

OFPPT

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail

DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

**RÉSUMÉ DE THÉORIE
&
GUIDE DES TRAVAUX PRATIQUES**

MODULE

DETERMINATION DES TEMPS DE

N°: 5

FABRICATION

SECTEUR : FABRICATION MECANIQUE

SPECIALITE : TSMFM

NIVEAU : TS

PORTAIL DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE AU MAROC

Télécharger tous les modules de toutes les filières de l'OFPPT sur le site dédié à la formation professionnelle au Maroc : www.marocetude.com

Pour cela visiter notre site www.marocetude.com et choisissez la rubrique :

MODULES ISTA



The image shows a screenshot of the website Maroc Etude.Com. At the top, there is a navigation menu with the following items: HOME, LIVRES, **MODULES ISTA**, ANNUAIRE ECOLES, DOCTORAT, LETTRE DE MOTIVATION, NOUS CONTACTER, and SE CONNECTER. A blue arrow points to the 'MODULES ISTA' item. Below the navigation menu is the website's logo 'Maroc Etude.Com' and the tagline 'Connaissance - Métier - Technique'. There are also several utility links: Annonces Google, Emploi Maroc, Messagerie, Telecharger Un Jeu, and Maroc Annonces. The main content area features a search bar and a central advertisement for MacKeeper with a -20% discount. On the left side, there is a login section with fields for 'Identifiant' (containing 'sniper') and 'Mot de passe', and a 'Connexion' button. On the right side, there is a sidebar with 'Annonces Google' and a list of links: Jeu De Jeux, Jeux Sur Internet, Ecole Ingénieur, Dépanner et configurer votre réseau à domicile (Outil de Diagnostic), WI-FI / Ethernet, Console de jeu, Imprimante, and Messagerie. At the bottom of the advertisement, there is a quote: "On ne jouit bien que de ce qu'on partage" [Madame de Genlis].

Document élaboré par :

Nom et prénom
NICA DORINA

CDC GM

DRIF

Révision linguistique

-
-
-

Validation

-
-
-

OBJECTIF DU MODULE

MODULE 4 : DETERMINATION DES TEMPS DE FABRICATION

Code :	Théorie :	42 %
Durée : 30 heures	Travaux pratiques :	50 %
Responsabilité : D'établissement	Évaluation :	8 %

OBJECTIFS OPÉRATIONNELS DE PREMIER NIVEAU DE COMPORTEMENT

COMPORTEMENT ATTENDU

Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit **déterminer les temps de fabrication** selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent.

CONDITIONS D'ÉVALUATION

- Travail individuel
- À partir :
 - d'une gamme d'usinage ;
 - des fiches de phases ou d'instructions;
 - de dossiers machines
 - des tables de temps élémentaires ou des temps standards de type entreprise, CETIM, MTM...
 - des données économiques internes et externes (comptabilité analytique, sous-traitant, fournisseur)
- À l'aide :
 - Règles de calculs préétablies
 - Documents standardisés (grille de calculs)

CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE

- Analyse pertinente des modes opératoires
- Utilisation adéquate des moyens et méthodes de mesure de temps d'exécution
- Rigueur et soin apporté au calcul des temps
- Choix des méthodes de calculs
- Exploitation des données techniques et des tables de temps élémentaires
- Fiabilité des résultats
- Souci d'optimisation des cycles de travail et des coûts
- Qualité des documents remis

à suivre

**OBJECTIFS OPÉRATIONNELS DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT (suite)**

**PRECISIONS SUR LE
COMPORTEMENT ATTENDU**

**CRITERES PARTICULIERS DE
PERFORMANCE**

- | | |
|---|---|
| A. Prendre connaissance des consignes et directives | <ul style="list-style-type: none"> - Importance des temps dans la fabrication mécanique - Organisation Scientifique du Travail |
| B. Calculer les temps technologiques en tenant compte des conditions de coupe ou d'usinage | <ul style="list-style-type: none"> - Analyse pertinente des conditions de réalisation des pièces mécaniques - Rigueur et soin apporté au calcul des temps - Utilisation correcte des tables et des abaques - Fiabilité des résultats - Souci d'optimisation des temps et des coûts |
| C. Déterminer les temps prévisionnels d'exécution des opérations manuelles dans une phase d'usinage | <ul style="list-style-type: none"> - Analyse détaillée des conditions de travail manuel (opérations, gestes et mouvements) - Fiabilité des résultats - Souci d'optimisation des temps et des coûts - Utilisation correcte des tables de temps élémentaires |
| D. Chronométrer des opérations et interpréter les mesures obtenues des temps d'exécution | <ul style="list-style-type: none"> - Utilisation adéquate des appareils et documents de mesures du temps - Choix des conditions et mode de chronométrage - Justesse d'interprétation des résultats |
| E. Étudier et optimiser un cycle de travail | <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration des cycles de travail - Souci d'optimisation des temps et des coûts |

OBJECTIFS OPÉRATIONNELS DE SECONDE NIVEAU

LE STAGIAIRE DOIT MAÎTRISER LES SAVOIRS, SAVOIR-FAIRE, SAVOIR-PERCEVOIR OU SAVOIR-ÊTRE JUGES PRÉALABLES AUX APPRENTISSAGES DIRECTEMENT REQUIS POUR L'ATTEINTE DE L'OBJECTIF OPÉRATIONNEL DE PREMIER NIVEAU, TELS QUE :

Avant d'apprendre à prendre connaissances des consignes et directives (A) :

1. Recueillir tous les renseignements pertinents à l'étude à développer
2. Comprendre les exigences du client et analyser les données fournées

Avant d'apprendre à calculer les temps technologiques en tenant compte des conditions de coupe ou d'usinage (B) :

3. Comprendre la signification et l'importance des temps
4. Lire des dossiers machines
5. Utiliser les graphiques, abaqués, formulaires

Avant d'apprendre à déterminer les temps prévisionnels d'exécution des opérations manuelles dans une phase d'usinage (C) :

6. Décomposer les phases d'usinage en opérations et gestes identifiables et mesurables
7. Déterminer les temps manuels
8. Déterminer les majorations à accorder aux temps standard manuels

Avant d'apprendre à chronométrer des opérations et interpréter les mesures obtenues des temps d'exécution (D) :

9. Utiliser un chronomètre

Avant d'apprendre à étudier et optimiser un cycle de travail (E) :

10. Représenter graphiquement les temps et les cycles de travail

DETERMINATION DES TEMPS DE FABRICATION

SOMMAIRE

DETERMINATION DES TEMPS DE FABRICATION

CHAPITRE 1	
<i>LES COUTS DE PRODUCTION : TEMPS UNITAIRE ET TEMPS MINIMAL.....</i>	<i>7</i>
CHAPITRE 2	
<i>LES COUTS DE PRODUCTION : COUT HORAIRE MACHINE.....</i>	<i>11</i>
CHAPITRE 3	
<i>LES COUTS DE PRODUCTION : COUT MINIMAL ET PRODUCTION MAXIMALE.....</i>	<i>15</i>
CHAPITRE 4	
<i>LES TEMPS D'EXECUTION. DEFINITIONS.....</i>	<i>18</i>
CHAPITRE 5	
<i>LES TEMPS D'EXECUTION. METHODE DES TEMPS PREDETERMINES.....</i>	<i>26</i>
CHAPITRE 6	
<i>LES TEMPS D'EXECUTION. LES SIMOGRAMMES.....</i>	<i>30</i>
CHAPITRE 7	
<i>CALCUL DES TEMPS DE COUPE.....</i>	<i>34</i>
<i>BIBLIOGRAPHIE.....</i>	<i>45</i>

Chapitre 1

Les coûts de production : temps unitaire et temps minimal

1. GÉNÉRALITÉS

Optimiser c'est rechercher la solution la plus satisfaisante dans un ensemble de contraintes.

On peut optimiser :

- lors d'une **nouvelle fabrication** dans laquelle les paramètres liés à la qualité dimensionnelle et géométrique sont **stabilisés**,
- lors d'usinages dans lesquels l'**état de surface et la géométrie sont peu importants**,
- lors d'une fabrication où l'amélioration est justifiée par un **profit** (grande série, pièce importante, ...).

Dans la perspective d'améliorer les performances de l'outil et les coûts d'usinage, il faut toujours travailler avec l'**avance et la profondeur de coupe maximales** (compatibles avec la pièce à usiner, le déroulement du copeau, la résistance de l'outil, la rigidité de l'ensemble machine/porte-pièce et la puissance disponible).

Pour les opérations d'usinage où l'aspect précision dimensionnelle et état de surface n'est pas la condition principale, le choix des conditions de coupe (V , t , a) peut être optimisé pour rechercher soit :

- **une production maximale** indépendante des coûts ;
- **un coût minimal**, indépendamment des temps ;
- **un profit maximal**, en tenant compte des temps et des coûts.

Cette recherche fait appel à des modèles mathématiques introduisant les lois d'usure des outils (*loi de Taylor simplifiée*) en fonction des temps de coupe.

L'**optimisation** de ces modèles permet, pour une opération d'usinage déterminée, et selon l'objectif recherché de minimiser, soit :

- **le temps** (*production maximale*) ;
- **le coût** (*coût minimal*) ;
- **le coût et le temps** (*profit maximal*).

2. TEMPS UNITAIRE « T_u »

Le temps de fabrication unitaire T_u d'une pièce d'une série de N pièces comprend :

- **temps de préparation** : T_s / N .
- la somme des temps : $\Sigma(T_m + T_{tm} + T_t)$,
- les temps de changement d'outils : $\Sigma(T_{mo} \cdot n_{co} / N)$

T_s, T_m, T_{tm}, T_t : sont des temps d'exécution,

N : le nombre de pièces de la série,

T_{mo} : le temps d'arrêt de la machine pour changer l'outil et éventuellement l'affûter,

n_{co} : le nombre de changement d'outil pour exécuter la même opération d'usinage.

