



Les symboles internationaux.....	2
La vitesse de coupe (V_c)	2
➤ Définition	2
➤ Formule	3
➤ Réglage de la vitesse de coupe	4
La fréquence de rotation (n).....	4
➤ Formule	4
Déterminer les paramètres de coupe	5
➤ Abaque des paramètres de coupe	6
Les pas d'usinage (f et f_z)	8
➤ Les paramètres influents sur la qualité de surface	8
➤ Définition du pas d'usinage	8
➤ Qualité de surface de l'usinage	8
➤ Formule	9
La vitesse d'avance (V_f)	10
➤ Définition	10
➤ Formule	10
L'abaque de la qualité de surface	11
➤ Rôle de l'abaque	12
L'épaisseur moyenne du copeau (e_m)	13
➤ Définition	13
➤ Qualité d'usinage.....	13
➤ Formule	13

Les paramètres d'usinage sont tous les facteurs entrant dans l'usinage d'une pièce liés aux outils des machines.

Les paramètres d'usinage sont :

- » _____
- » _____
- » _____
- » _____
- » _____

Ces paramètres déterminent le réglage des machines, et permettent à l'opérateur de réaliser des pièces de qualité, mais aussi de travailler en toute sécurité.

Ils peuvent être définis à l'aide de calculs ou par la lecture d'un abaque.

Les symboles internationaux

Afin de comprendre, dans ce chapitre, les diverses formules employées, il est nécessaire de connaître les symboles qui y sont rattachés.

Ils sont définis par l'ISO (organisation internationale de normalisation) et l'AFNOR (Association française de normalisation).

Pour chaque symbole correspondent une dénomination et son unité (les symboles ont récemment changé ; les anciens et les nouveaux symboles sont indiqués dans le tableau) :

Symbole (ancien)	Symbole (nouveau)	Dénomination	Unité

La vitesse de coupe (V_c)

➤ Définition

C'est _____ parcourue par une arête tranchante en une seconde.

Ce paramètre de coupe permet de déterminer à quelle vitesse l'arête tranchante découpe le copeau. Cette vitesse est en relation étroite avec la fréquence de rotation n de l'outil.

La vitesse de coupe dépend _____

Pour pouvoir travailler en sécurité, elle doit se situer :

Matériaux usinés	Lame de scie circulaire (denture HM)	Outil de toupie	
		Denture en HS	Denture en HW
Bois massifs durs			
Bois massifs tendres			
Panneaux			

- » La vitesse moyenne est comprise entre _____ m/s
- » Une **survitesse** ou une **sous-vitesse** peuvent entraîner les risques suivants :
 - _____ entraîne un risque d'éclatement de la pièce, et également un échauffement et une usure prématurée de l'arête tranchante
 - _____ entraîne une mauvaise coupe du bois et un risque de rejet des pièces.

➤ Formule

Elle est souvent présentée sous la forme :

d_e : diamètre extérieur de l'outil (en m)

n : fréquence de rotation (en tr/min)

Nota : pour utiliser cette formule, il faut que **d_e soit en mètres**. Le dénominateur 60 permet de convertir la fréquence de rotation n en tr/s.

- Pour éviter de convertir d_e en mètres (par convention, d_e est en mm), il suffit de multiplier le dénominateur par 1 000. Ce qui nous donne la formule suivante :

Vitesse de coupe (d_e en m)

Vitesse de coupe (d_e en mm)

Application

On recherche la **vitesse de coupe** V_c pour l'usinage d'un bois massif dur.

Pour cela, on dispose d'un outil de toupie de diamètre $d_e = 160$ mm en acier rapide (HSS), ayant une fréquence de rotation n de 7 000 tr/min.

❶ **Recherchons la vitesse de coupe à l'aide la formule générale:** $V_c = \frac{\pi \times d_e \times n}{60} \text{ m/s}$

❷ À noter qu'avec la formule qui permet d'utiliser d_e directement en millimètres, on obtient aussi le même résultat :

$V_c =$

Conclusion :

➤ Réglage de la vitesse de coupe

La vitesse de coupe n'est pas directement réglable sur les machines-outils, c'est en changeant d'autres paramètres comme la fréquence de rotation que l'on peut la modifier.

