

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

Introduction:

- La formation du copeau
- Panorama des méthodes

Leonello Zaquini

Fondateur de CaravelCut

Les objectives de la journée

1 - vous présenter un panorama des méthodes existantes

2 - vous mettre en condition de les utiliser dans votre pratique de travail

Déroulement de la journée

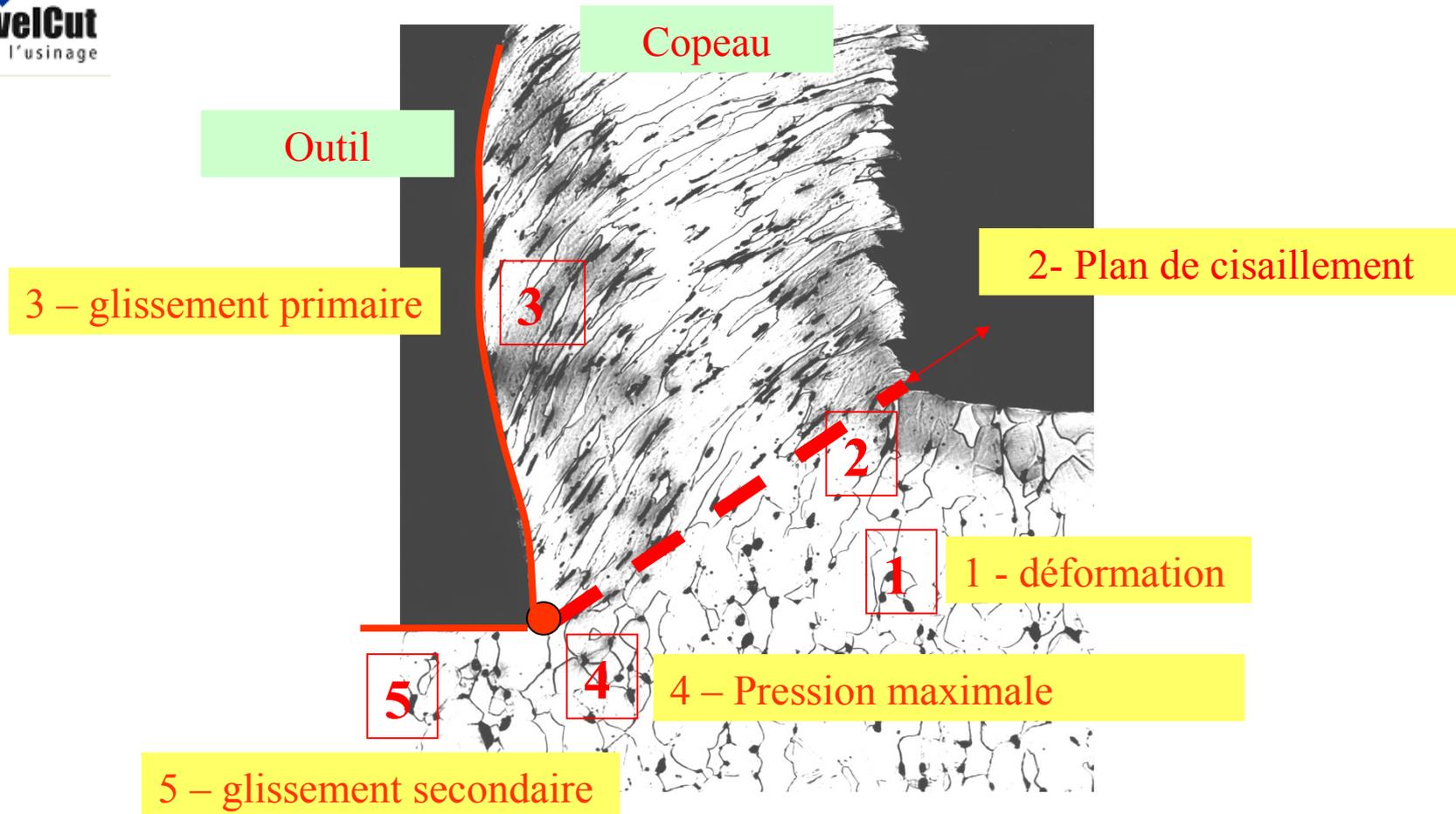
- | | |
|---------------------------------------|------------|
| 1 – introduction: formation du copeau | (lz) |
| 2 – COM coupe outil matière | (pr) |
| 3 – Matière coupée | (pr) |
| 4 - Matière de coupe | (pr) |
| 5 – Plans d'expériences | (lz) |
| 6 – Optimisation économique | (lz et pr) |
| 7 – Cas concrets | (lz et pr) |

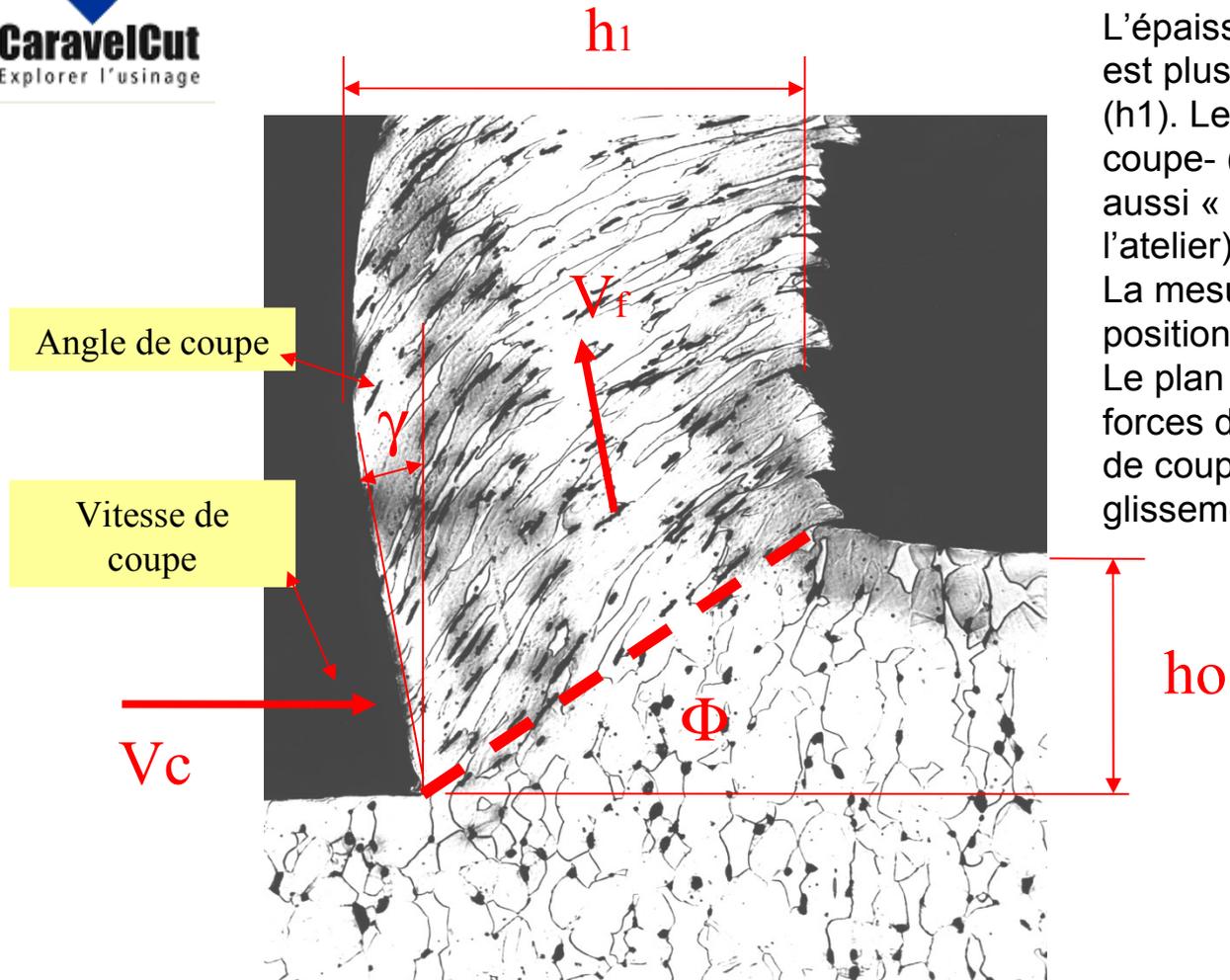
Problèmes que l'on rencontre lors de l'optimisation des paramètres de coupe et de la recherche de la géométrie optimale des outils de coupe