En remplaçant T_t par L_c / V_f et n_{co} , par $[(N \times T_t / T) - 1]$ soit :

$$\frac{n_{co}}{N} = \frac{T_t}{T} - \frac{1}{N}$$

où T représente la durée de vie de l'arête de coupe de l'outil.

L'expression de T_u devient :

$$T_u = \frac{T_s}{N} + \Sigma \left(\frac{L_c}{V_f} + T_{tm} + T_m \right) + \Sigma T_{mo} \left(\frac{T_t}{T} - \frac{1}{N} \right)$$

T_u en min ; L_c en mm ; V_f en mm/min et tous les temps en minutes.

3. PRODUCTION AU TEMPS MINIMAL

3.1 Généralités.

La loi de Taylor est généralement appliquée lors d'une opération d'usinage à vitesse, avance et profondeur de passe constantes. Les modèles mathématiques qui vont suivre concernent donc l'exécution d'un **pas de chariotage** sur tour (fig. 1).

3.2 Temps unitaire d'une passe d'usinage.

La loi de Taylor $V \cdot T^{-1/K} = C$ peut se mettre sous la forme :

$$V^{-K} \cdot T = C^{-K} \quad \text{ou encore} \quad T = C^{-K} / V^{-K} \quad (1)$$

Pour une opération de chariotage, la vitesse d'avance est :

$$V_f = \frac{V \cdot f \cdot 1000}{\pi D} \text{ en mm/min.} \quad (2)$$

En regroupant les temps T_s/N , T_m et T_{tm} et en remplaçant T et V_f par les formules (1) et (2), l'expression du temps unitaire devient :

$$T_u = \left(\frac{T_s}{N} + T_{tm} + T_m \right) + \left(\frac{L_c \cdot \lambda^x \cdot D}{1000 \cdot f \cdot V} \right) + \left[\left(\frac{L_c \cdot \lambda^x \cdot D V^{-K-1}}{1000 \cdot f \cdot C^{-K}} \right) - \frac{1}{N} \right] \cdot T_{mo} \quad (3)$$

avec V en **m/min** et D en **mm** (voir fig. 2).

3.3 Temps par pièce imputable à la préparation et aux temps hors coupe.

$$T_1 = (T_s/N) + T_{tm} + T_m \quad (4)$$

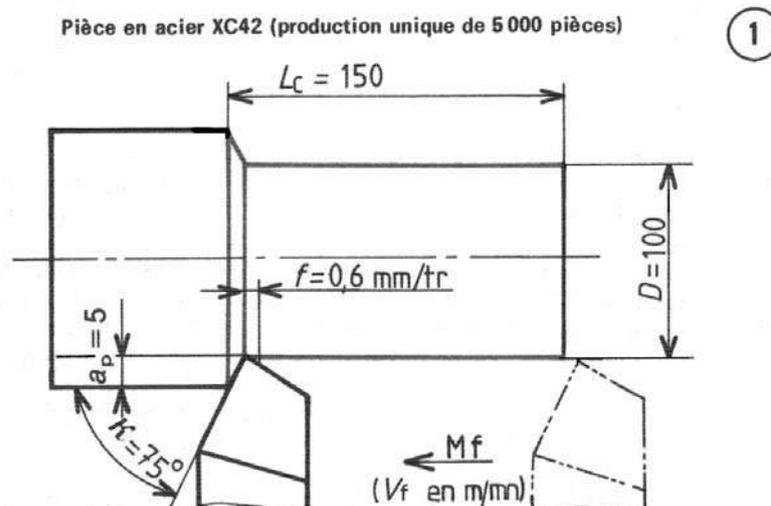
Le temps T_1 est indépendant de la vitesse de coupe et de l'avance par tour.

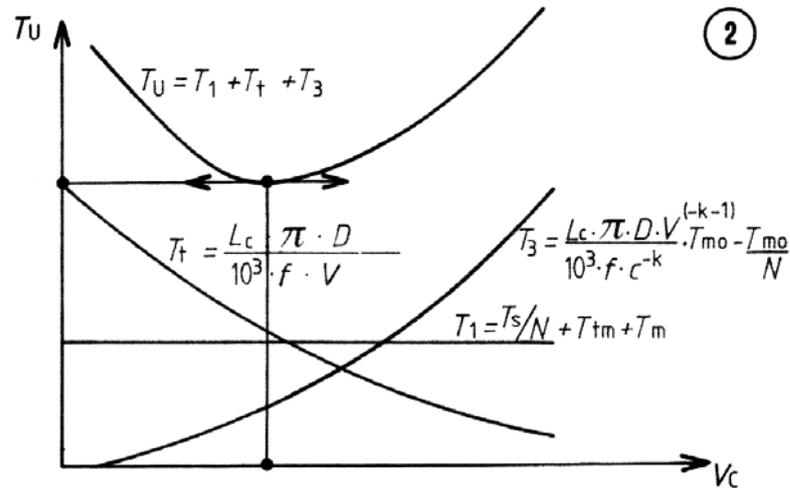
3.4 Temps de coupe (T_t).

$$T_t = \left(\frac{L_c \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot f \cdot V} \right) \quad (5)$$

3.5 Temps par pièce imputable au changement de l'outil.

$$T_2 = \left(\frac{L_c \cdot \pi \cdot D \cdot V^{-K-1}}{1000 \cdot f \cdot C^{-K}} \right) \cdot T_{mo} - \left(\frac{T_{mo}}{N} \right) \quad (6)$$





4. TEMPS MINIMAL

Pour des conditions de coupe choisies (f , a) les plus grandes possibles, et compte tenu des limitations de puissance et de rigidité de l'ensemble machine-outil-pièce, l'optimisation de la valeur du temps T_u de l'expression (3) se détermine en cherchant la valeur de V qui rend minimale la valeur du temps.

C'est la valeur qui annule la dérivée de l'expression du temps T_u par rapport à V .

$$\frac{dT_u}{dV} = -\frac{L_c \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot V^2 \cdot f} + (-K-1) \cdot \frac{L_c \cdot \pi \cdot D \cdot V^{-K-2}}{1000 \cdot f \cdot (C^{-K})} \cdot T_{mo}$$

$\frac{dT_u}{dV} = 0$ et le temps est minimal pour une valeur de V égale à :

$$V_{(temps\ mini)} = \sqrt[-K]{\frac{C^{-K}}{(-K-1)T_{mo}}}, \quad (7)$$

soit une valeur de T égale à :

$$T_{(min)} = (-K-1) \cdot T_{mo} \quad (8)$$

Chapitre 2

Les coûts de production : coût horaire machine

1. COUT DE FABRICATION

Les éléments qui interviennent dans la détermination du coût de fabrication C , d'une pièce, se décomposent en :

- **frais fixes,**
- **frais machines,**
- **frais outils coupants.**

1.1 Frais fixes.

Ils sont fonction du temps passé à la préparation des pièces en vue de leur fabrication.

Ils se décomposent en :

- frais matières premières,
- frais de lancement (*commande, planning, stockage, manutention*),
- frais de préparation des machines et des outils,
- frais d'études (*conception du produit, dossier de fabrication*),
- frais de construction des matériels spéciaux (*montage porte-pièces, gabarits, etc.*).

1.2 Frais machines.

Ils sont fonction du temps passé à l'exécution des pièces et du coût horaire des machines outils utilisées.

Le coût horaire machine fait intervenir :

- **l'amortissement technique (A) :**

$$A = \frac{P}{H} \cdot N_a \quad (9)$$

P : valeur actualisée de l'installation à l'état neuf, avec les équipements.

N_a : nombre d'années d'amortissement (de 5 à 10 ans).

H : nombre d'heures effectives d'utilisation de la machine par an.

- **les frais financiers (F) :**

$$F = \frac{P \cdot i \%}{2 \cdot H} \quad (10)$$

i % : taux d'intérêt de placement du capital investi, de 8 à 20 % à amortissement linéaire.

- les frais d'entretien et de réparation (R) :

$$R = \frac{P \cdot q\%}{H} \quad (11)$$

q % quote-part d'entretien annuel, de 3 à 8 % selon la complexité de la machine.

- les frais de locaux ou d'encombrement (L) :

$$L = \frac{I \cdot S_u}{H} \quad (12)$$

I : prix du loyer au m^2 , (éclairage, chauffage, aire de dégagement...);

S_u : aire occupée par le poste de travail (machine, équipement, stock de pièces...).

- les frais d'énergie (E) :

$$E = e \cdot f_N(\%) \cdot N_n \quad (13)$$

e : prix du kWh ;

f_N : facteur de puissance de 20 à 60 % suivant le type de fabrication ;

N_n : puissance nominale installée.

- les charges salariales et sociales (S) :

$$S = [s_o + (f \% \cdot s_e)] f_g \% \quad (14)$$

s_o : salaire horaire de l'ouvrier ;

s_e : salaire de l'encadrement ;

f % : pourcentage d'utilisation de la maîtrise, par la machine ;

f_g % : pourcentage des frais généraux sur le salaire, de 160 à 220 % selon les entreprises et les régions.

Valeur du coût horaire machine (C_m) :

$$C_m = A + F + R + L + E + S \quad (15)$$

1.3 Frais outils-coupants.

Les frais outils-coupants (C_s) sont fonction du :

- **coût de l'arête de coupe**, pour une durée de vie choisie :

$$C_{out} = \frac{P_o}{n_u} \quad (16)$$

P_o : prix global de l'outil neuf ;

n_u : nombre d'affûtage + 1, ou nombre d'utilisations.