La fréquence de rotation (n)

➤ Définition

C'est le _____ qu'effectue l'arbre porte-outil en une minute.

Ce paramètre de coupe permet de déterminer quel nombre de tours par minute doit effectuer l'outil, pour une vitesse de coupe V_c recherchée.

La fréquence de rotation est réglable sur certaines machines, elle doit être adaptée en fonction du bois à usiner, la nature de l'arête tranchante et du diamètre de l'outil.

➤ Formule

Elle est souvent présentée sous la forme :

d_e : diamètre extérieur de l'outil (en m)

V_c : vitesse de coupe (en m/s)

Fréquence de rotation (d_e en m)

Nota : pour utiliser cette formule, il faut que **d_e soit en mètres** (par convention, d_e est en mm). Le nombre 60 permet de convertir la vitesse de coupe V_c en **m/min**.

- **Pour éviter de convertir d_e en mètres, il suffit de multiplier 60 par 1 000, ce qui nous donne la formule suivante :**

Fréquence de rotation (d_e en mm)

Application

On recherche la fréquence de rotation n pour un outil de diamètre d_e de 160 mm en acier rapide avec une vitesse de coupe imposée V_c de 70 m/s pour l'usinage d'un bois tendre.

On choisit la formule qui permet d'utiliser d_e directement en mm.

$n =$ _____ (on peut arrondir à $n =$ _____ tr/min)

Conclusion :

Déterminer les paramètres de coupe

➤ Le normographe des paramètres de coupe

Ce normographe, de l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS), permet de déterminer, à la toupie, _____

_____ ceci dans le but de travailler en toute sécurité.

■ Principe d'utilisation

On fait tourner le disque afin d'afficher dans la fenêtre supérieure ① le diamètre extérieur de l'outil.

Dans la fenêtre inférieure ②, on obtient, selon la nature du bois, les fréquences de rotation minimale et maximale entre lesquelles on peut travailler en toute sécurité.

Cette plage de lecture permet à l'opérateur d'adapter sa fréquence de rotation au matériau à usiner et à la gamme de régimes disponibles sur la machine.

■ Symboles des matériaux de coupe

- » **HS** pour _____
- » **HW (ou HM)** pour _____

■ Nuance du carbure de l'outil

Il est conseillé d'adapter la nature du carbure de l'outil en fonction des matériaux à utiliser :

- » **K40** pour les bois tendres
- » **K10** pour les bois durs
- » **K01** pour les matériaux agglomérés et abrasifs.

Figure 1: Normographe INRS



Application



Nous souhaitons usiner un bois tendre avec un outil de **220 mm** de diamètre en acier rapide (**HS**).

Afficher 220 dans la fenêtre supérieure.

Effectuer la lecture dans la fenêtre inférieure :

- a) **Repérer** la plage de lecture correspondant à l'usinage d'un bois tendre avec un outil en acier rapide (①).
- b) **Déterminer** les fréquences de rotation minimale (②) et maximale (③).

Résultat de la lecture :