Dans l'étude des matériaux nous disposons de très peu de moyens standardisés pour ce qui concerne l'usinage et le choix des paramètres optimaux de coupe.

- Les résultats des essais ont une dispersion très élevée (parfois 30% ou plus).
- L'incertitude de l'interprétation des résultats est grande.
- Les temps et les coûts des essais sont élevés.

La formation du copeau





L'épaisseur du copeau indéformé (h_0) est plus petite que l'épaisseur du copeau (h_1). Le rapport « r » est dit -rapport de coupe- (et le rapport $1/r=h_1/h_0$ est dit aussi « recalage » dans l'argot de l'atelier).

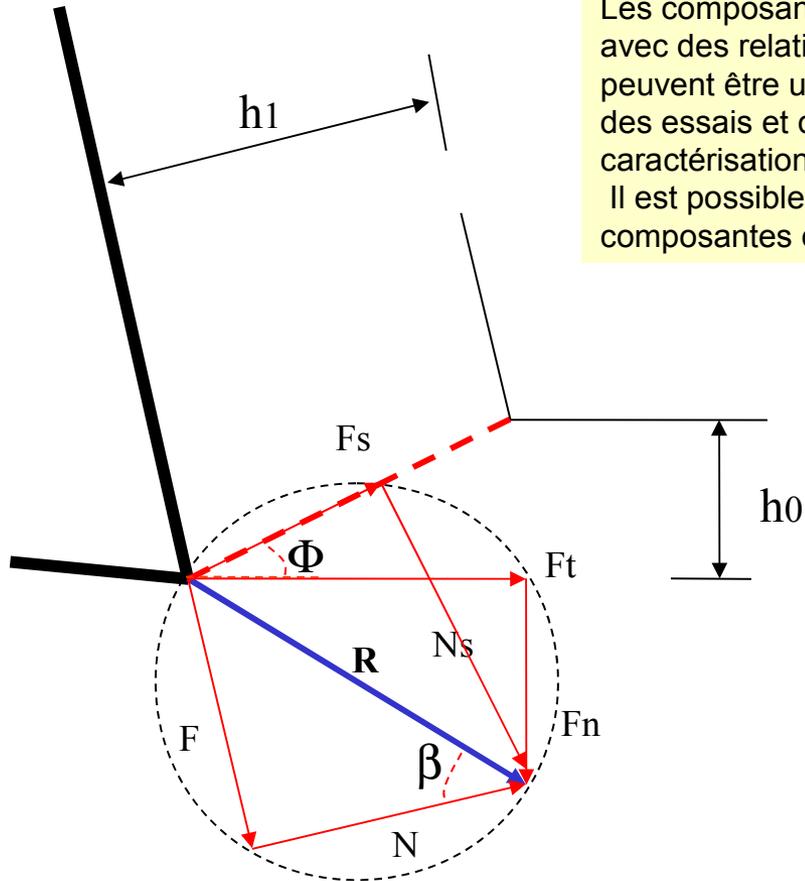
La mesure de r , permet de connaître la position du plan de cisaillement.

Le plan de cisaillement influence les forces de coupe (pour Φ petit les forces de coupe sont grandes) et la vitesse de glissement sur la face de coupe (V_f).

$$v_c h_0 = v_f h_1;$$

$$r = \frac{h_0}{h_1};$$

$$\tan \Phi = \frac{\cos \gamma}{\left(\frac{1}{r} - \sin \gamma\right)}$$



Les composantes de la force de coupe R peuvent être reliées avec des relations trigonométriques assez simples. Ces relations peuvent être utiles pour élaborer des données acquises pendant des essais et donner des informations utiles pour la caractérisation des outils ou l'analyse du processus de coupe. Il est possible d'établir les relations suivantes entre les composantes de la force de coupe