- **coût d'affûtage (C_{af})** :

$$C_{af} = A_{af} + \frac{T_{af} (n_{a-1})}{n_{af}} \quad (17)$$

A_{af} : taux de la section d'affûtage par heure ;

T_{af} : temps d'affûtage (heures) ;

n_{a-1} : nombre d'affûtages.

- **coût de changement d'outil (C_{cha})** :

$$C_{cha} = C_m \cdot T_{cha} \quad (18)$$

C_m : coût horaire de la machine ;

T_{cha} : temps de changement d'outil (heures).

2. APPLICATION

Soit à évaluer le coût horaire d'un tour à commande numérique d'une puissance installée de 28 kW. La valeur d'achat de l'installation neuve, qui comprend :

- l'achat et l'installation de la machine,
- les équipements particuliers (électriques, manutention...),
- la formation du personnel,

a coûté 700000 F, en 1978.

- **Estimation des paramètres.**

P : valeur d'achat de l'installation (*multipliée par le coefficient d'indexation entre l'année d'achat, 1978 et l'année d'évaluation*).

H : est calculé pour 173 heures par mois (*base de 40 heures*), 11 mois par an, deux équipes de travail et avec un taux moyen d'utilisation de 75 %.

On a : $P = 7 \cdot 10^5 \cdot 1,33 = 9,31 \cdot 10^5 = 931\,000 \text{ F}$

$H = 173 \cdot 11 \cdot 2 \cdot 0,75 = 2854,5 \text{ heures.}$

Taux d'intérêt : $i = 16 \%$

Quote-part d'entretien : $q = 6 \%$

Loyer au m^2 : $l = 150 \text{ F}$

Surface occupée par le poste : $S_u = 20 \text{ m}^2$

Facteur de puissance : $f_N = 60$

Prix du kWh : $e = 0,23 \text{ F}$

Salaire horaire ouvrier : $s_o = 20 \text{ F}$

Utilisation de la maîtrise : $f = 10 \%$

Salaire horaire maîtrise : $s_e = 40 \text{ F}$

Coefficient frais généraux : $f_g = 220 \%$

- **Evaluation du coût horaire.**

Il faut calculer chacun des éléments intervenant dans l'évaluation du coût, en francs.

$$A = (9,31 \cdot 10^5) / (2,8545 \cdot 10^3) = 46,63$$

$$F = (9,31 \cdot 10^5 \cdot 16) / (2,8545 \cdot 2 \cdot 10^5) = 26,09$$

$$R = (9,31 \cdot 10^5 \cdot 6) / (2,8545 \cdot 10^5) = 19,57$$

$$L = (150 \cdot 20) / (2,8545 \cdot 10^3) = 1,05$$

$$E = 0,23 \cdot 28 \cdot 0,6 = 3,86$$

$$S = (20 + 0,1 \cdot 40) \cdot 2,2 = 52,80$$

D'où :

$$C_m = A + F + R + L + E + S = 150 \text{ F}$$

Chapitre 3

Les coûts de production : coût minimal et production maximale

1. PRODUCTION AU COUT MINIMAL

1.1 Coût unitaire.

Le coût, C_u , d'une opération d'usinage est la somme des frais dépendant directement :

- de la préparation, C_p ,
- du temps de coupe, C_T ,
- des temps hors coupe, C_{Tm} ,
- de l'outil de coupe, C_o ,

peut s'exprimer par la relation :

$$C_u = C_p + C_T + C_{Tm} + C_o \quad (19)$$

1.2 Expression des différents coûts d'une passe de chariotage sur tour.

Coût imputable au temps de la préparation (C_p).

$$C_p = \frac{T_s}{N} \cdot \frac{A_p}{60} \quad (20)$$

A_p : taux global d'exploitation de la section préparation, frais généraux et main-d'oeuvre.

Coût imputable au temps de coupe (C_T).

$$C_T = \frac{C_{m1}}{60} \left(\frac{L_c \cdot \pi \cdot D}{10^3 \cdot V \cdot f} \right) \quad (21)$$

Coût imputable aux temps hors coupe (C_{Tm}).

Ce coût est proportionnel aux temps d'approche et de recul de l'outil, aux temps de montage et de démontage de la pièce et à tous les autres temps faisant intervenir l'ouvrier et la machine.

On a :

$$C_{Tm} = \frac{C_{m1}}{60} (\Sigma T_m + \Sigma T_{tm}) \quad (22)$$

Coût Imputable au changement d'outil (C_o).

Il est fonction du coût de l'arête de coupe et du temps global de changement d'outil imputé à la passe d'usinage. Il est exprimé par la relation :

$$C_o = C_s \left(\frac{L_c \cdot \pi \cdot D}{10^3 \cdot f \cdot C^{-K}} \cdot V^{-K-1} - \frac{1}{N} \right) \quad (23)$$

1.3 Expression du coût d'une passe de chariotage (C_u).

En désignant par C_F la somme des coûts fixes C_p , C_{Tm} et C_s/N , l'expression du coût unitaire peut s'exprimer par la relation :

$$C_u = C_F + \left(C_{m1} \cdot \frac{L_c \cdot \pi \cdot D}{6 \cdot 10^4 \cdot f} \cdot \frac{1}{V} \right) + \left(C_s \cdot \frac{L_c \cdot \pi \cdot D}{10^3 \cdot f \cdot C^{-K}} \cdot V^{-K-1} \right) \quad (24)$$

1.4 Expression de la vitesse de coupe permettant l'usinage au coût minimal.

L'optimisation du coût unitaire C_u de l'expression (24) se détermine en cherchant la valeur de V qui rend le coût minimal. C'est la valeur qui annule la dérivée de l'expression du coût unitaire par rapport à la vitesse de coupe V .

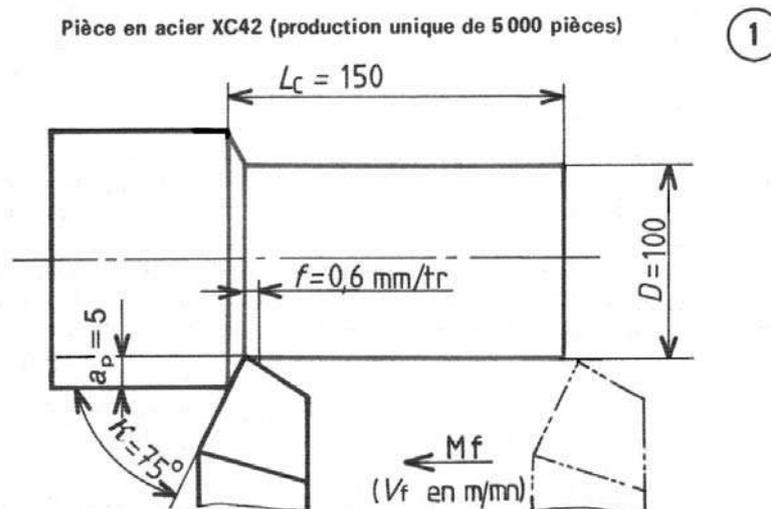
$$\frac{dC_u}{dV} = -\frac{C_{m1}}{60} \cdot \frac{L_c \cdot \pi \cdot D}{10^3 \cdot V^2 \cdot f} + (-K-1) \cdot \frac{L_c \cdot \pi \cdot D \cdot V^{-K-2}}{10^3 \cdot f \cdot C^{-K}} \quad (25)$$

$$V_{(\text{coût mini})} = \sqrt[-K]{\frac{C^{-K} \cdot C_{m1}}{60(-K-1)C_s}} \quad (26)$$

2. APPLICATIONS

Soit à déterminer les vitesses de coupe maximale a pour rechercher :

- une production maximale en quantité,
- une production au coût minimal..., pour l'opération de chariotage réalisée dans les conditions suivantes :



sur tour à commande numérique dont le coût C_{m1} a été calculé et est égal à $150 F$.

Rappels des données : matière XC 42 ; production N = 5000 pièces ; D = 100 ;

$L_c = 150$ f = 0,6 et a = 5.

Les autres données sont les suivantes :

- **Coûts :** $A_{af} = 60$ F (A_{af} - taux de la section d'affûtage par heure) ; $P_o = 60$ F (P_o - prix global de l'outil neuf) ; $A_p = 80$ F (A_p - taux global d'exploitation de la section préparation, frais généraux et main-d'œuvre).
- **Temps :** $T_s = 60$ min ; $T_m = 0,5$ min ; $T_{rm} = 0,1$ min ; $T_{af} = 10$ min ; $T_{mo} = 1$ min
- **Nombre d'utilisation :** $n_u = 11$.