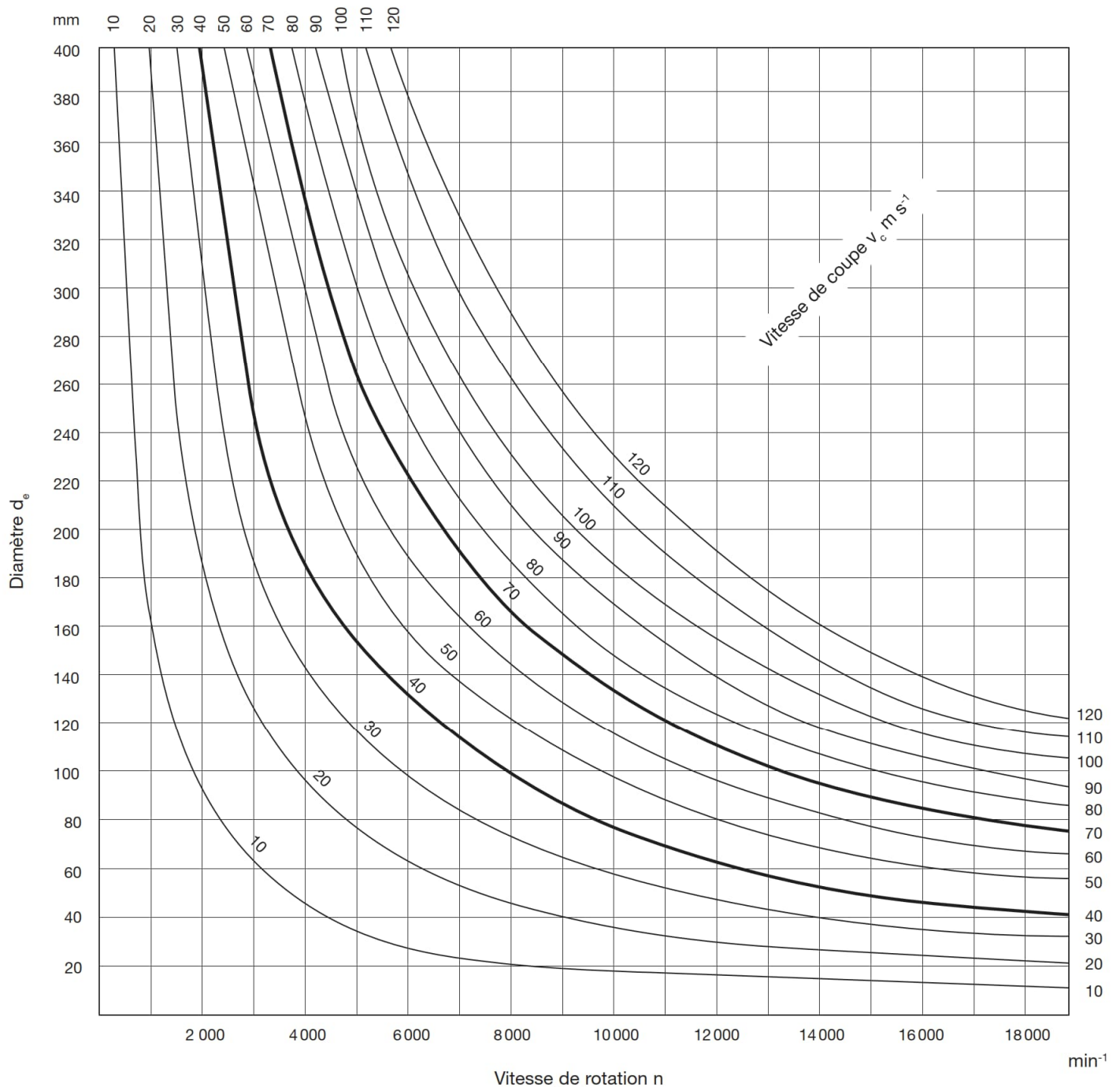
Conclusion : Le toupilleur, en fonction des régimes disponibles sur sa machine, devra régler sa fréquence de rotation dans une plage comprise entre _____ et _____ tr/min.

➤ Abaque des paramètres de coupe

Cet abaque nous permet de déterminer la fréquence de rotation ou la vitesse de coupe ou le diamètre de l'outil en fonction de deux autres paramètres connus.

Figure 2: Abaque des paramètres de coupe

N ?



■ Principe d'utilisation

On trace des droites à partir des paramètres connus afin de déterminer le paramètre recherché.

Application

Cas n° 1

Rechercher la fréquence de rotation n d'un outil à l'aide des paramètres de coupe suivants :

Diamètre de l'outil $d_e = 140$ mm

Vitesse de coupe $V_c = 60$ m/s

Repérer sur l'échelle des ordonnées, représentant le diamètre de l'outil, la valeur donnée dans l'énoncé (140 mm).

❶ **Tracer** à partir de ce repère une droite horizontale.

❷ **Repérer** l'intersection entre la droite et la vitesse de coupe demandée (60 m/s).

