



www.caravelcut.com



Couple Outil – Matière (COM)

Au fraisage et perçage

Patrick Reusser

FSRM

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

4 - 1



www.caravelcut.com



Introduction Couple Outil-Matière: Énergie spécifique

- L'énergie spécifique (W_c) ou force de coupe spécifique (K_c) est la **puissance de coupe / débit copeau**
- Ceci permet de prévoir les efforts (forces de coupe, puissance, couple de fraisage)

$$W_c = P_c / Q$$

W_c : Energie spécifique de coupe en W min/cm³

P_c : Puissance de coupe en W

$$P_c = P_{\text{mesurée}} - P_{\text{vide}}$$

Q : Débit de copeau cm³/min

ou

$$K_c = (1000 \times P_c) / Q$$

K_c : Force de coupe spécifique en N/mm²

P_c : Puissance de coupe en W

$$P_c = P_{\text{mesurée}} - P_{\text{vide}}$$

Q : Débit de copeau en mm³/s



Il y a un rapport de 60x entre K_c et W_c

De nombreux fabricant d'outil de coupe donne la force de coupe spécifique plutôt que l'énergie spécifique



FSRM

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

4 - 2



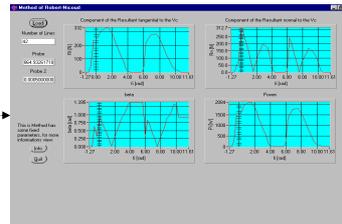
www.caravelcut.com



Couple Outil-Matière: Mesure par une table dynamométrique



Amplificateur de Charge



Analyse des forces de coupe

FSRM

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

4 - 3

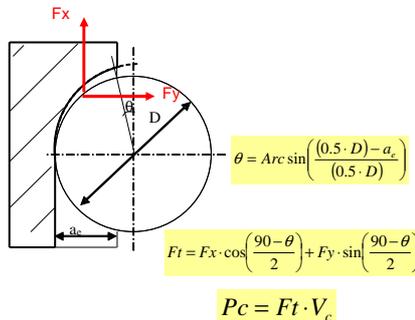


www.caravelcut.com



Couple Outil-Matière: Mesure par une table dynamométrique

- Calcul de la puissance de coupe en fonction des forces de coupe (à partir d'une table dynamométrique)



- ⊙ Temps de mesure extrêmement court (pas besoin de volume de matière important)
- ⊙ Convient pour les outils de petite dimension et les efforts de coupe peu important
- ⊙ Prix: Plus de 50'000 CHF pour le système d'acquisition (Table dynamométrique, amplif. de charge,...)
- ⊙ On ne mesure pas directement la puissance de coupe (elle est déduite des forces de coupe)