Les valeurs indicatives des conditions de coupe en tournage, permettent de calculer la valeur expérimentale de la constante de Taylor, soit :

$$C = V \cdot T^{(-1/K)} = 130 \cdot 42^{0,2} \approx 278$$

2.1 Production maximale en quantité.

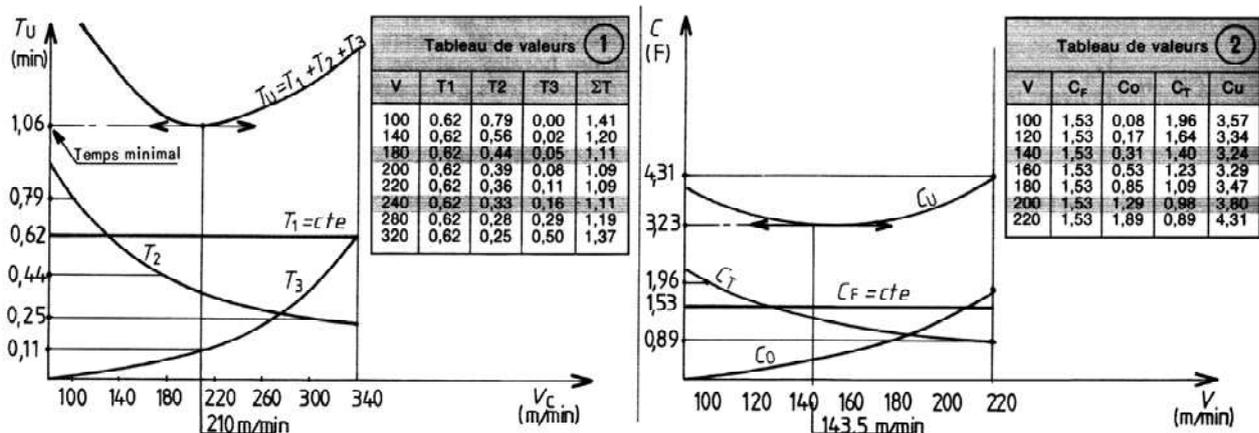
$$V = \sqrt[5]{\frac{278^5}{(5-1) \cdot 1}} \approx 210 \text{ m/min}$$

2.2 Production au coût minimal.

$$V = \sqrt[5]{\frac{278^5}{60(5-1)} \cdot \frac{150}{170,4}} \approx 143,5 \text{ m/min}$$

La figure 1 montre la variation du temps en fonction de la vitesse de coupe.

La figure 2 montre la variation du coût en fonction de la vitesse de coupe.



Chapitre 4

Les temps d'exécution. Définitions

1. GÉNÉRALITÉS

La rémunération du travail tend à ne plus découler directement du temps passé (*à cause de la mensualisation*).

Cependant, la connaissance du temps normal, pour l'exécution d'une tâche, est nécessaire pour :

- **la détermination des prix de revient industriels,**
- **la fixation des normes de production,**
- **l'organisation de la production** (*lancement, enchaînement des phases, nombre de postes de travail, etc.*).

2. PRIX DE REVIENT INDUSTRIEL.

Il est influencé par les principaux éléments suivants :

2.1 Coût des matières premières : ne dépend pas de l'entreprise (*fluctuation des cours mondiaux*).

N.B. : Il faut savoir acheter au bon moment et éviter le gaspillage par surdimensionnement des pièces.

2.2 Frais généraux - Amortissement.

Une bonne gestion permet d'équilibrer les coûts et dépenses.

2.3 Coût de la main-d'oeuvre directe.

L'expression simplifiée du coût est :

$$\text{Coût} = \text{Salaire horaire} \times \text{temps passé (en heures)}$$

Le salaire horaire étant fixé par convention, l'action des techniciens des méthodes doit se concentrer sur la recherche des moyens les plus performants et sur la stabilisation des postes de travail pour réduire le temps passé. Cette action porte sur :

- les moyens mis en oeuvre,
- les outillages mis à disposition,

- les méthodes de travail,
- la réduction du taux d'aléas des ateliers.

Ce qui conduit :

- **à préparer le travail** : choix de la machine la mieux adaptée, des outils et appareillages les plus appropriés, définition du processus et des modes opératoires en précisant les conditions de travail pour en instruire l'exécutant ;
- **à équiper le poste de travail** : pour qu'après stabilisation, l'exécutant soit toujours placé dans les meilleures conditions pour un rendement optimal avec la moindre fatigue.

Dans tous les cas, la connaissance des temps est le résultat de mesurages :

- pour établir le temps alloué → salaire de l'ouvrier,
- ou pour étudier, critiquer, comparer plusieurs modes opératoires et «construire» la meilleure méthode au moment donné dans des conditions données.

3. PRINCIPAUX TYPES DE TEMPS

Le temps d'occupation d'une machine pour la réalisation d'une phase d'usinage, comprend :

- un ou plusieurs temps technologiques : T_t ;
- des temps humains : T_m ;
- des temps technico-humains : T_{tm} ;
- des temps masqués T_z ;
- des temps fréquentiels : T_f ;
- parfois, un ou plusieurs temps d'équilibrage T_e ;
- un temps de préparation T_a .

4. DÉFINITIONS DES TEMPS CLASSES EN FONCTION DE LA NATURE DES ACTIVITES

4.1 Temps technologique : T_t

C'est le temps pendant lequel la machine travaille sans l'aide de l'opérateur. Sa durée dépend uniquement des conditions techniques d'exécution.

Exemple : Recherche des conditions de coupe, réglage de la machine, mise en position de la pièce dans le porte pièce, etc.

Les paramètres de coupe (V_c, f, \dots) étant fixés, la longueur à usiner étant connue, donnent :

$$T_t (mm) = L_c (mm) / V_f (mm/min)$$

4.2 Temps humain : T_m .

C'est le temps correspondant à un travail humain physique ou mental qui dépend uniquement de l'action de l'opérateur.

Dans le cadre d'un travail physique, c'est le temps pendant lequel le travail réalisé résulte uniquement de l'action de l'opérateur aidé ou non d'un moyen inerte.

La détermination des temps humains doit être faite avec prudence et compétence, car ils sont sujets à tous les aléas de la réalisation : interviennent l'habileté et la qualification ouvrière, le degré de stabilisation du poste, la connaissance exacte et le respect du mode opératoire, l'influence de l'environnement, l'ambiance, la monotonie, etc.

Exemple : Recherche des conditions de coupe, réglage de la machine, mise en position de la pièce dans le porte-pièce.

4.3 Temps technico-humain : T_{tm} .

C'est le temps de travail pendant lequel la machine transforme la matière avec l'assistance de l'opérateur.

Exemple : Perçage sans avance automatique, tronçonnage avec avance manuelle, etc.

Cas particulier : temps homme-machine, qui est le temps pendant lequel opérateur et la machine travaillent conjointement.

4.4 Temps fréquentiel : T_f .

C'est le temps correspondant à un travail répété toutes les n unités de production au cours de l'exécution d'une opération.

Exemples : vérifier une pièce sur cinq, approvisionner le poste périodiquement : lot de 50 pièces...

5. TEMPS CLASSE D'APRES SA POSITION RELATIVE DANS LE CYCLE DE TRAVAIL

5.1 Temps masqué : T_z .

C'est le temps d'un travail accompli pendant l'exécution d'un autre travail dont la durée est seule prise en considération.

Exemple : contrôler, ébavurer une pièce pendant l'usinage automatique de la pièce suivante ; ébavurer une pièce dans les mêmes conditions...

5.2 Temps d'équilibrage : T_e .

C'est un temps complémentaire destiné à réaliser la synchronisation de plusieurs cycles.

Envisagé, en particulier pour l'organisation du travail à plusieurs machines taillage d'engrenages, tours automatiques travaillant dans la barre, machines à rectifier Centerless à l'enfilade ...

Cycle. *Suite d'actions comprises dans une période et qui se reproduisent dans un ordre déterminé.*

5.3 Période : P .

Représentée par le temps qui s'écoule entre deux instants successifs pour lesquels les mêmes conditions de travail se retrouvent identiquement à elles-mêmes.

La somme des temps nécessaires à l'accomplissement d'un cycle de travail T_t , T_m , T_{tm} , T_f , donne la période du cycle.

6. TEMPS CLASSES EN FONCTION DE LEUR FREQUENCE

6.1 Temps de préparation : T_s .

*C'est le temps correspondant à des travaux exécutés **une seule fois** par série lancée d'unités de production (temps pour régler la machine ou le poste de travail en vue d'une fabrication de série).*

Exemple : Réglage du porte-pièce, réglage des outils, réglage des butées de fin de course, etc.

Ce temps peut se situer au début et/ou à la fin de la série.

6.2 Temps unitaire : T_u

Temps nécessaire à l'usinage d'un élément appartenant à une série de n éléments.

7. MESURE DES TEMPS

7.1 Unités

Heure, centième d'heure (ch) ou centième de minute (cmin).

$$\begin{array}{l|l} 1 \text{ ch} & = 0,01 \text{ h} \\ 1 \text{ cmin} & = 0,01 \text{ min} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} 1 \text{ ch} & = 0,6 \text{ min} \\ 1 \text{ cmin} & = 0,6 \text{ s} \end{array}$$

7.2 Détermination des temps.

Ils dépendent du facteur humain (T_m , T_{tm} , T_z), et peuvent faire l'objet :

- d'une mesure directe par chronométrage ;
- d'une mesure indirecte par reconstitution à l'aide d'un standard des temps (tableau 1).

7.3 Temps technologiques (T_t).

Ils sont calculés en fonction des paramètres de coupe et des courses de travail des outils.

Il met en évidence la répartition des temps d'occupation de la machine et d'intervention de l'opérateur pendant la durée de la phase (tableau 2).

7.4 Simogramme ou « graphique du cycle de travail ».

Est la représentation graphique des événements simultanés ou successifs dans l'accomplissement d'un travail. Il comporte toujours une échelle des temps écoulés.

Il met en évidence la répartition des temps d'occupation de la machine et d'intervention de l'opérateur pendant la durée de la phase (tableau 2, page 25).

Tableau 1. Extrait d'un dossier de temps élémentaires de manipulations sur une fraiseuse Hernault-Somua type Z 1 C.