❸ **Tracer** à partir de cette intersection une droite verticale en direction de la fréquence de rotation.

❹ **Résultat brut :**

Conclusion : On choisira une valeur proche de tr/min, possible à régler sur la machine.

Cas n° 2

Rechercher la vitesse de coupe V_c d'un outil à l'aide des paramètres de coupe suivants :

Diamètre de l'outil $d_e = 160$ mm

Fréquence de rotation $n = 9000$ tr/min

❶ **Repérer** sur l'échelle des ordonnées, représentant le diamètre de l'outil, la valeur donnée dans l'énoncé (160 mm).

❷ **Tracer** à partir de ce repère une droite horizontale.

❸ **Repérer** sur l'échelle des abscisses, représentant la fréquence de rotation, la valeur donnée dans l'énoncé (9000 tr/min).

❹ **Tracer** à partir de ce repère une droite verticale.

❺ **Repérer** à l'intersection des deux droites la valeur de la vitesse de coupe.

Résultat : $V_c =$ m/s.

Les pas d'usinage (f & f_z)

➤ Les paramètres influents sur la qualité de surface

Nous rechercherons, ici, à déterminer la vitesse d'avance, le pas d'usinage et l'épaisseur moyenne du copeau, à l'aide de formules préétablies.

Nous donnerons la définition de chacun de ces paramètres pour comprendre quelles influences ils ont sur la qualité de coupe des matériaux.

➤ Définition du pas d'usinage

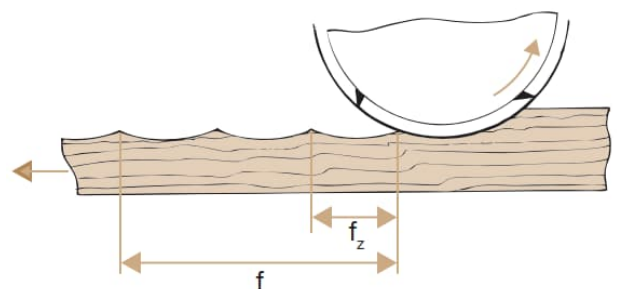
C'est _____ de la surface créée par _____. Cette surface possède une série d'ondes plus ou moins proches et visibles.

- » _____ la longueur de l'onde est petite, _____ est proche de la _____
- » _____ la longueur de l'onde est _____ est proche de _____

On distingue **deux pas d'usinage** :

- » **Le pas principal d'usinage f** , appelé également **avance par tour** : c'est l'avance (distance) de l'usinage, sur la pièce, pour un tour (rotation) complet de l'outil
- » **Le pas secondaire d'usinage f_z** , appelé également **avance par dent** : c'est l'avance de l'usinage, sur la pièce, de chaque arête tranchante lors d'une rotation de l'outil.

Figure 3: Les pas d'usinage : principal & secondaire



Le pas secondaire conditionne la finesse du travail exécuté et donc l'état de surface. Il permet de régler la vitesse d'avance de la pièce.

➤ Qualité de surface de l'usinage

En fonction de la distance du pas secondaire, on peut déterminer le niveau de qualité de l'état de surface selon le tableau suivant :

Aspect de l'état de surface	Pas secondaire d'usinage (f_z)
	1,2 à 2,5 mm
	0,8 à 1,2 mm
	0,4 à 0,8 mm
	0,2 à 0,4 mm

Avec une onde en dessous de 0,2 mm, l'arête tranchante risque de créer un _____ (brûlure), et avec une onde supérieure à 2,5 mm, des _____.

➤ Formule

Elles sont souvent présentées sous la forme :

n = fréquence de rotation (en tr/min)

V_f = vitesse d'avance (en mm/min)

z = nombre d'arêtes tranchantes de l'outil

Pas principal (V_f en mm/min)

Pas secondaire (V_f en mm/min)

Nota : pour utiliser ces formules, il faut **que V_f soit en millimètres** (par convention, V_f est en m/min). Pour éviter de convertir V_f en millimètres, il nous suffit de **multiplier V_f par 1 000**, ce qui nous donne les formules suivantes :

Pas principal (V_f en m/min)

Pas secondaire (V_f en m/min)

Application

On désire déterminer la qualité de surface d'une pièce en recherchant le pas d'usinage secondaire f_z . L'outil possédant 4 arêtes tranchantes ($z = 4$) et une fréquence de rotation n de 6 000 tr/min, la pièce sera soumise à une vitesse d'avance V_f de 5 m/min.