FSRM

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

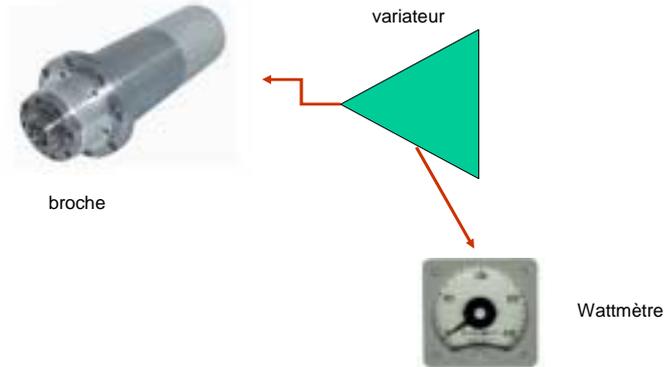
4 - 4



www.caravelcut.com



Couple Outil-Matière: Mesure par les Wattmètre



FSRM

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

4 - 5

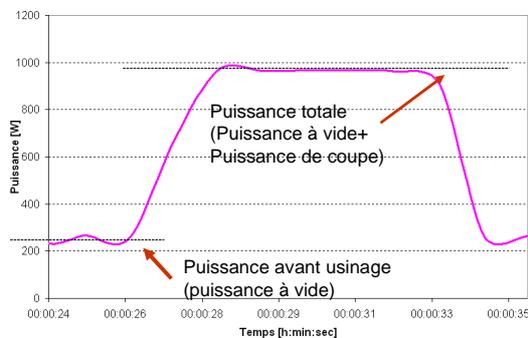


www.caravelcut.com



Couple Outil-Matière: Mesure par les Wattmètre

- On mesure la puissance absorbée pendant l'usinage et après l'usinage



- ☺ Prix
- ☺ Mesure directe de la puissance de coupe
- ⊗ Ne convient pas pour les petits outils ou les forces de coupe faibles
- ⊗ Temps de mesure élevée (échantillon de taille importante)

FSRM

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

4 - 6



www.caravelcut.com



Couple Outil-Matière

- Normalisation des grandeurs selon AFNOR NF E 66-520-6

Symbole	Dénomination	Unité
A_D	Section de coupe	mm ²
a_p	Profondeur de passe	mm
a_e	Largeur de passe	mm
f_z	Avance par dent	mm
f	Avance par tour	mm
m_c	Coefficient correcteur	-
P_c	Puissance de coupe	W
P_v	Puissance à vide	W
P_e	Puissance de travail	W
Q	Débit copeau (Norme AFNOR)	cm ³ /min
R_a	Rugosité de surface	mm
V_c	Vitesse de coupe	m/min
V_f	Vitesse d'avance	mm/min
W_c	Energie spécifique (Notation AFNOR)	W *cm ⁻³ *min
$W_{c, ref}$	Energie spécifique de référence (Notation AFNOR)	W *cm ⁻³ *min
z_u	Nb de dent utile	

FSRM

e coupe

4 - 7

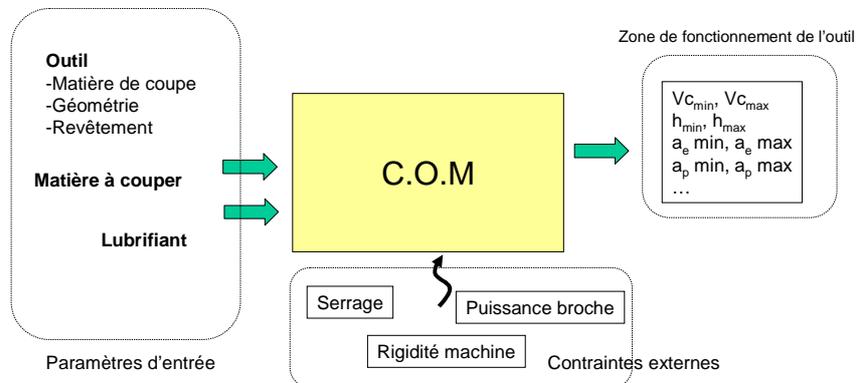


www.caravelcut.com



Introduction au Couple Outil-Matière

- Il sert à déterminer la zone de fonctionnement d'un outil de coupe dans une matière donnée (paramètres d'entrée) **sans contrainte externe**.



FSRM

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

4 - 8

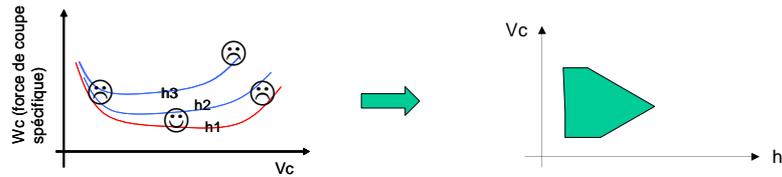


www.caravelcut.com



Introduction au Couple Outil-Matière

- Avec le minimum d'énergie spécifique on choisit la plage d'usinabilité



FSRM

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

4 - 9



www.caravelcut.com



Couple Outil - Matière: Essai de qualification

- Objectif
 - Outil adapté à la matière?
 - Point de départ
- METHODE
 - 1) Prendre $fz1$ et $fz2$
 - 2) Mesurer la puissance de coupe ou les forces de coupe
 - 3) Calculer $Wc1$ et $Wc2$