PIÈCES	$M \leq 10$ kg	T_m^*	VÉRIFICATION	$*T_m$	
En étau	sans précision plaquée sur cales dégauchie au trusquin	63	Cote au réglet $\pm 0,5$ Cote pied à coulisse Equerrage Au palmer $\pm 0,03$ Au palmer $\pm 0,01$ Au calibre mâchoire Au tampon cylindrique	25	
		87		41	
		178		37	
démonter		23		54	
En diviseur	sans précision contre-pointe fixe centrée à $\pm 0,02$	58		70	
		67		38	
		331		34	
démonter		35	MACHINE		
En circulaire	dans cimblot dégauchie sans tracé centrer $\pm 0,02$	33	BROCHE	2	
		174		Embrayer ou débrayer	10
		239		Changer de fréquence 1 levier	15
brider	1 serrage 2 serrages	47	TABLE	20	
		70		Changer de fréquence 2 leviers	3
démonter	1 serrage 2 serrages	26	Embrayer ou débrayer Av. Lente	2	
		49		Embrayer ou débrayer Av. Rapide	4
Sur table	1 bride 2 brides 3 brides	57	Changer avance 1 levier	5	
		69		Changer avance 2 leviers	10
		100			
démonter	1 bride 2 brides 3 brides	30			
		42			
		64			
En montage dans cimblot 1 écrou	monter démonter nettoyer montage	72	* Temps élémentaires : Les valeurs données, en centièmes de minute, sont des moyennes.		
		69			

8. EXEMPLE DE REDACTION D'UNE FICHE DE CALCUL DE TEMPS (tableau 2, page 25)

Calcul du temps unitaire de réalisation de la sous-phase 22 (fig. ci-dessous).

PHASE N° 20		CONTRAT DE PHASE		MACHINE OU POSTE : FV à cycle pendulaire Z 1 C			
<i>Désignation</i> : Fraisage <i>Sous-phases</i> : 21 et 22			<i>Pièces</i> : Support Qté : 50 <i>Matière</i> : Ft 20 <i>Ensemble</i> : Vérin pneumatique de bridage				
CROQUIS DE PHASE							
<p align="center">Sous-phase 21</p> <p><i>Mise en position, liaison :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • appui-plan sur B₃ (appuis ponctuels souhaités) ; • linéaire rectiligne sur B₄ ; • ponctuelle sur un bout. <p><i>Maintien en position :</i></p> <p>2 actions dans le trou ④.</p>			<p align="center">Sous-phase 22</p> <p><i>Mise en position, liaison :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • appui-plan sur ② ; • linéaire rectiligne sur B₁ (escamotable). • ponctuelle sur B₄. <p><i>Maintien en position :</i></p> <p>2 actions dans le trou ⑥.</p>				
DÉSIGNATION DES SOUS-PHASES ET OPÉRATIONS		OUTILS ET OUTILLAGES		VÉRIFICATEURS		CONDITIONS DE COUPE	
Sous-phase 21							
OP 210	Ébauche E ₂	Fraise à surfacer \varnothing 125. Plaquette carbure k 20.		Pied à coulisse		V = 100 m/min a ≈ 2, f _z = 0,25	
OP 211	Finition F ₂	Idem		Plaquettes « Rugo-test ». Fraisage en bout.		V = 100 m/min a ≈ 0,5, f _z = 0,1	
Sous-phase 22							
OP 220	Finition directe de ⑥	Fraise cylindrique, 2 tailles à cône Morse, \varnothing 32, Z = 5, acier rapide.		Pied à coulisse		V = 25 m/min a ≈ 2,5 ; f _z = 0,1	

Le temps de préparation de la machine en vue de l'usinage de la série de 50 pièces n'entre pas dans ce décompte.

Tableau 2

PIÈCE : support		QUANTITÉ : 50		Fiche de calcul de temps																
SOUS-PHASE : 22		FRAISEUSE : Z 1 C																		
Opérations éléments de travail				Éléments de coupe							T_t	T_{tm}	T_m	T_z						
				V	f	f_z	a	N	F	L										
1	Prendre pièce																			
2	Positionner pièce et serrer (2 brides)																			10
3	Appuyer sur bouton départ cycle																		69	
4	Approche rapide ①																		2	
5	Fraisier 1 côté ②			25	0,1	0,5	2,5	250	2 000	125	150	120								
6	Décalage en avance rapide ③								2 000	117		5,8								
7	Fraisier l'autre côté ④											120								
8	Décalage en avance rapide ⑤								2 000	117		5,8								
9	Dégagement rapide ⑥ et arrêt								2 000	200		10								
10	Desserrer la pièce																		42	
11	Enlever et poser pièce																		10	
12	Nettoyer montage																		30	
13	Contrôler 1 pièce sur 3 en temps masqué																			41
				TOTAUX							271,6		163	41						

Croquis de cycle :

Temps de fabrication d'une pièce :

$$T = T_t + T_{tm}$$

$$T = 271,6 + 163 = 434,6 \text{ c min}$$

Simogramme :

❖ **Calculs des temps technologiques**

D'avance travail

$L = 105 + 6 + 6 + 32 = 149 \text{ mm}$; on arrondit à $L = 150 \text{ mm}$.

$f = f_z \times Z = 0,1 \times 5 = 0,5 \text{ mm/tr}$.

$$N = \frac{V}{\pi \cdot D} = \frac{25\,000}{\pi \cdot 32} \approx 248 \text{ tr / min}$$

La machine possède une fréquence de rotation de 250 tr/min

$F = f \times N = 0,5 \times 250 = 125 \text{ mm/min}$

$$T_t = \frac{150}{125} = 1,2 \text{ min soit } 120 \text{ cmin.}$$

D'avances rapides (tableau 2).

- Courses (1) et (5) ; $L = 200 \text{ mm}$; $F = 2000 \text{ mm/min}$.

$$T_t = \frac{200}{2000} = 0,1 \text{ min soit } 10 \text{ cmin.}$$

- Courses (3) et (6) ; $L = 85 + 32 = 117 \text{ mm}$; $F = 2\,000 \text{ mm/min}$.

$$T_t = \frac{117}{2000} = 0,058 \text{ min soit } 5,8 \text{ cmin.}$$

Chapitre 5

Les temps d'exécution. Méthode des temps prédéterminés

1. PREDETERMINATION DES TEMPS

1.1 Temps élémentaires pré-établis.

Cette méthode consiste à prévoir tous les temps d'exécution humains et technologiques, à l'aide de tables, listes et formules.

Principe des temps élémentaires :

Décomposer le travail à préparer en une suite d'éléments de travail auxquels s'appliquent des temps élémentaires.

L 'élément de travail ou « eltra » est la fraction d'un travail qui regroupe un ensemble d'interventions en suite logique et qui est susceptible de se reproduire identiquement dans d'autres travaux.

Tous les éléments de travail étudiés, stabilisés ont été chronométrés et les temps élémentaires correspondants sont regroupés en tableaux dans des dossiers qu'il suffit de consulter lors d'une étude.

- **Dossier machine** : établi pour une machine donnée, dans des conditions nettement définies et précisées, comprend :
 - les renseignements généraux concernant la machine elle-même puissance, capacité, implantation, équipements;
 - les temps élémentaires relatifs au travail de l'homme;
 - les temps élémentaires en tableaux relatifs au travail de la machine.
- **Dossier machine collectif** : sensiblement identique au précédent, mais concerne toutes les machines semblables entre certaines capacités précisées.
- **Dossier poste** : il n'y a pas de machine-outil, par conséquent figurent seulement les temps élémentaires relatifs au travail de l'homme.
- **Fichiers « Bases Pratiques »** : comprenant pour des activités principales et courantes :
 - des tableaux de temps élémentaires de manipulation,
 - des tableaux de temps machine pour les matières usuelles,
 - des tableaux de temps groupés.

Remarque : *Tous ces documents permettent de simplifier et de faciliter tout le travail de la préparation des tâches. L'observation et l'étude de l'activité des préparateurs, des chronométrateurs et des analyseurs font apparaître l'identité périodique de certaines démarches. Les temps élémentaires pré-établis permettent de « préparer » la préparation.*

Domaines d'application

Le technicien des méthodes par l'esprit et l'imagination, prévoit un mode opératoire basé sur son expérience. S'il n'a rien omis, la somme des temps élémentaires donne un temps possible, assez près de la vérité.

Au niveau d'un devis, la précision est suffisante; pour une application directe aux ateliers, un *chronométrage dit de fixation de tâche* s'impose.

Le technicien des méthodes intervient sur un poste dont le taux d'aléas important justifie la nécessité d'une étude, après un *chronométrage d'observation dit « de diagnostic »*.

Il imagine un nouveau mode opératoire chiffré, et, comme dans le cas précédent, un chronométrage de fixation de tâche confirmera la nouvelle étude.

Il est possible d'imaginer des éléments de travail plus importants regroupant un certain nombre d'eltras donnés dans les tableaux → éléments groupés dont l'utilisation est la même.

D'autres méthodes existent, mais faisant appel aux idées de mouvements de base, les valeurs données sont des temps de mouvements dont l'unité est très faible : 0,00001 heure.

1.2 Standards de temps de mouvements.

En poussant très loin l'étude et la décomposition des mouvements de l'homme en activité, il est apparu la possibilité de classer les gestes dans un nombre limité de catégories caractérisées par une idée de base. (Ils peuvent être reproduits identiquement.)

Trois systèmes sont connus en France : **MTM – QSK – CEGOS**.

❖ MTM — « Méthode Time Measurement ».

Présentation sous forme de tables et tableaux indiquant en premier lieu les mouvements qu'il est facile, possible avec entraînement, difficile sinon impossible de réaliser de manière simultanée.

Ensuite dans des tableaux :

- mouvements des membres supérieurs,
- mouvements visuels,
- mouvements du corps et des membres inférieurs, pour des éléments d'action tels que, par exemple : **atteindre-mouvoir-tourner-saisir-lâcher-etc.**

Les valeurs des temps à accorder à ces micro-mouvements en tenant compte de la distance à parcourir, de l'effort à fournir, de la difficulté, etc.

Ces temps de stème sont exprimés en cent millième **d'heure (cmh)** ou TMU (Time Measurement Unit).

Le technicien spécialiste de cette méthode stémiste, construit par la pensée les gestes professionnels qui sont une succession de ces micro-mouvements; en effectuant la somme des temps de stème, il obtient le temps cherché.