$$F_t = R \cos(\beta - \gamma);$$

$$F_n = R \sin(\beta - \gamma);$$

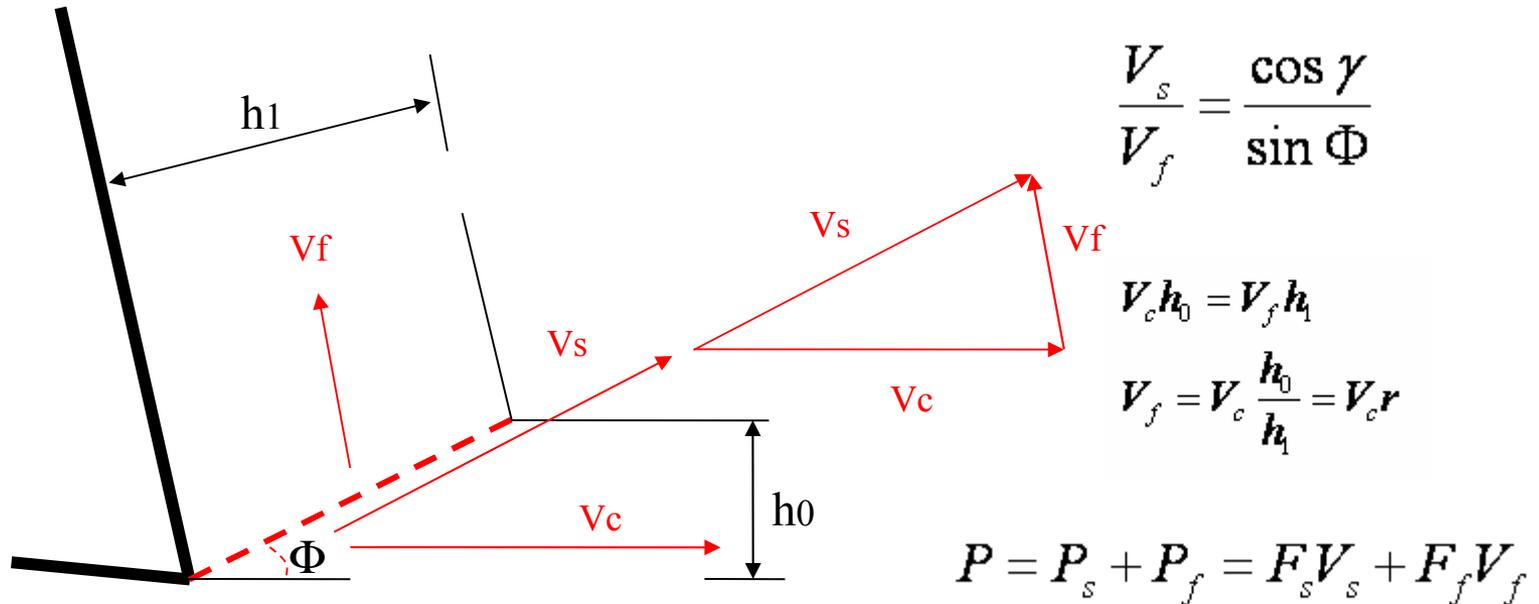
$$F = R \sin \beta,$$

$$N = R \cos \beta,$$

$$F_s = R \cos(\Phi + \beta - \gamma);$$

$$N_s = R \sin(\Phi + \beta - \gamma);$$

$$\Phi \cong 45^\circ + \frac{\gamma}{2} - \frac{\beta}{2};$$

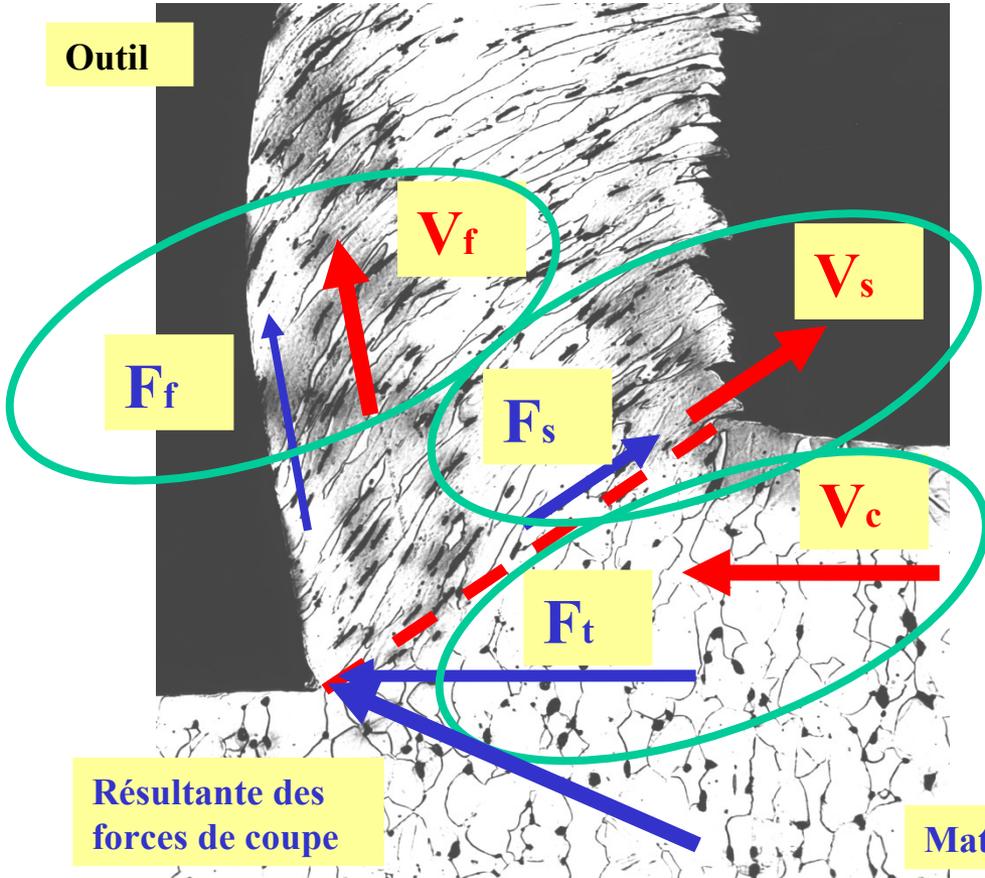


Autres définitions importantes:

- Énergie spécifique: $E_s = (\text{Puissance totale}) / (\text{débit matière})$
- Force spécifique: $K_c = (\text{force}) / (\text{section du copeau indéformé})$

Nous pouvons démontrer que: $E_s = K_c$

$$P_t = P_s + P_f$$



$$P_f = F_f * V_f$$

$$P_s = F_s * V_s$$

$$P_t = F_t * V_c$$

Résultante des forces de coupe

Matière

Energie spécifique:

$$E_s = \frac{P_t}{Débit}$$

Définitions

Puissance

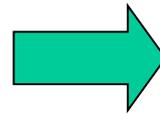
$$P_t \quad \frac{Nm}{s}$$

Débit de matière

$$Q \quad \frac{m^3}{s}$$

Energie spécifique

$$E_s = \frac{P_t}{Q} \quad \frac{Nm/s}{m^3/s} \rightarrow \frac{N}{m^2}$$



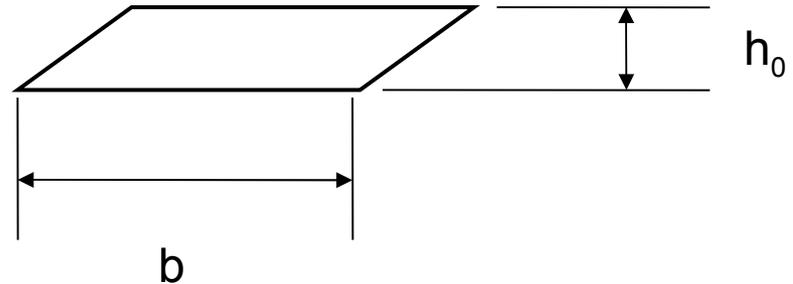
Force spécifique

$$K_c \quad \frac{N}{mm^2}$$

Définitions

Surface de la section du copeau

$$A_D = h_0 * b \quad mm^2$$



Débit maximal

$$Q_{\max} \quad \frac{mm^3}{s}$$

Définition de l'usinabilité

On peut attribuer un index numérique à l'usinabilité des matériaux.