 - 4) Vérifier
 - Si $fz2 < fz1 \rightarrow Wc2 > Wc1$
 - Si $fz2 > fz1 \rightarrow Wc2 < Wc1$

FSRM

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

4 - 10



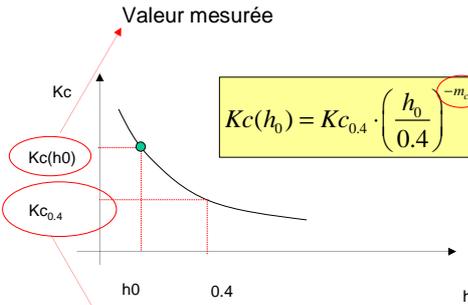
www.caravelcut.com



Couple Outil - Matière: Essai de qualification

- Formules de vérification (non inclus dans la norme)

- Il existe des tables de valeur de force de coupe spécifique pour une épaisseur de copeau donnée (Dans l'exemple 0.4mm).



Matière	Kc0.4 [N/mm ²]	m _c
Acier non allié	2000	0.25
Acier faiblement allié	2200	0.25
Acier fortement allié	2500	0.25
Acier inoxydable austénitique	2200	0.21
Acier inoxydable super austénitique	2800	0.21
Fonte ferritique	900	0.28
Fonte perlitique	1100	0.28
Fonte grise	1100	0.28
Fonte nodulaire ferritique	1100	0.28
Fonte nodulaire perlitique	1700	0.28
Fonte nodulaire martensitique	2700	0.28
Alliage de Cuivre à bonne usinabilité	700	0.25
Cuivre électrolytique, CuBe	1700	0.25
Alliage d'aluminium	500	0.25
Alliage d'aluminium avec >13% de Si	600	0.25
Titane, Alliage de titane	1500-1700	0.23
Alliage de nickel, cobalt (Nimonic, Waspalloy, Inconel) recuit	3300	0.25
Alliage de nickel, cobalt (Nimonic, Waspalloy, Inconel) vieilli	3700	0.25
Acier inoxydable réfractaire	3000	0.25
Acier trempé 50HRC	4700	0.25
Acier trempé 65 HRC	6450	0.25
Fonte en coquille	2800	0.25

FSRM

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

4 - 11



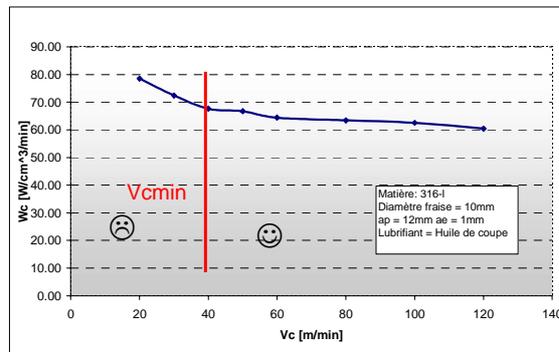
www.caravelcut.com



COM fraisage : Vitesse de coupe minimum

- Prendre ap, ae, fz constant (plutôt en contournage)
- Varié vc
- Mesurer la puissance de coupe ou les forces de coupe
- Calculer Wc en chaque point
- Reporter Wc en fonction de vc sur un graphique
- Déterminer Vcmin

- En règle générale, Vcmin est indépendant de f ou de ae.



FSRM

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

4 - 12



www.caravelcut.com



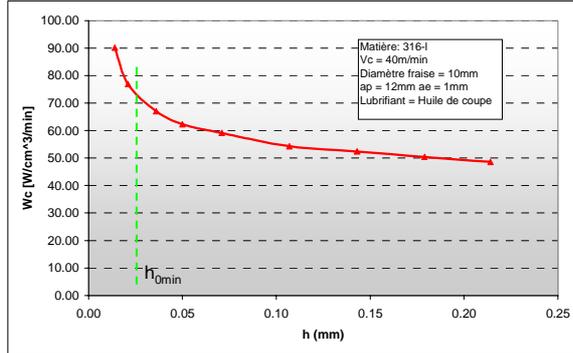
COM fraisage : Epaisseur de coupe minimum