Cette méthode est rigoureuse mais aussi très sévère, les tableaux de temps tenant compte de tous les paramètres, le stémiste construit donc le mode opératoire optimal. L'exécutant doit en être instruit pour éviter toute contestation.

Domaines d'application :

- Détermination des temps de travail, moyennant les précautions signalées, et en tenant compte du fait que les tables donnent souvent des temps pour un niveau d'allure de référence 104 à 108 BTE. Les facteurs de correction D, P et M pour les temps de repos compensateur sont à appliquer.
- La meilleure application du stémage est de le considérer comme un moyen d'étude du travail. En effet, connaissant les mouvements les plus économiques, il faut organiser le poste de travail, créer les appareillages particuliers, implanter le poste pour que l'ouvrier se trouve placé dans les conditions les meilleures de rendement, de fatigue, de sécurité.

Par exemple Mouvoir un objet contre une butée, est plus facile et moins cher que : Mouvoir ce même objet avec précaution jusqu'à un emplacement précis. Le sachant, il suffit de prévoir cette butée.

❖ Q.S.K. ou Work Factor System

Les valeurs des temps de stème sont fonction :

- des membres utilisés (bras, avant-bras, poignet, jambe,...),
- de la distance parcourue par ces membres,
- du nombre de facteurs de travail qui interviennent (contrôle de direction : F ; soin : S ; changement de direction : V ; arrêt déterminé : H ; charge : C).

Les inventeurs de ce système disent que l'exécutant WFS est adroit et laborieux; le niveau d'allure se situe à environ 125 BTE.

❖ CEGOS

Méthode très proche de M.T.M. les valeurs sont assez voisines ; les idées de base sont un peu plus nombreuses, et le travail à une ou deux mains est distingué.

1.3 Cas d'emploi

Les principales utilisations portent sur la détermination, à priori de méthodes de haute efficacité pour des productions nouvelles ; l'amélioration des méthodes de travail existantes ; l'établissement de temps élémentaires ; l'évaluation de temps d'exécution; la conception d'outillages de très grande efficacité ; la conception, formes et spécifications de certains produits, etc.

Chapitre 6

Les temps d'exécution. Les simogrammes

1. SIMOGRAMME

Représentation graphique des événements simultanés ou successifs dans l'accomplissement d'un travail. Il comporte toujours une échelle des temps écoulés.

Cette représentation peut porter sur :

- un seul exécutant travaillant soit manuellement, soit à une ou plusieurs machines,
- plusieurs exécutants à un même poste de travail.

Remarque : En particulier pour le travail exclusivement manuel (montage, assemblage) le simogramme peut être établi pour montrer l'activité des deux mains graphique dit « **main droite, main gauche** » (fig. 1a).

1.1 Activité ou Utilisation ouvrière : UT_m

Il est souvent intéressant de connaître la valeur procentielle de la période pendant laquelle l'ouvrier travaille. La relation générale est la suivante :

$$UT_m = \frac{[\Sigma T_m + \Sigma T_{tm} + \Sigma T_z(\text{Humains})] \times 100}{P}$$

1.2 Utilisation Machine : UT_t

Qui est la valeur procentielle de la période pendant laquelle la machine produit.

Relation générale :

$$UT_t = \frac{(\Sigma T_t + \Sigma T_{tm}) \times 100}{P}$$

Remarque : $UT_t + UT_m > 100 \%$

Les simogrammes constituent une synthèse chiffrée des différents éléments concourant à la réalisation d'un mode opératoire, qui peut être assez compliqué; ils sont particulièrement utilisés dans l'étude du travail, lors d'un « diagnostic » ou de la « mise au point » d'une tâche.

2. TRAVAIL A UNE MACHINE

C'est le cas le plus fréquent (fig. 1c, 2a et 2b).

Il faut remarquer (fig. 2a et 2b) la notion de **temps résiduel** : T_r , qui est le temps d'inactivité correspondant à la différence entre le temps technologique : T_t , et la somme des temps masqués : T_z .

3. TRAVAIL A DEUX MACHINES (fig. 3)

Cette organisation ne peut s'envisager que sous certaines conditions impératives :

- 1° les périodes de chaque cycle doivent être égales ;
- 2° l'utilisation ouvrière sur chaque machine doit être nettement inférieure à 50 % ;
- 3° chaque cycle doit comporter un temps résiduel : T_r supérieur à la somme des temps humains : T_m et technico-humains T_{tm} .
- 4° les machines doivent être implantées, proches l'une de l'autre de façon que l'ouvrier puisse passer aisément de l'une à l'autre.

En effet, pendant le temps résiduel T_r , l'ouvrier doit :

- a) aller d'une machine à l'autre,
- b) effectuer sur la seconde machine, les T_m et T_{tm} de fin de cycle, après le T_r , puis les T_m et T_{tm} de début du cycle suivant ; ensuite :
- c) revenir à la première machine sur laquelle le T_r se termine, effectuer les travaux de fin de cycle, débiter le cycle suivant, puis recommencer : a, b, etc. (voir fig. 3).

Pour satisfaire a) et c) il faut un temps suffisant appelé « **temps de passage** » calculé ainsi :

$$\text{Temps de passage} = \frac{T_r - (\Sigma T_r + \Sigma T_{tm})}{2}$$

Remarque : A la vitesse classique de 5 km/h, sur un parcours sans obstacle, dégagé, bien éclairé..., il faut au moins 2 dmh (dix millièmes d'heure) ou 1,2 cmn (centième de minute) pour parcourir 1 mètre.

Pour la sécurité, chaque machine doit être pourvue d'arrêt automatique, en cas d'aléas toujours possibles.

3.1 Commentaire

Le travail à deux machines est couramment appliqué : un seul ouvrier conduisant 2 tours à copier, 2 tours automatiques à décolleter dans la barre, 2 machines à rectifier Centerless à l'enfilade, etc. , ce qui permet d'approcher de l'utilisation ouvrière à 100 % sous réserve qu'elle comprenne les repos compensateurs normalement accordés à l'ouvrier : D, P, M et A.

Pour une organisation à n machines de périodes et de cycles identiques dont les simogrammes sont très allongés (c'est le cas des machines à tailler les dentures d'engrenages, cannelures et dentelures) il faut pouvoir placer dans le T_r d'une machine, $(n - 1)$ fois la somme des T_m et T_{tm} , ainsi que n fois le temps de passage d'où l'expression :

$$\text{Temps de passage} = \frac{T_r - (n - 1)(\Sigma T_r + \Sigma T_{tm})}{n}$$

3.2 Cas particuliers

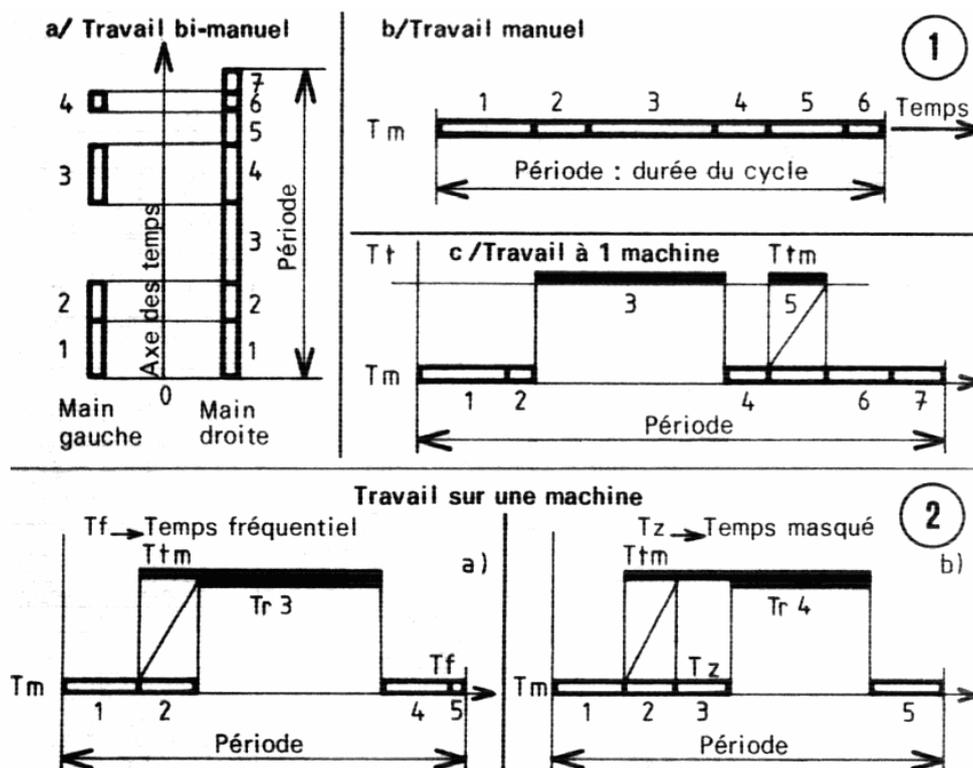
- Les périodes sont différentes, mais ont des valeurs voisines.