Le procédé est le suivant :

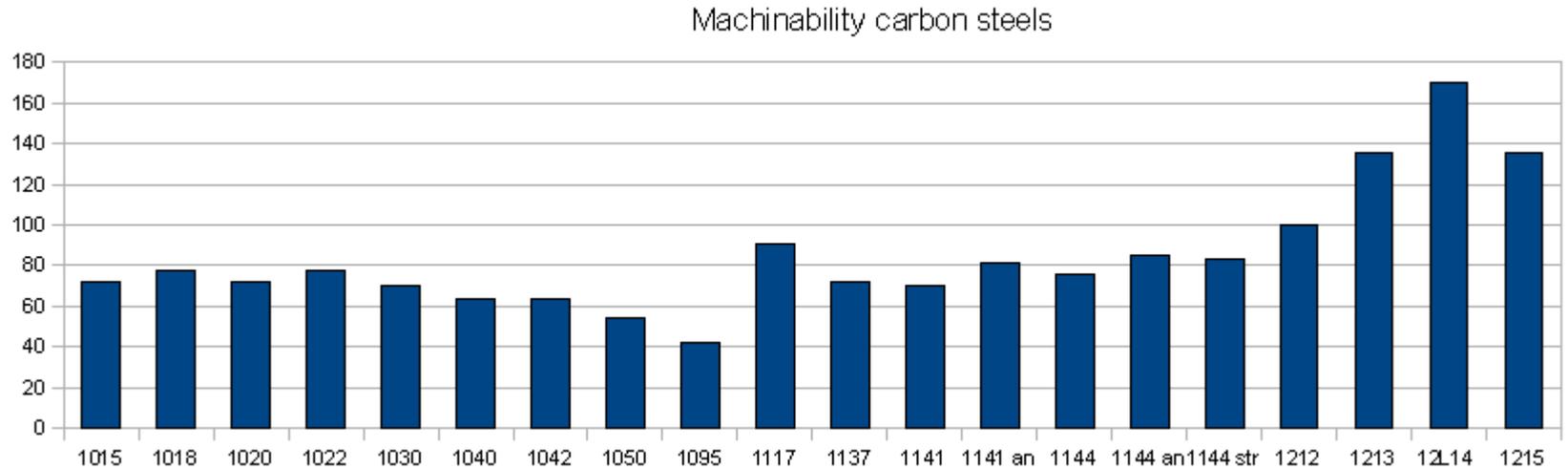
- Machine d'essais : tour. (S'assurer qu'il soit rigide et suffisamment stable pour les mesures de l'usinage).
- Prendre une barre de rapport longueur - diamètre : 10 :1, du matériel à examiner.
- Eliminer la « croûte d'écrouissage » (éventuelle) due au laminage précédant de la barre (« peler » la barre).
- Choisir un outil qui soit en condition d'usiner les deux matières : celle à mesurer et celle de référence.
- Le matériel de référence de base (degré d'usinabilité 100) est l'acier : ANSI B 1112.
- Etablir le « critère de durée de vie de l'outil » (typiquement une usure VB= 0,3 mm).

Rechercher la vitesse de coupe : V_{c20} (ou V_{c60}) qui donne une usure critique en 20 (ou 60) minutes sur les deux matières : celle de référence et celle de mesure.

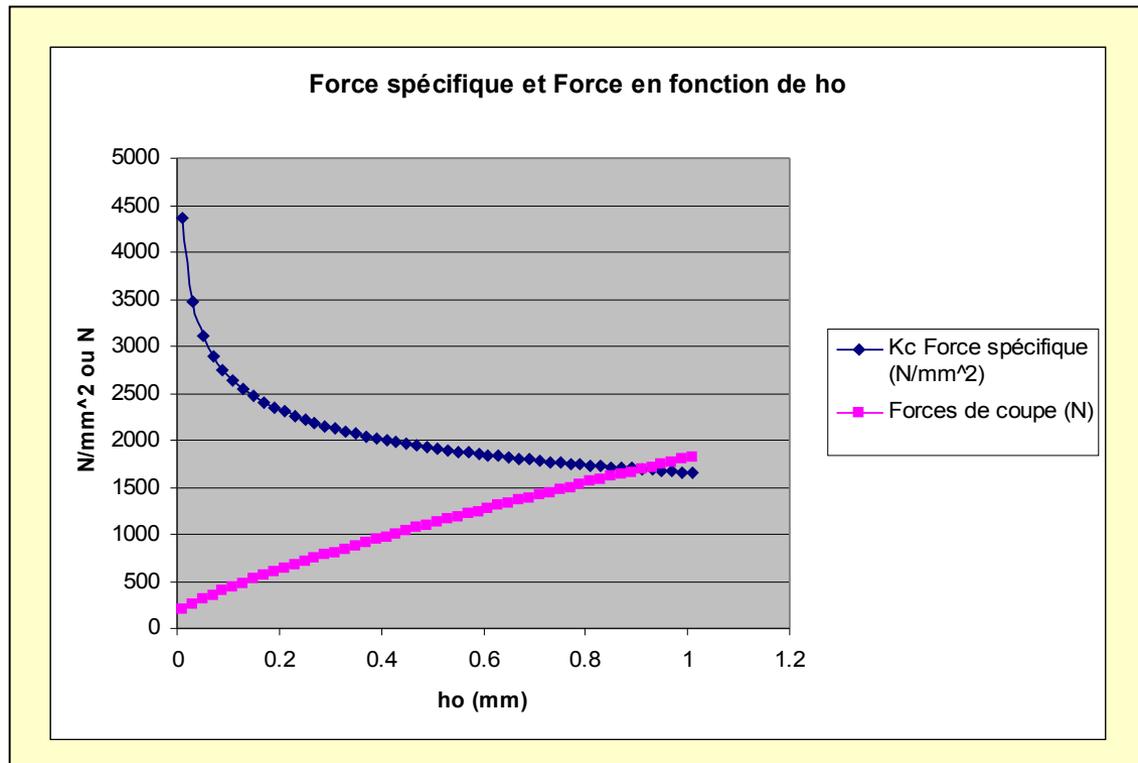
$$I = \frac{V_{20\text{matière}}}{V_{20\text{AISI - B - 1112}}} \bullet 100$$