- 1) Prendre a_p , a_e , V_c constant (plutôt en contourage)
- 2) Varier f_z

$$h = 2 \cdot f_z \cdot \sqrt{\left(\frac{a_e}{D}\right) \cdot \left(1 - \frac{a_e}{D}\right)}$$

- 3) Mesurer la puissance de coupe ou les forces de coupe
- 4) Calculer W_c en chaque point
- 5) Reporter W_c en fonction de h sur un graphique
- 7) h_{min} peut être déterminé graphiquement
- 8) h_{max} est déterminé lorsque l'énergie spécifique augmente ou lorsque la dent est ébréchée.

- En règle générale, h_{min} est indépendant de V_c ou de a_e , a_p .



FSRM

4 - 13



www.caravelcut.com

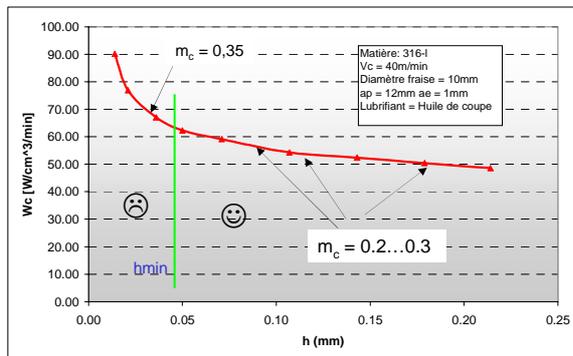


COM fraisage : Epaisseur de coupe minimum

- Parfois $h_{c,min}$ est très difficile à trouver graphiquement. Une méthode (non normalisée) consiste à calculer l'indice m_c entre chaque point de la courbe par la formule

$$m_c = \frac{\log\left(\frac{K_{c,01}}{K_{c,02}}\right)}{\log\left(\frac{h_2}{h_1}\right)}$$

- Lorsque l'indice m_c est > 0.35, on considère que l'outil n'est plus dans sa zone de fonctionnement



FSRM

4 - 14



www.caravelcut.com

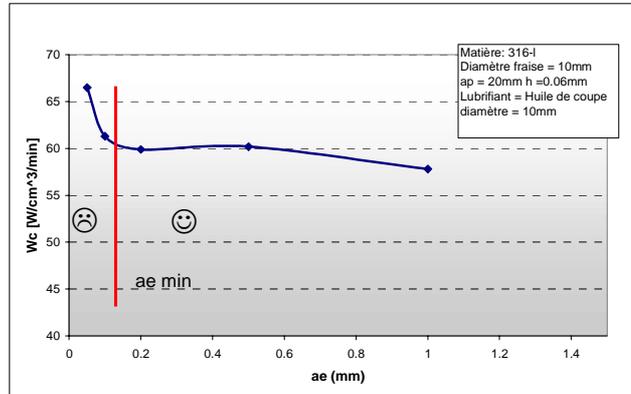


COM fraisage: Largeur de passe minimum

- 1) Prendre V_c , h a_p (souvent = a_p max)
- 2) Prendre $a_e = 20\%$ de D et diminuer a_e . Attention pour avoir h constant, modifier f_z !!!

$$h = 2 \cdot f_z \cdot \sqrt{\left(\frac{a_e}{D}\right) \cdot \left(1 - \frac{a_e}{D}\right)}$$

- 3) Mesurer la puissance de coupe ou les forces de coupe
- 4) Calculer W_c en chaque point
- 5) Reporter W_c en fonction de v_c sur un graphique
- 6) Déterminer $a_{e\min}$



$a_{e\max}$ est le diamètre de la fraise

Pour $a_{p\min}$, la procédure est la même. On diminue a_p jusqu'au décrochement de la courbe.
 Pour les matières à copeaux court, on ne peut pas mesurer a_e min et a_p min
 FSRM

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

4 - 15



www.caravelcut.com



COM fraisage: Section de coupe maximum

$A_{D\max}$

- 1) Se mettre à $V_{c\min}$ et h_{\min}
- 2) Faire des rainures et augmenter a_p jusqu'à $a_{p\max}$. Si il y a casse ou ébrèchement de l'outil stopper l'essai