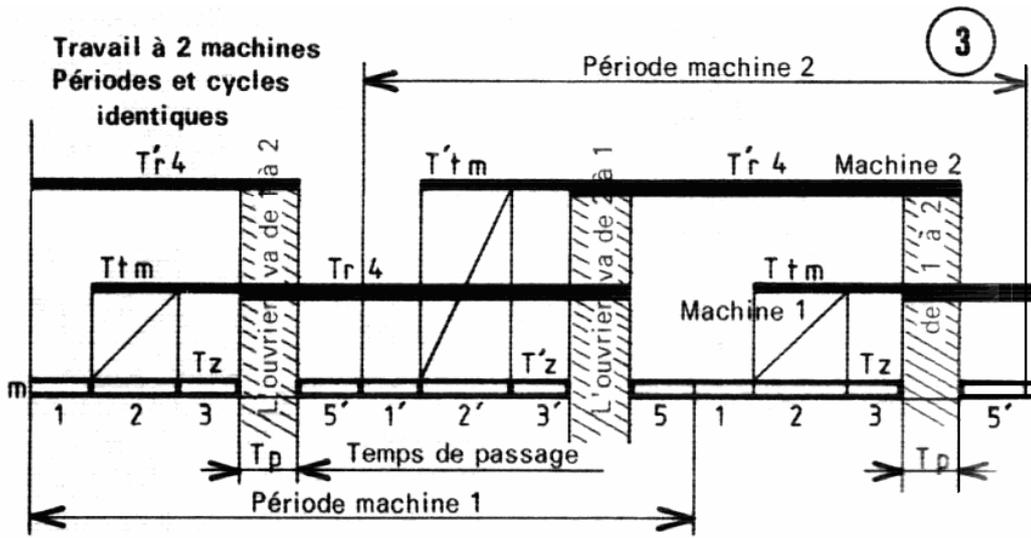
Il est possible d'allonger le cycle le plus court jusqu'à l'égalité : c'est le **Temps d'équilibrage** : T_e . Le temps résiduel plus grand permet d'espérer une usure moindre des outils, les conditions nouvelles étant moins performantes.

Dans une autre alternative : ramener le cycle le plus long à la durée du plus court, conduit à un équilibrage se faisant par une action qui tend vers la performance d'où un choix d'outils de tenue supérieure.

- L'une des périodes est sensiblement : 2, 3,... n fois plus grande que l'autre.

Sous réserve que le T_r de la plus grande période le permette, il est possible de rechercher la synchronisation des 2, 3,... n cycles avec le cycle le plus long. Veiller attentivement aux implantations et aux temps de passage.





Chapitre 7

Calcul des temps de coupe

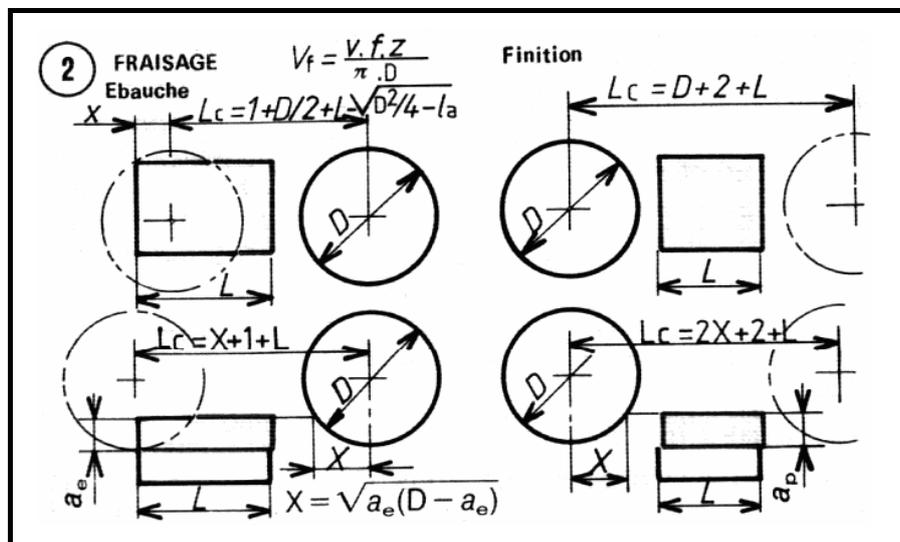
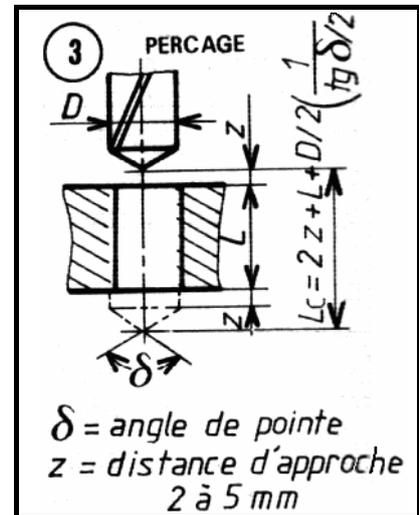
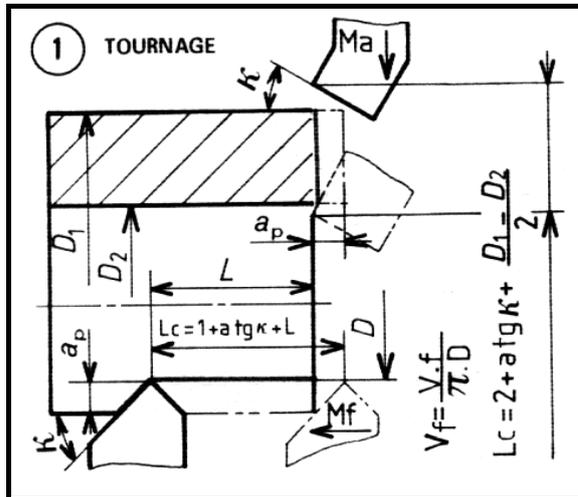
1. TEMPS DE COUPE EN TOURNAGE, FRAISAGE ET PERÇAGE (fig. 1, 2 et 3).

$$T_t = \frac{L_c}{V_f \cdot 10^3}$$

T_t : temps réel de coupe en **minutes** ;

L_c : course totale d'usinage en **mm** ;

V_f : vitesse d'avance en **m/min**.



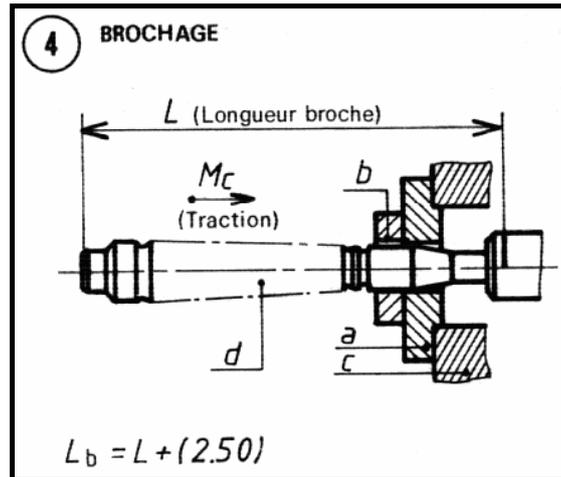
2. TEMPS DE COUPE EN BROCHAGE (fig. 4).

$$T_t = \frac{L_b}{V \cdot 10^3}$$

T_t : temps réel de coupe en **minutes** ;

L_b : course aller de la broche en **mm** ;

V : vitesse de coupe en **m/min**.



3. TEMPS DE COUPE EN TARAUDAGE (fig.5).

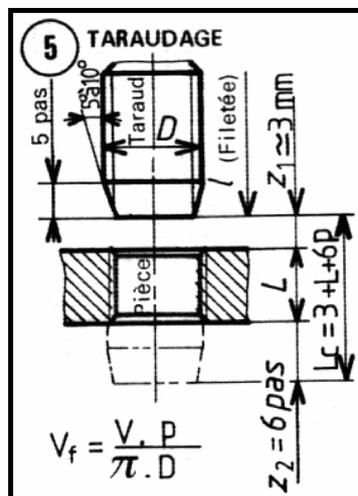
$$T_t = \frac{L_c}{10^3} \left(\frac{1}{V_{fa}} + \frac{1}{V_{fr}} \right)$$

T_t : temps réel de coupe en **minutes** ;

L_c : course totale d'usinage en **mm** ;

V_{fa} : vitesse d'avance aller en **m/min** ;

V_{fr} : vitesse d'avance retour en **m/min**.



4. TEMPS DE COUPE EN RECTIFICATION PLANE

4.1 Meule broche horizontale (fig.6).

$$T_t = n_p \cdot n_c \cdot \frac{L_c}{V_p \cdot 10^3}$$

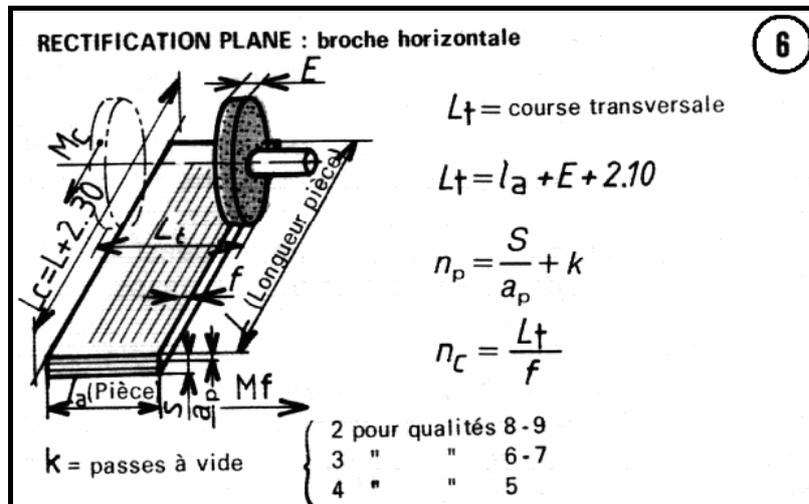
T_t : temps réel de coupe en **minutes** ;

n_p : nombre de passe ;

n_c : nombre de course ;

L_c : course longitudinale de la table en **mm** ;

V_p : vitesse d'avance de la pièce en **m/min**.