I = indice d'usinabilité

Usinabilité de différents matériaux



Influence de l'épaisseur du copeau sur la force de coupe

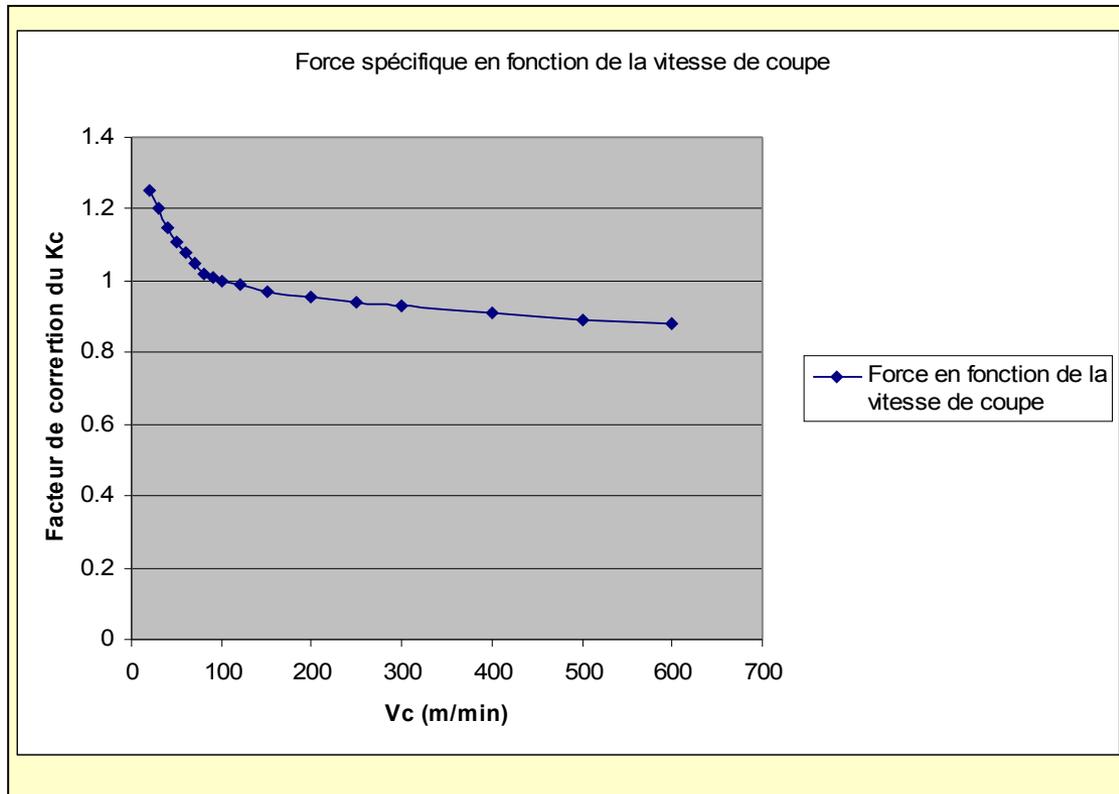


L'augmentation de l'épaisseur du copeau indéformé entraîne une augmentation de la force de coupe (courbe en violet). Attention elle ne passe pas par zéro: à $h_0 = 0$, il y a du frottement.

La diminution de la force spécifique (et donc de l'énergie spécifique) est explicable à cause d'une augmentation du débit matière plus forte que l'augmentation de la force.

(Acier Ck45)

Influence de la vitesse de coupe sur la force de coupe



(Acier Ck45)

L'augmentation de la vitesse produit une réduction de la force spécifique d'une certaine importance à basses vitesses. Aux vitesses plus élevées les valeurs se stabilisent.

L'explication peut être due au fait qu'à basses vitesses les forces dues aux frottements sont importantes par rapport à la force totale nécessaire pour la formation du copeau.

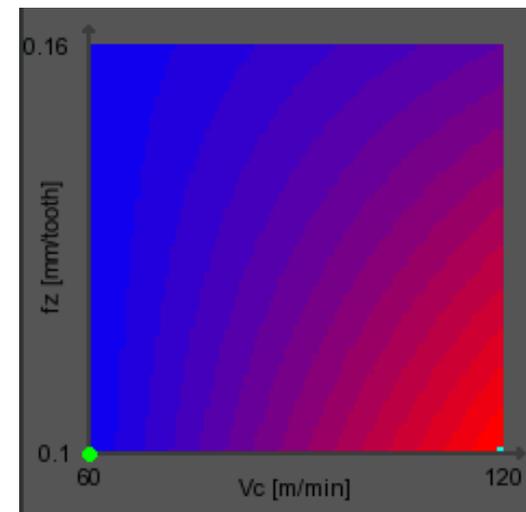
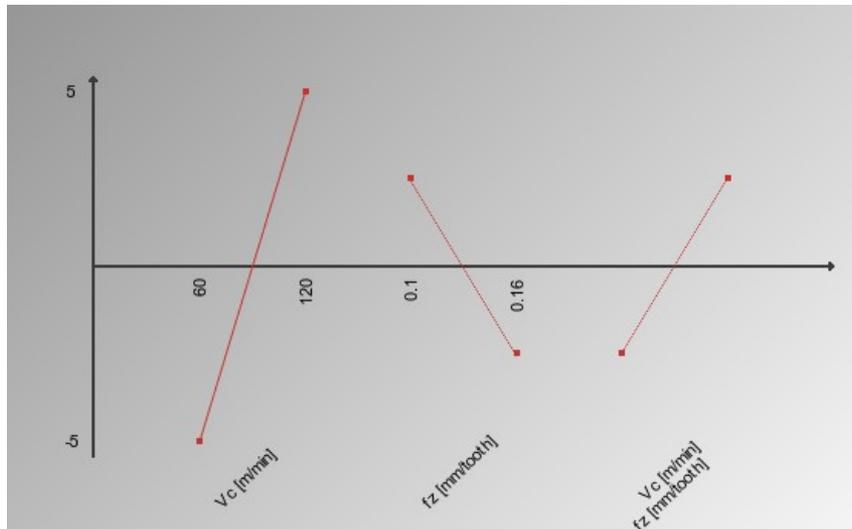
la vitesse de coupe influence la température

Mesures de température moyenne sur la face de coupe de l'outil, en fraisage d'acier 1.2379.