❶ **Recherchons le pas d'usinage secondaire à l'aide la formule générale :**

Conclusion : D'après le tableau des états de surface, on peut espérer, en utilisant ces paramètres de coupe, un état de surface proche

La vitesse d'avance (V_f)

➤ Définition

C'est la distance parcourue par la pièce ou la machine en une minute.

Si c'est la pièce qui est en mouvement, elle est alors entraînée vers l'outil soit :

- » _____ intégrés directement aux machines (exemples : raboteuse, corroyeuse) ou au moyen d'entraîneurs qui sont rapportés à la machine (toupie)
- » _____, c'est alors l'opérateur qui déplace la pièce en estimant sa vitesse d'avance et en contrôlant visuellement l'état de surface. Exemple : la dégauchisseuse, la scie circulaire et la scie à ruban

Si c'est la machine qui est en mouvement, alors la pièce reste fixe sur la table et c'est le bloc-moteur et l'outil qui se déplacent vers la pièce (exemple : mortaiseuse, défonceuse à commande numérique).

Dans les deux cas, la vitesse d'avance peut être contrôlée.

_____ dépend de la vitesse d'avance. Pour une même vitesse de coupe, elle peut être adaptée en fonction du principe suivant :

- » Plus la vitesse d'avance est _____, plus la qualité de coupe est _____ (pas d'usinage faible)
- » Plus la vitesse d'avance est _____, plus la qualité de coupe est proche de _____ (pas d'usinage élevé).

Néanmoins, les vitesses doivent être limitées au maximum et au minimum, pour respecter le pas secondaire d'usinage (f_z).

La vitesse d'avance dépend de la _____ et du _____. Le pas secondaire d'usinage f_z détermine la qualité d'usinage recherchée.

➤ Formule

Elle est souvent présentée sous la forme :

n : fréquence de rotation (en tr/min)

f_z : pas secondaire d'usinage (en m/tr)

z : nombre d'arêtes tranchantes de l'outil.

Nota : pour utiliser ces formules, il faut **que f_z soit en mètres** (par convention, f_z est en mm/tr). Pour éviter de convertir f_z en mètres, il nous suffit de **diviser la formule par 1 000**. Ce qui nous donne la formule suivante :

Vitesse d'avance (f_z en m/tr)

Vitesse d'avance (f_z en mm/tr)

Application

Nous rechercherons à déterminer la vitesse d'avance d'une pièce dans deux cas différents. La pièce sera usinée avec un outil possédant 4 arêtes tranchantes z et ayant une fréquence de rotation n de 6 000 tr/min. On désire un pas secondaire f_z de 0,45 mm (aspect finition).

Recherchons la vitesse d'avance à l'aide la formule générale :