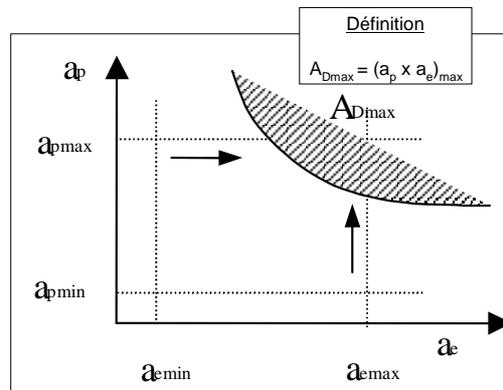
Q_{\max}

- 1) Se mettre à 80% de $A_{D\max}$.
- 2) Augmenter h jusqu'à h_{\max}
- 3) Continuer avec V_c

Norme

ATTENTION:

On arrive à obtenir un Q_{\max} bien plus élevé si on augmente une fois h , une fois V_c , et ainsi de suite
 FSRM



Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

4 - 16

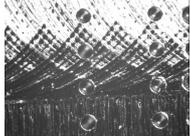


www.caravetout.com

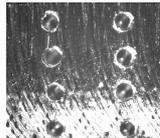


Avant d'utiliser le COM en perçage...

- « Pointage OUI/NON »
 - OUI si la surface à percer est mauvaise (trace de tournage, brut), ou n'est pas parfaitement perpendiculaire à l'axe de perçage.
 - OUI si le diamètre du trou est petit (<1mm) et la matière à percer est difficile.



Perçage DURNICO ø0.2mm
foret neuf



Perçage DURNICO ø0.2mm
foret usé

Forte déviation, casse du foret
précoce

- NON si la surface est propre et perpendiculaire à l'axe de perçage + si le foret a un amincissement d'âme.

FSRM

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

4 - 17



www.caravetout.com



Avant d'utiliser le COM en perçage...

- Les cycles de débouurrages
 - (↑) Augmentation. (↓) Diminution
 - ↑ Bonne pression du lubrifiant sur l'arête de coupe (trou d'arrosage interne, trou de faible profondeur, diamètre >2mm)
 - ↑ Matériau à copeaux court (aciers, fontes grise, laiton à us. amélioré)
 - ↓ Diamètre de foret petit.
 - ↓ Matériaux à copeaux long (titane, acier inoxydable, cuivre électrolytique)
 - ↓ Faible pression sur l'arête de coupe (systématique si il y a arrosage externe et une profondeur de trou importante)

FSRM

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

4 - 18



www.caravetout.com



Avant d'utiliser le COM en perçage...

- **Foret à trous de lubrification interne ??** Dans de nombreux cas, l'utilisation des micro forets à lubrification interne permet une réduction très importante du temps par trou, mais ce n'est pas systématique !!! Le coût de ces forets est très onéreux (>100CHF) et nécessite une installation spécifique d'arrosage haute pression (filtration,...). En plus, on utilisera de l'huile en émulsion dans la plupart des cas.
- Utilisation justifiée des micro forets à trous de lubrification interne si
 - Le matériau à usiner produit des copeaux court (aciers, aciers à outil, aciers inoxydables aust. sans nickel, certaines nuances d'alliage de nickel, fonte)
 - Profondeur du trou importante (>5xD)
 - Le temps de perçage est important par rapport à l'autre opération.
- Utilisation non justifiée si
 - Le matériau à usiner produit des copeaux longs (Aciers inoxydables austénitiques standard, titane)
 - Profondeur du trou faible (<4xD)
 - Le temps de perçage est faible par rapport aux autres opérations.