Outils utilisé: DIXI 7242 Ø 10 mm,

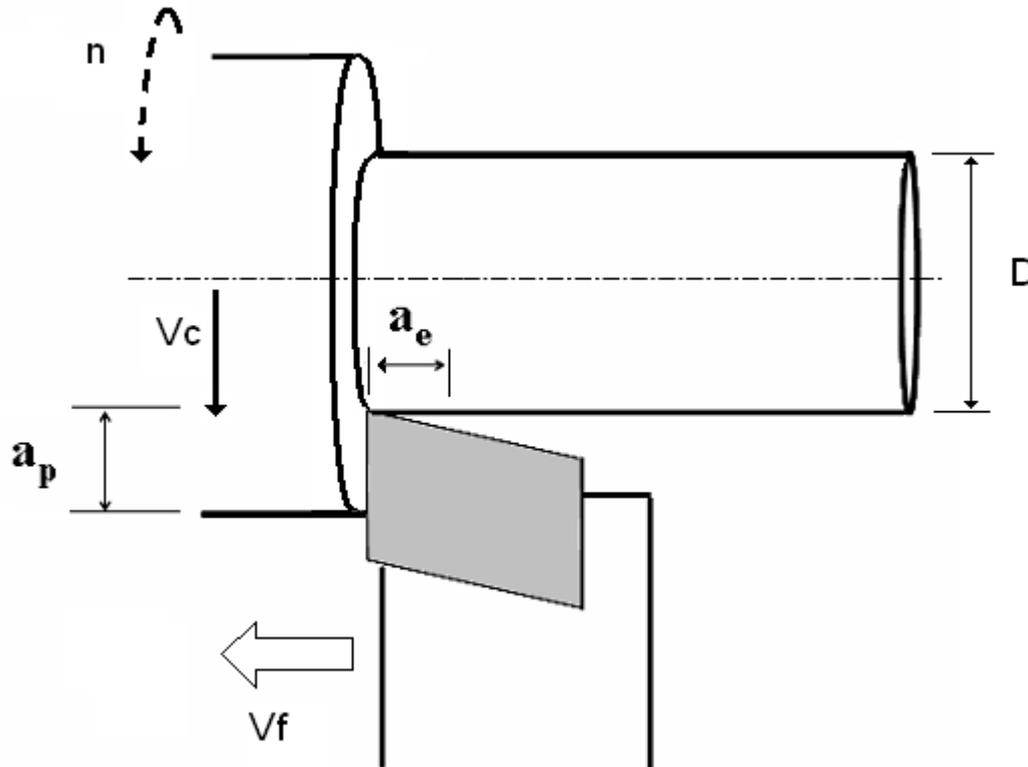
Paramètres				Température S
Vc	fz	ae	ap	°C
120	0.1	1	5	158
60	0.1	1	5	143
120	0.16	1	5	148
60	0.16	1	5	143
120	0.1	6	5	280.1