Conclusion : Plus la qualité recherchée est proche de l'ébauche,

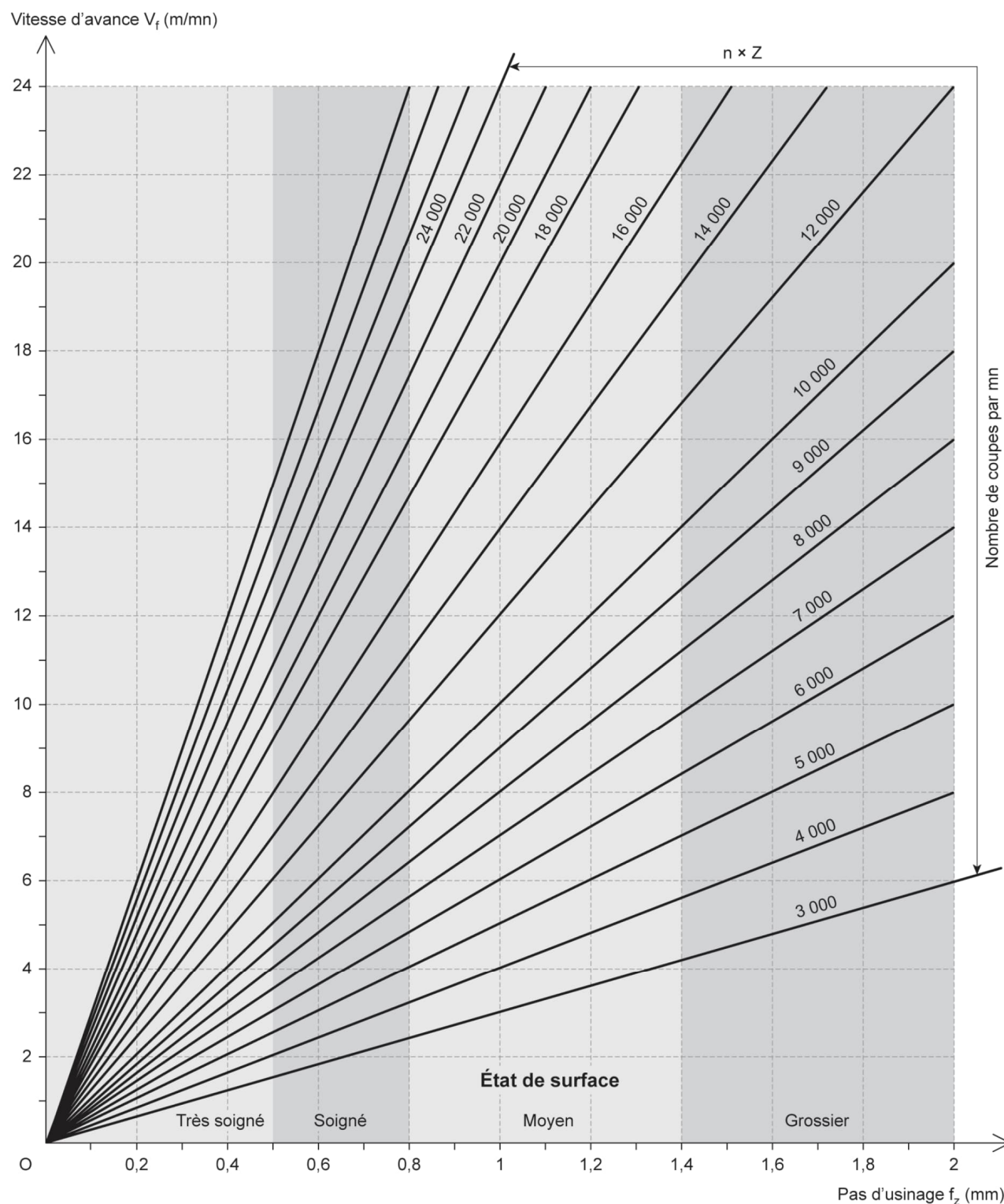
L'abaque de la qualité de surface

À l'aide de cet abaque, nous pouvons rechercher :

- La vitesse d'avance (V_f)
- Et le pas secondaire d'usinage (avance par dent f_z).

Comme nous l'avons vu précédemment, tous ces paramètres contribuent à la qualité de surface de la pièce usinée.

Figure 4: Abaque des vitesses d'avance & de l'état de surface



C'est par des réglages sur les machines-outils que l'on peut modifier ces paramètres, afin d'obtenir l'état de surface recherché.

▪ **Pour utiliser cet abaque, il faut connaître au moins deux paramètres :**

- » La fréquence de rotation
- » Le nombre d'arêtes tranchantes de l'outil.

Principe d'utilisation

On trace des droites à partir des paramètres connus afin de déterminer le paramètre recherché.

