mécaniques pour limiter leur impact sur l'intégrité des surfaces usinées ou les défauts de forme de la pièce, en particulier dans le cas d'usinage de voiles minces.

# Caractérisation de la coupe des métaux

Les premiers écrits traitant de la caractérisation de la coupe de métaux figurent dans les travaux de Tresca (1878) concernant le choix de la géométrie de l'outil et de la profondeur de passe (figure 1.1a). Le choix de ces paramètres devant être basé sur l'observation de la déformation générée dans le copeau, Tresca remarqua, pour une géométrie d'outil constante, qu'une profondeur de passe insuffisante produisait plus de déformation plastique qu'une profondeur de passe importante.

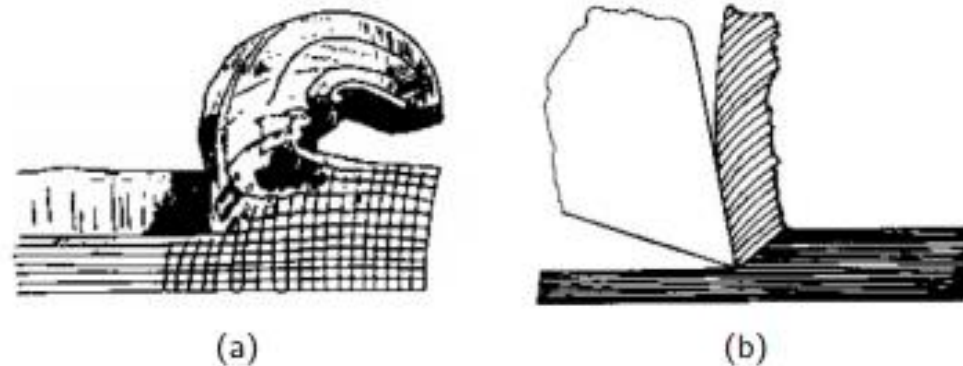


Fig. 1.1 – Observations de la coupe des métaux par (a) Tresca (1878) et (b) Mallock (1881). 6

# Caractérisation de la coupe des métaux

Cette observation ouvrit la voie du développement de machines plus rigides et plus puissantes. Trois années plus tard, Mallock (1881) décrivit la formation du copeau comme le résultat du cisaillement de la matière, dont la déformation est influencée par le frottement entre la face de coupe de l'outil et le copeau (figure 1.1b). Les travaux qui suivirent décrivirent la coupe par trois zones. La première étant la zone de cisaillement primaire initialement décrite, la seconde étant située entre la face de coupe de l'outil et le copeau où se produit le frottement évoqué par Mallock et la troisième se situant au niveau du contact de la face en dépouille sur la surface usinée. Ces travaux introduisirent les trois principaux phénomènes qui caractérisent la coupe des métaux, à savoir :

- la plasticité,
- le frottement,
- la thermique.

# Caractérisation de la coupe des métaux

Les premiers travaux sur la coupe étaient en grande majorité des observations du phénomène dans le but d'améliorer la tenue des outils dans les métaux, technologie alors récente. Datant de cette période, les travaux de Taylor (1907) demeurent encore aujourd'hui une référence pour le suivi de l'usure de l'outil. Il faudra attendre les préparatifs de la seconde guerre mondiale, mais surtout les années 1950-1960 pour voir se développer les premières théories prédictives sur la coupe des métaux.



# Paramétrage de la coupe

Une opération d'usinage est définie par certaines grandeurs appelées paramètres de coupe. Deux sous-catégories peuvent être définies parmi ces paramètres ; les paramètres opératoires, liés aux mouvements de coupe, et les paramètres géométriques propres à l'outil. Les paramètres opératoires comportent :