La vitesse de coupe (Vc)
est le facteur plus influent
sur la température

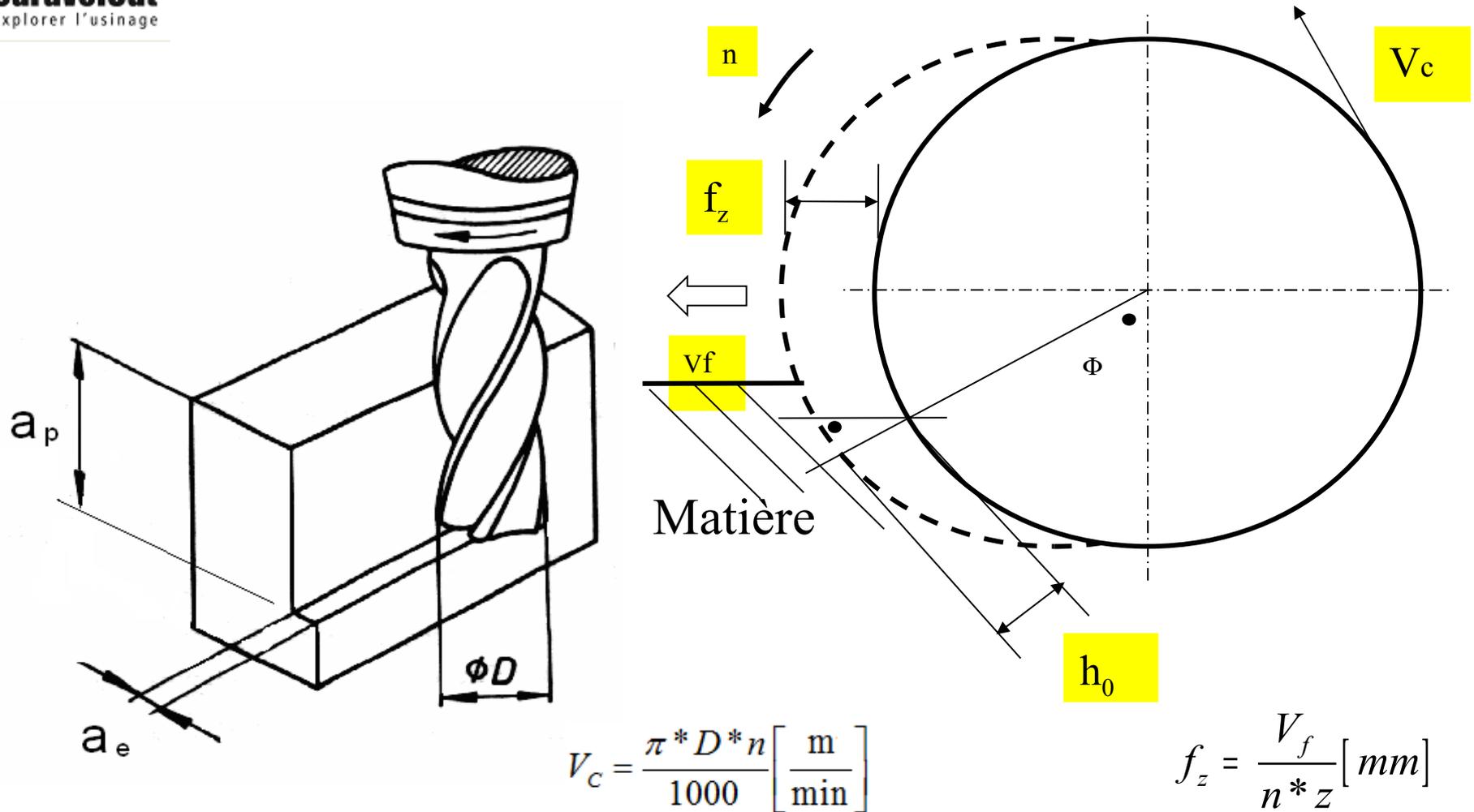


Tournage – définitions de base

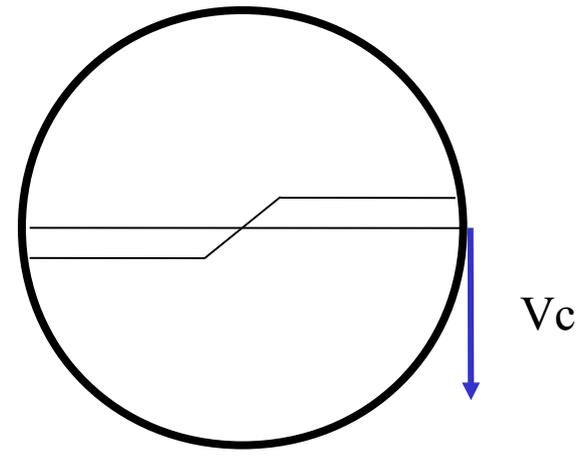
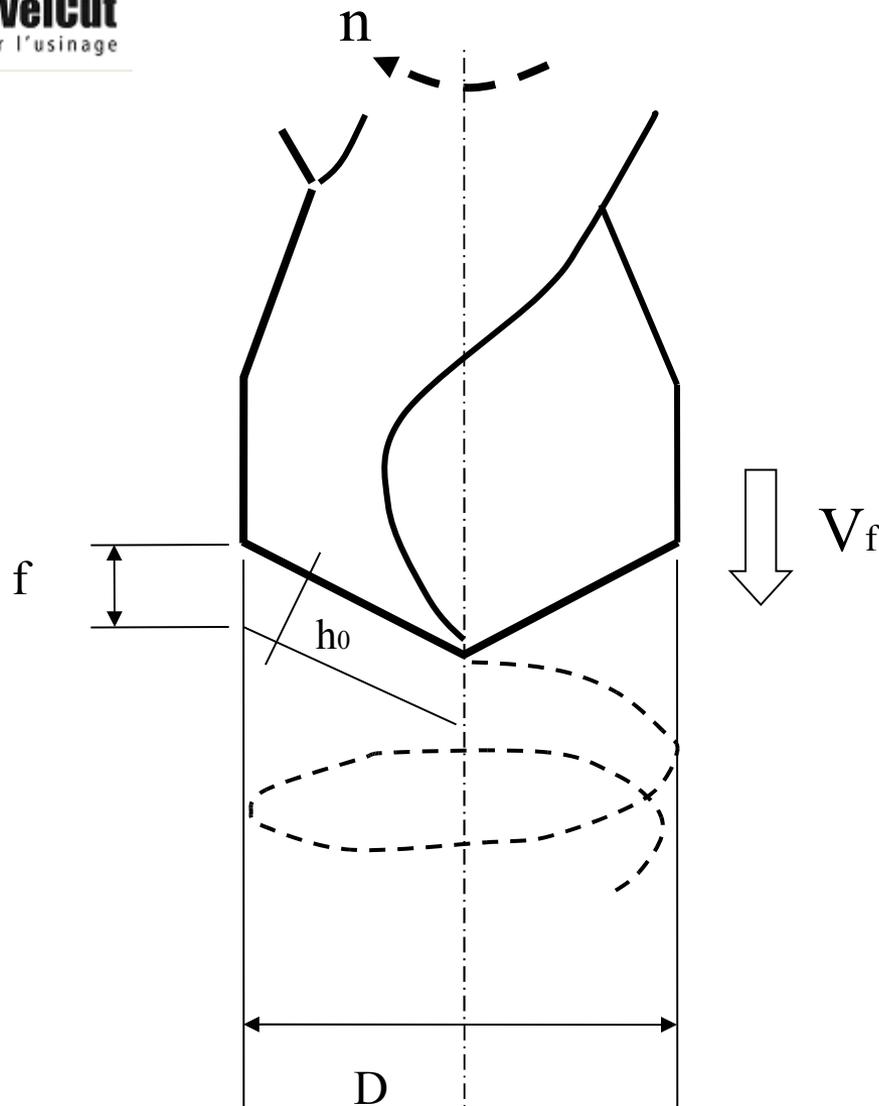
$$V_c = \frac{\pi * D * n}{1000} \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right]$$



Fraisage – définitions de base



Perçage – définitions de base



$$V_c = \frac{\pi * D * n}{1000} \left[\frac{m}{min} \right]$$

$$f = \frac{V_f}{n * z} [mm]$$

Les méthodes:

—

- 1° - Méthode « Couple Outil-Matière (COM)» recherche le minimum de l'énergie spécifique
- 2 ° - Construire un modèle de l'usinage. Sélectionner un problème (exemple: rugosité, bavures, durée de vie etc ...etc.). Déterminer la corrélation entre les facteurs (V_c , f_z , ...) et des résultats. Rechercher l'optimum sur le modèle. Le vérifier.
- Analyse de la production

1° Couple Outil Matière

Standard AFNOR NF E 66-520.

La méthode est basée sur l'hypothèse que l'optimum dépend de l'ensemble des paramètres de coupe (V_c , f_z ,) qui produit une énergie spécifique minimale (Puissance / Débit) pendant l'usinage. On modifie un seul paramètre à la fois, jusqu'à obtenir un minimum de l'énergie spécifique.

Avantages

La méthode est simple et rapide (si l'on est équipé pour mesurer l'énergie spécifique).

Désavantages

Pas complètement fiable. Néglige plusieurs facteurs et, de façon systématique, les interactions. La méthode peut être retenue seulement comme « première recherche ».

2° Création de modèles.

Permet de réduire de façon importante le nombre des essais.
Existents différentes méthodes de création de modèles:

a) « Plan des expériences » (D.O.E.). La méthode (bien connue dans plusieurs domaines d'applications) est basée sur le choix des « facteurs » dont on veut connaître l'influence sur la « réponse ».

b) « Kriging ». Méthode très flexible et efficace, bien connue en géostatistique. Introduite dans le domaine de l'usinage par CaravelCut.

Avantages

Méthode très flexible et générale. Les « facteurs » comme la « réponse » peuvent être choisis selon les intérêts et les besoins.

Désavantages

Méthode complexe et qui exige l'utilisation d'instruments mathématiques sophistiqués (*).

Un mauvais choix des expériences peut fausser les résultats. Une erreur dans la conduite d'un essai peut fausser le résultat du modèle

(*) Le site www.caravelcut.com vous accompagne pas à pas à la réalisation de modèles.