Application

• **Cas N° 1**

Rechercher **la vitesse d'avance (V_f)** de l'outil afin de respecter la qualité d'usinage définie par le pas secondaire d'usinage, selon les paramètres de coupe suivants :

Pas secondaire $f_z = 0,7$ mm/tr

Fréquence de rotation $n = 5000$ tr/min

Nombres d'arêtes tranchantes $z = 2$

- ❶ Multiplier la fréquence de rotation par le nombre d'arrête : $5000 \times 2 = 10000$
- ❷ Repérer la droite (oblique) correspondant à : 10000.
- ❸ Repérer sur l'échelle des pas secondaire (en bas) : 0,7 mm.
- ❹ Tracer à partir de ce repère une droite verticale jusqu'à l'oblique des 10000.
- ❺ À partir du croisement de ces deux droites, tracer une droite horizontale vers l'échelle des vitesses d'avance.
- ❻ Lire le résultat sur cette échelle : 7 m/min.

Conclusion : Pour pouvoir respecter les données de l'exercice, la pièce (ou l'outil) doit être déplacée à une vitesse de 7 m/min.

• **Cas N° 2**

Rechercher la qualité d'usinage définie par **le pas secondaire (f_z)**, que l'on obtiendrait en utilisant les paramètres de coupe suivants :

Nombre de dents de l'outil $z = 2$

Fréquence de rotation $n = 6000$ tr/min

Vitesse d'avance $V_f = 18$ m/min

- ❶ Multiplier la fréquence de rotation par le nombre d'arrête : $6000 \times 2 = 12000$
- ❷ Repérer la droite (oblique) correspondant à : 12000.
- ❸ Repérer sur l'échelle des vitesses d'avance (à gauche) : 18 m/min.
- ❹ Tracer à partir de ce repère une droite horizontale jusqu'à l'oblique des 12000.
- ❺ À partir du croisement de ces deux droites, tracer une droite verticale vers l'échelle des pas secondaire.
- ❻ Lire le résultat sur cette échelle : 1,5 mm/tr.

Conclusion : En respectant les paramètres de coupe de l'exercice, nous obtenons une valeur de 1,5 mm/tr, ce qui signifie que nous aurons un état de surface de type « grossier ».

➤ **Rôle de l'abaque**

À l'aide de cet abaque, deux possibilités sont offertes :

- » Contrôler la qualité de l'usinage en fonction des paramètres de coupe
- » Modifier l'un des paramètres de coupe (la vitesse d'avance) en fonction d'une qualité d'usinage recherchée.

L'épaisseur moyenne du copeau (e_m)

➤ Définition

L'arête tranchante de **l'outil produit un copeau de forme curviligne** plus épais à une extrémité qu'à l'autre.

➤ Qualité d'usinage

On calcule l'épaisseur moyenne de ce copeau afin d'agir sur la qualité de l'usinage d'une pièce usinée (le degré de finition).

On peut déterminer le niveau de qualité de l'état de surface selon le tableau suivant.

État de surface	Valeur e_m en mm
Ébauche	
Soigné	
Très soigné	

L'épaisseur moyenne du copeau conditionne également **la durée de coupe de l'outil**.

➤ Formule

L'épaisseur moyenne du copeau :

V_f : vitesse d'avance (m/min)

n : fréquence de rotation (tr/min)

z : nombre arêtes tranchante

a_p : profondeur de passe (mm)

d_e : diamètre extérieur du cylindre de coupe (l'outil) (mm)

Epaisseur moyenne du copeau

Application

On recherche la valeur moyenne du copeau lorsqu'une pièce est usinée avec un outil d_e de 160 mm de diamètre possédant 4 arêtes tranchantes z . La fréquence de rotation n de l'outil est de 6000 tr/min. La pièce sera soumise à une vitesse d'avance V_f de 5 m/min. La profondeur de passe a_p sera de 10 mm.

Conclusion : D'après le tableau des états de surface, on peut espérer obtenir, en utilisant ces paramètres de coupe, un état de surface « soigné ».