FSRM

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

4 - 19



www.caravetout.com



COM perçage – Introduction

- Si les copeaux sont courts et que la profondeur de perçage n'excède pas 4-5xD, les valeurs obtenues par le COM dépendent pas de la profondeur de perçage.
- Si le matériau à percer génère systématiquement des copeaux long et difficile à couper (M, S), les valeurs obtenues par le COM sont valables QUE pour une profondeur de perçage donnée. Le COM ne gère pas l'évacuation des copeaux.
 - Les copeaux longs, bloqués dans la goujure, engendrent immédiatement une casse du foret.
- Toujours contrôler la forme des copeaux en particulier dans les aciers. Une avance trop faible ou trop forte peut engendrer des copeaux long.

Copeaux d'acier (avec géométrie adaptée)



Copeaux de titane en perçage



Copeaux d'acier inoxydable en perçage (Avec HSS)



FSRM

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

4 - 20



www.caravelcut.com



COM perçage – Introduction

- La simple observation des copeaux permettent de réaliser beaucoup de progrès au niveau des paramètres optimaux **SURTOUT** pour les **petits** diamètres. L'utilisation des tables dynamométriques est plutôt complexe pour de tel diamètre
- Exemple:

Matière : DURNICO X2NiCoMo 18-5-2
 Ø perçage : 0.5mm
 Profondeur : 1.75mm
 Vf = 100mm/min
 Cycle de déburrage = 0.6mm
 Pointage avant perçage

n [t/min]	12'000	17'000
Vc [m/min]	19	26
f [mm]	0.0083	0.006
Observation	Pas de copeau dans la goujure	Copeau dans la goujure
Durée de vie	>1155 (vérifié 3x)	1 ^{er} essai: 250 2 ^{ème} essai: 27

→ La faible variation de Vc et f a eu une influence énorme au niveau de la durée de vie en micro perçage

FSRM

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

4 - 21

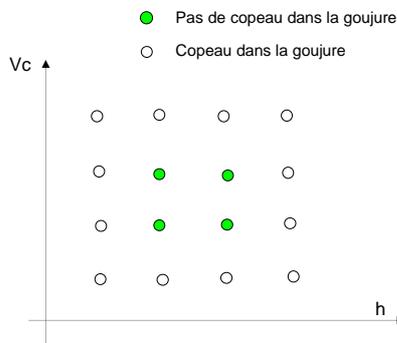


www.caravelcut.com



COM perçage – Introduction

- Alternative au COM pour les petits diamètres en perçage
 - Choisir un cycle de déburrage pas trop faible (0.5xD à 1xD par exemple)
 - Varier Vc et f en faisant quelques trous et vérifier si les copeaux restent dans la goujure



Note: Pour les matériaux difficile à usiner (M,S), les valeurs de Vc ou le copeau ne colle pas dans la goujure est relativement faible (10-40m/min)

FSRM

Méthodes pour l'optimisation des paramètres de coupe

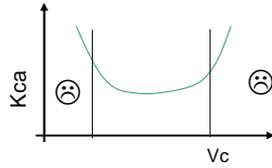
4 - 22



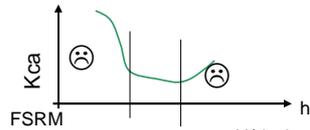
www.caravelcut.com

COM perçage – Détermination de V_c et f min et max

- 1) Essai V_c
 - Mesurer K_{ca} en fonction de V_c (pour h constant). Trouver la plage de vitesse



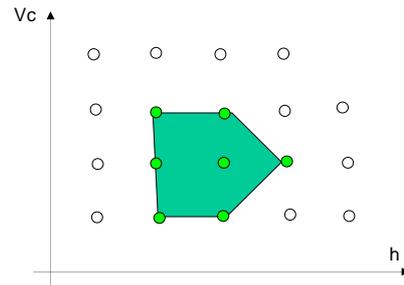
- 2) Essai h
 - Mesurer K_{ca} en fonction de h et garder V_c fixe (au milieu de V_c min et max)



- 3) Essai de quadrillage
A l'intérieur de la plage, V_c , f , effectuer des essais de quadrillage. Enlever toutes les valeurs qui dépassent un certain K_{ca}

● $K_{ca} < 4000 \text{ N/mm}^2$ (val. Indicative)

○ $K_{ca} > 4000 \text{ N/mm}^2$ (val. Indicative)



4 - 23