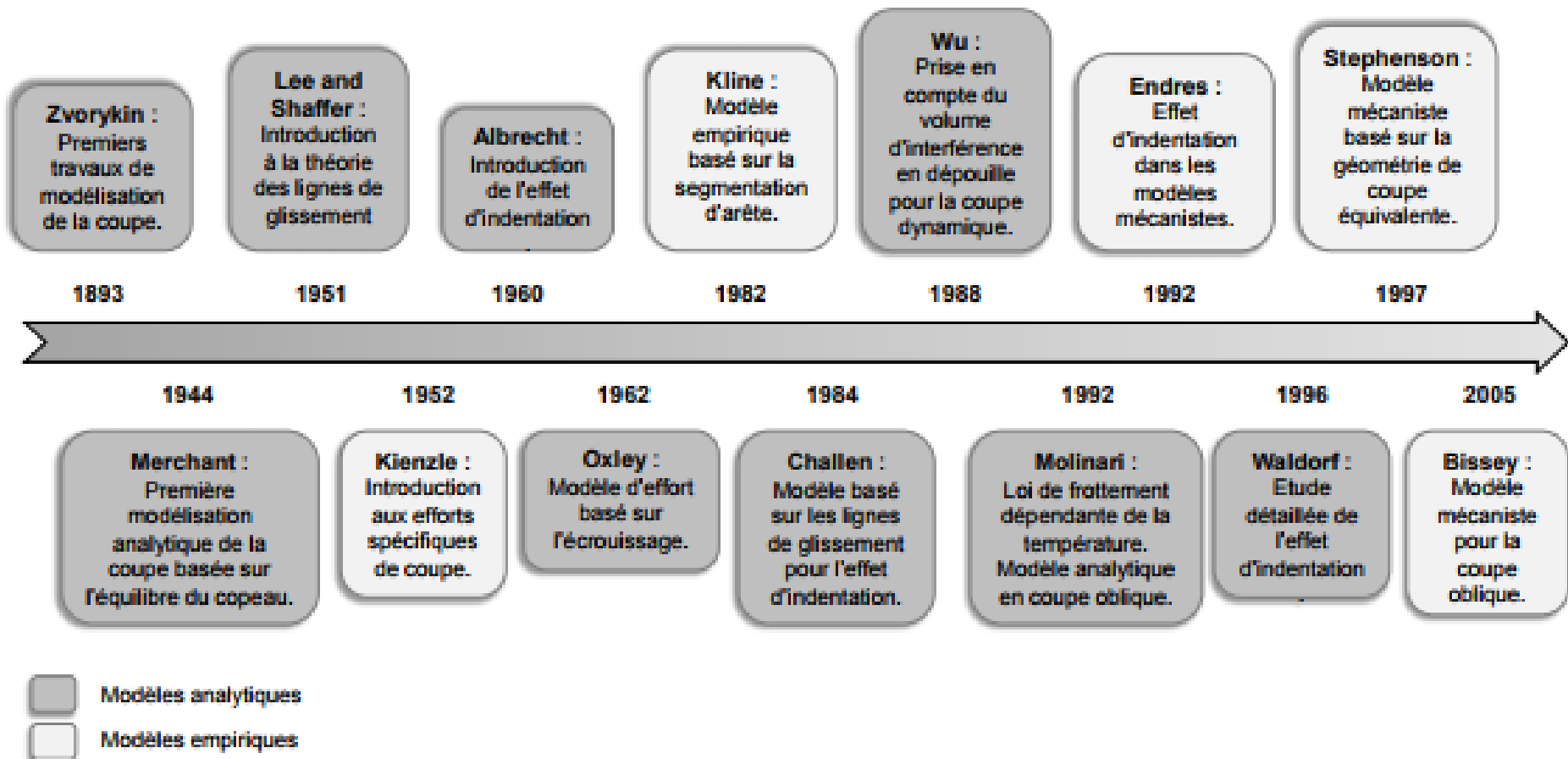
- la vitesse de coupe  $V_c$  en m/min,
- l'avance par tour  $f$  en mm/tr,
- la profondeur de passe  $a_p$  en mm.

# Paramétrage de la coupe

Pour une configuration d'arêtes de coupe multiples, *e.g.* en fraisage, l'avance par dent  $f_z$  sera définie ainsi que l'engagement radial  $a_e$ . Sont accessoirement définies la section de coupe  $A_D$  en  $\text{mm}^2$  et l'épaisseur localement coupée  $h$  en mm. Les paramètres géométriques se résument généralement à :

- l'angle de coupe  $\gamma$ ,
- l'angle de dépouille  $\alpha$ ,
- l'angle d'inclinaison d'arête  $\lambda_s$ ,
- l'angle de direction d'arête  $\kappa_r$ ,
- le rayon d'acuité d'arête  $r_\beta$ .

# Modélisation de la coupe



## Historique de la modélisation de la coupe

# Modélisation de la coupe

La compréhension et la modélisation des mécanismes de coupe a fortement contribué à maintenir les performances de cette technique en dépit des problèmes apparus avec l'émergence de nouveaux matériaux. Les usinages à hautes performances réalisés de nos jours ne peuvent se passer d'études préliminaires. La prédiction de l'intégrité des surfaces générées ou de la morphologie des pièces garantit la maîtrise des coûts et des délais. La prédiction des efforts permet également d'améliorer la géométrie des outils, leurs revêtements ainsi que les stratégies d'usinage afin de réduire la durée des phases de lancement en début de production. Plus en amont, la connaissance des efforts de coupe permet de dimensionner les montages d'usinage, les systèmes de bridage, les puissances machines nécessaires ainsi que les éventuels phénomènes vibratoires. Les récents développements des logiciels d'industrialisation plaident dans cette direction.

# Modèles phénoménologiques et empiriques

La coupe des métaux mettant en œuvre un nombre important de phénomènes physiques, les modèles phénoménologiques et empiriques cherchent à réunir un grand nombre de paramètres mesurables pour refléter au mieux la réalité. Ces modèles fournissent généralement de bons résultats mais restent limités à un domaine d'étude restreint. Souvent tirés d'interpolations de courbes, leur sens physique est limité. Leur formulation, indépendante des mécanismes de coupe, permet, dans la plupart des cas, de formuler les efforts dans les trois directions sans passer par une modélisation en coupe orthogonale. Cette approche s'est principalement développée durant les années 1990, notamment sous l'impulsion de chercheurs américains.

# Formulation classique

Les modèles empiriques ont la spécificité de donner souvent de très bons résultats. Cependant, ils sont souvent issus d'interpolations de courbes et n'ont, du fait, aucun sens physique. De plus, ils ne sont valables que dans quelques cas pratiques hors desquels leur aptitude à donner des résultats corrects est affectée. *Kline et al. (1982)* proposent un modèle empirique basé sur le principe de la segmentation d'arête. L'outil — une fraise — est décomposé en plusieurs disques élémentaires sur lesquels sont appliqués les efforts élémentaires, ces derniers variant en fonction de sa position angulaire. La somme de ces contributions, pour une position angulaire donnée, fournit l'effort global à l'instant  $t$ . Les coefficients utilisés par la relation de coupe sont obtenus à partir d'un polynôme du deuxième ordre fonction des engagements  $a_p$  et  $a_e$  ainsi que de l'avance par dent  $f_z$ .