Ce qu'il faut retenir

Les symboles internationaux

Symbole	Dénomination	Unité
V_c	Vitesse de coupe	m/s
n	Fréquence de rotation	tr/min
z	Nombre de dents (d'arêtes tranchantes)	
V_f	vitesse d'avance	m/min
f	Pas principal (avance par tour)	mm/tr
f_z	Pas secondaire (avance par dent)	mm/tr
a_p	profondeur de passe	mm
d_e	diamètre extérieur du cylindre de coupe	mm
e_m	Épaisseur moyenne du copeau	mm

La vitesse de coupe V_c

C'est la distance parcourue par une arête tranchante en une seconde. La vitesse de coupe dépend du matériau à usiner et de la nature de l'outil. Pour pouvoir travailler en sécurité, cette vitesse doit se situer entre 60 et 80 m/s.

$$V_c = \frac{\pi \times d_e \times n}{60\,000} \text{ m/s}$$

La fréquence de rotation n

C'est le nombre de tours qu'effectue l'arbre porte-outil en une minute.

$$n = \frac{60\,000 \times V_c}{\pi \times d_e} \text{ tr/min}$$

Les pas d'usinage f et f_z

C'est l'aspect géométrique de la surface créée par un outil. Cette surface possède une série d'ondes plus ou moins proches et visibles.

On distingue dans le pas d'usinage :

- » **Le pas principal**, ou avance par tour f : c'est l'avance (distance) de l'usinage sur la pièce, pour un tour (rotation) complet de l'outil.

$$f = \frac{1\,000 \times V_f}{n} \text{ mm/tr}$$

- » **Le pas secondaire**, ou avance par dent f_z : c'est l'avance de l'usinage sur la pièce, de chaque dent lors d'une rotation de l'outil.

$$f_z = \frac{1\,000 \times V_f}{n \times z} \text{ mm/tr}$$

Le pas secondaire conditionne la finesse du travail exécuté et donc l'état de surface. Il permet de régler la vitesse d'avance de la pièce.

La vitesse d'avance

C'est la distance parcourue par la pièce ou la machine en une minute. Plus la vitesse d'avance est lente, plus la qualité de coupe est élevée. Plus la vitesse d'avance est rapide, plus la qualité de coupe est proche de l'ébauche.

$$V_f = \frac{f_z \times n \times z}{1000} \text{ m/min}$$

Déterminer les paramètres de coupe à l'aide d'un normographe

Le normographe de l'INRS permet de déterminer, à la toupie, une fréquence de rotation en fonction du diamètre de la fraise, de la nature de l'outil de coupe et du matériau usiné, ceci dans le but de travailler en toute sécurité.

Principe d'utilisation

On fait tourner le disque afin d'afficher dans la fenêtre supérieure le diamètre extérieur de l'outil.

Dans la fenêtre inférieure, on obtient, selon la nature du bois, les fréquences de rotation minimale et maximale entre lesquelles on peut travailler en toute sécurité.

Cette plage de lecture permet à l'opérateur d'adapter sa fréquence de rotation au matériau à usiner et à la gamme de régimes disponibles sur la machine.

Déterminer la qualité de surface et les paramètres de coupe à l'aide des deux abaques

À l'aide des abaques, nous pouvons rechercher rapidement tous les paramètres d'usinage (sauf l'épaisseur moyenne du copeau), sans faire de calcul.

Principe d'utilisation

On trace des droites à partir des paramètres connus afin de déterminer le paramètre recherché.

Ces abaques nous permettent de :

- » contrôler la qualité de l'usinage en fonction des paramètres de coupe,
- » modifier l'un des paramètres de coupe en fonction d'une qualité d'usinage recherchée.

Rappel : la qualité d'usinage est définie à l'aide de l'avance par dent f_z (pas secondaire d'usinage).

L'épaisseur moyenne du copeau

L'arête tranchante de l'outil produit un copeau de forme curviligne plus épais à une extrémité qu'à l'autre. On mesure l'épaisseur moyenne de ce copeau afin d'agir sur la qualité d'usinage.

$$e_m = \frac{1000 \times V_f}{n \times z} \times \frac{\sqrt{a_p}}{\sqrt{d_e}} \text{ mm/tr}$$

En fonction de l'épaisseur moyenne du copeau, on peut déterminer le niveau de qualité de l'état de surface.