Déroulement du procédé d'optimisation:

1° - Méthode « Couple Outil-Matière (COM)» recherche le minimum de l'énergie spécifique

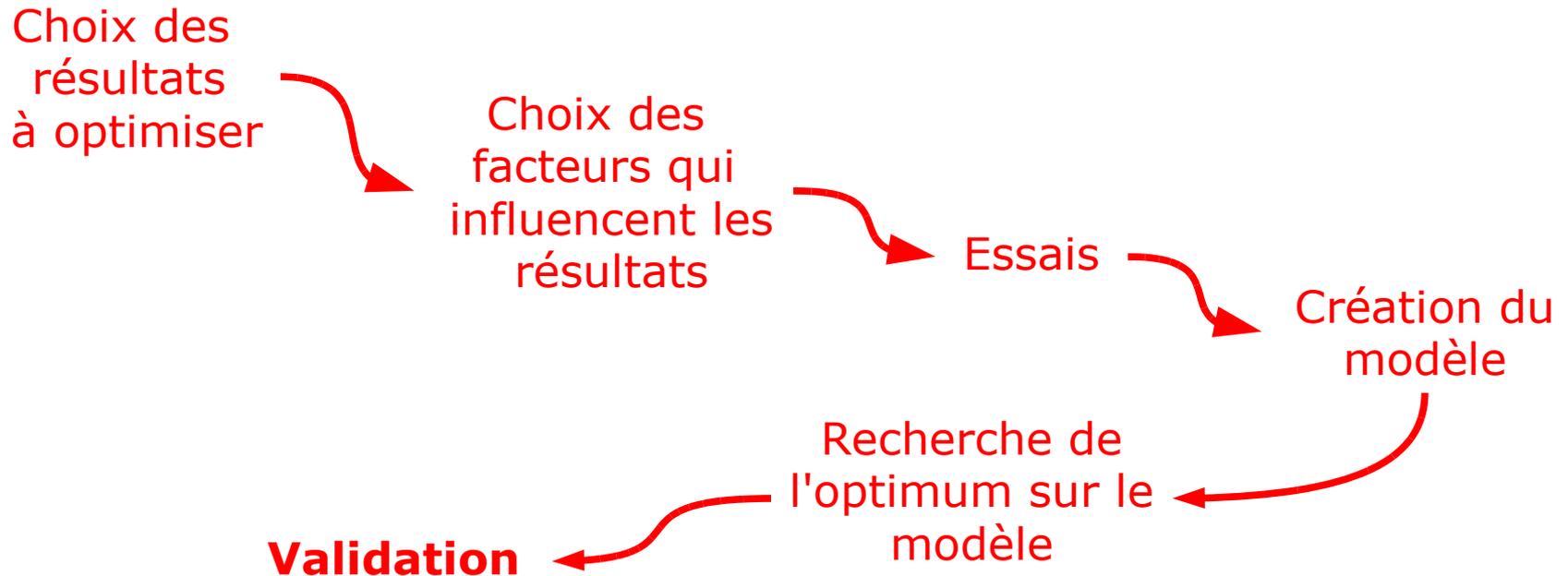
Recherche de la
plage d'usinage
possible



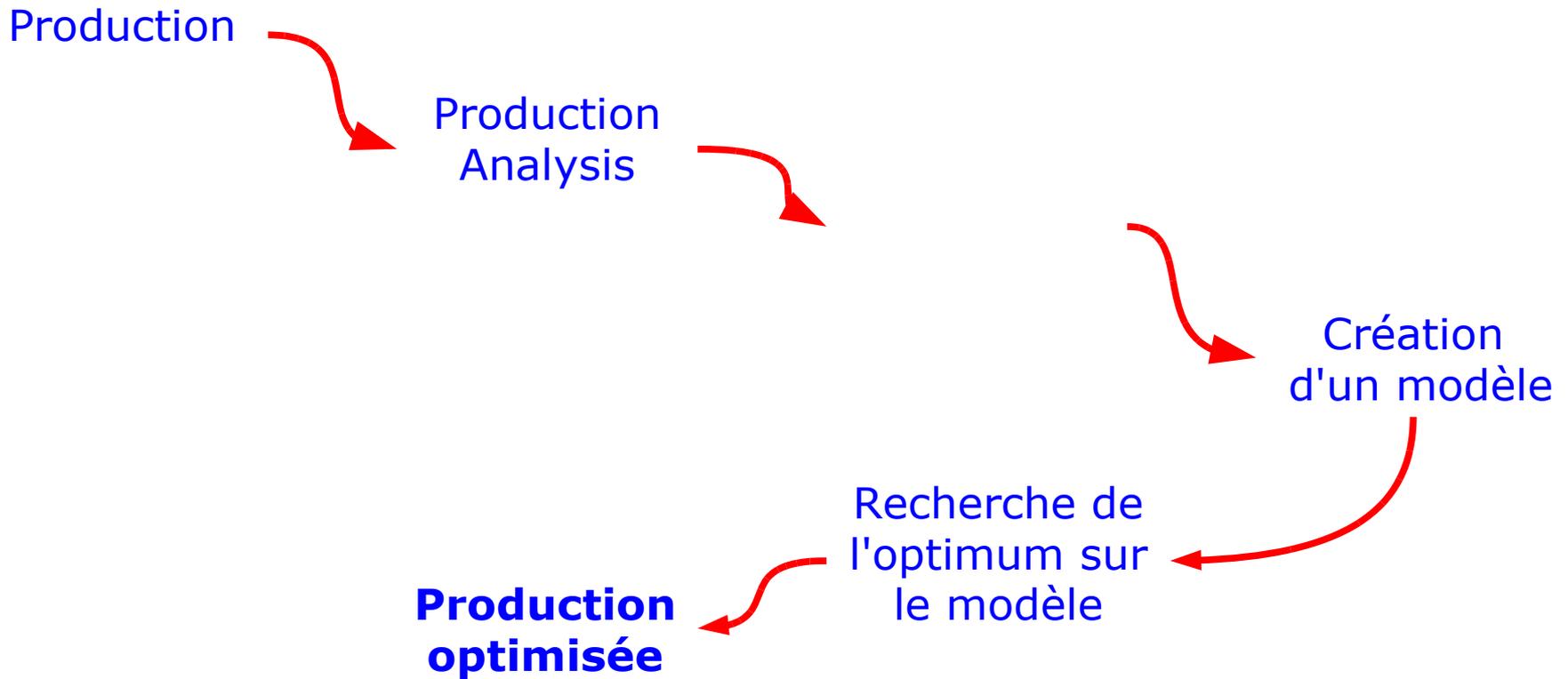
Optimisation de
l' énergie spécifique

Déroulement du procédé d'optimisation:

2 ° - Construire un modèle de l'usinage.



Déroulement du procédé d'optimisation:
3° - Analyse de la production



Conclusions

Les méthodes d'optimisation indiquées permettent:

- 1) Une optimisation efficace
- 2) Une visualisation intuitive des effets des facteurs
- 4) La réalisation de modèles mathématiques - empiriques des phénomènes (avec appréciation de la significativité statistique).
- 5) www.caravelcut.com vous accompagne, pas à pas, à l'utilisation des méthodes