4.2 Meule broche verticale (fig.7).

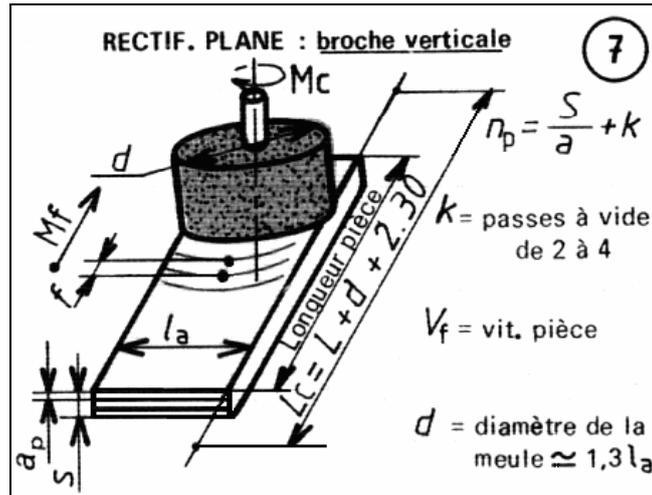
$$T_t = n_p \cdot \frac{L_c}{V_f \cdot 10^3}$$

T_t : temps réel de coupe en **minutes** ;

n_p : nombre de passe ;

L_c : course longitudinale de la table en **mm** ;

V_f : vitesse d'avance en **m/min**.



5. TEMPS DE COUPE EN RECTIFICATION CYLINDRIQUE

5.1 Cylindrique par translation (fig. 8).

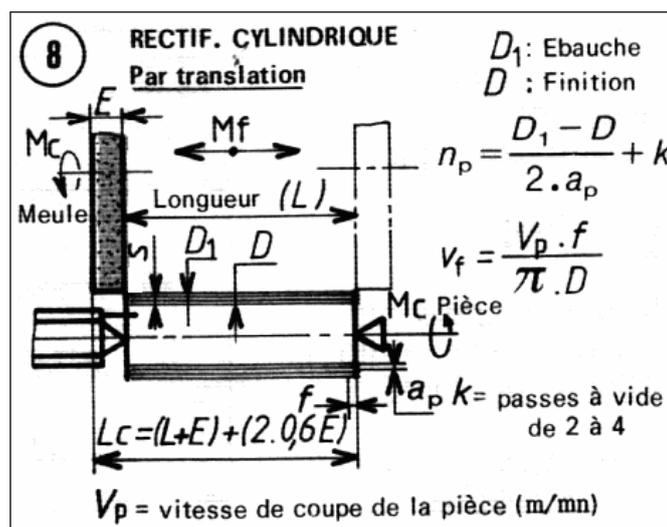
$$T_t = n_p \cdot \frac{L_c}{V_f \cdot 10^3}$$

T_t : temps réel de coupe en **minutes** ;

n_p : nombre de passe ;

L_c : course longitudinale de la table en **mm** ;

V_f : vitesse d'avance en **m/min**.



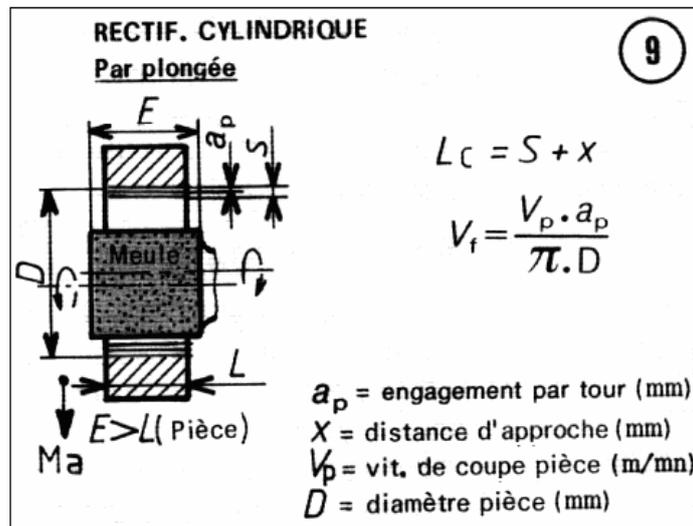
5.2 Cylindrique par plongée (fig. 9).

$$T_t = t_r \cdot \frac{L_c}{V_f \cdot 10^3}$$

T_t : temps réel de coupe en **minutes** ;

L_c : course longitudinale de la table en **mm** ;

V_f : vitesse d'avance en **m/min**.



6. DESIGNATION DES SYMBOLES ET UNITES

L : longueur de la pièce à usiner (**mm**) ;

l_a : largeur de coupe ;

z, x, y : distance d'approche axes **Z, X, Y (mm)** ;

D : diamètre de pièce, de fraise, de foret (**mm**) ;

Z : nombre de dents de la fraise ;

K_r : angle de direction d'arête ;

f : avance par tour, par dent (**mm**) ;

a : engagement (**mm**) ;

n : fréquence de rotation de la pièce, de l'outil (**tr/ min**) ;

E : épaisseur de la meule (**mm**) ;

S : surépaisseur d'usinage (**mm**) ;

t : temporisation de fin de course (**min**).

7. Étude de phase

L'**étude de phase** est une étude détaillée qui consiste à définir avec précision les moyens techniques et économiques à mettre en oeuvre en fonction des résultats à obtenir.

Remarques :

- L'étude de phase complète est relativement longue à établir et ne se justifie que pour des fabrications sérielles importantes. Les entreprises établissent, en fonction de leurs besoins, des études de phases plus ou moins simplifiées. C'est ce qui explique, notamment, la diversité matérielle des présentations et même les appellations données à ces documents.
- Afin de déterminer le temps d'exécution le plus faible entre divers procédés d'usinage, des projets d'études de phase sont parfois réalisés.

❖ Établissement d'une étude de phase

Le document comporte essentiellement :

- la désignation des sous-phases,
- les opérations et les éléments de travail successifs,
- la désignation des outillages et des montages employés,
- les vérificateurs à utiliser,
- les éléments de coupe et les éléments de passe,
- les temps de fabrication,
- le croquis de phase.

Il doit indiquer en outre :

- les références de la pièce (nom et numéro),
- la matière utilisée,
- le nombre de pièces à usiner,
- la désignation de la phase et son numéro,
- la machine utilisée.

Conseils préalables :

1° Prendre connaissance des documents du dossier (dessin de définition, gamme d'usinage, simulation d'usinage, dossier machine).

2° Réaliser à partir de la gamme et de la simulation d'usinage un croquis préparatoire (numéroter les surfaces à usiner, tracer les différentes passes et définir leurs longueurs et leurs profondeurs).

3° Étudier le dossier machine et imaginer les gestes de l'opérateur.

4° Rédiger au crayon, en laissant quelques lignes pour les opérations d'usinage, les opérations élémentaires effectuées par l'opérateur.

5° Choisir, pour chaque opération d'usinage, les éléments de coupe et les éléments de passe :

- vitesse de coupe v_c en mètre par minute (**m/min**),
- avance par tour f en millimètre par tour (**mm/tr**),
- fréquence de rotation n en tours par minute (**tr/min**),
- profondeur de passe a_p en millimètre (**mm**),
- nombre de passes n_p ,
- vitesse d'avance V_f en millimètre par minute (**mm/min**),
- longueur usinée l en millimètre (**mm**),
- longueur totale usinée L en millimètre (**mm**).

6° Déterminer les temps de fabrication.

TEMPS DE FABRICATION					
Temps manuel T_m^*					
C'est la durée d'un travail physique ou mental dépendant uniquement de l'opérateur					
FRAISEUSE			TOURS		
Organes	Mouvement	T_m en cmin	Organes	Mouvement	T_m en cmin
Broche	Embrayer ou débrayer la broche	2	Mandrin 3 mors	Serrer manuellement	40
	Changer fréquence de ta broche (1 levier)	6		Desserrer	30
	Changer fréquence de la broche (2 leviers)	12	Poupée	Embrayer ta marche ayant	2
	Changer fréquence de la broche) 3 leviers)	16		Débrayer	2
	Inverser le sens de rotation	3		Inverser le sens de marche AV et AR	2
Table avance	Embrayer ou débrayer avance lente	3	Chariot longitudinal	Changer la fréquence de broche	2
	Embrayer ou débrayer avance rapide	4		Embrayer	3
	Changer d'avance (1 levier)	5		Débrayer (déclenchement automatique)	2
	Changer d'avance (2 leviers)	10		Changer le mouvement d'avance	2
Table et chariot transversal (déplacement et immobilisation)	Déplacement transversal de 30 mm	10		Bloquer le chariot	2
	Déplacement transversal de 60 mm	15	Changer butée longitudinale (1 cran)	4	
	Déplacement transversal de 90 mm	20	Chariot transversal	Embrayer	3
	Bloquer ou débloquer la table (2 leviers)	6		Débrayer manuellement	2
	Bloquer ou débloquer le chariot (1 levier)	4		Changer le mouvement d'avance	2
	Amener le vernier au repère (table ou chariot transversal)	10		Bloquer la coulisse	2
Montant	Bloquer ou débloquer (2 leviers)	10		Manoeuvrer la coulisse de 50 mm	4
	Descendre le montant de 30 mm	14		Manoeuvrer la coulisse de 100 mm	6
	Descendre le montant de 60 mm	21	Manoeuvrer la coulisse de 150 mm	8	
	Descendre le montant de 90 mm	30	Verrouiller le barillet de butée	-	
	Monter le montant de 30 mm	17	Amener le vernier au repère	10	
	Monter le montant de 60 mm	27	Tourelle carrée	Évoluer 1 face	4
	Monter le montant de 90 mm	37		Evoluer 4 faces	8
	Amener le vernier au repère	15	MESURE-CONTROLE		
TEMPS TECHNO-HUMAIN T_{tm}			Réglet	Mesurer une cote à $\pm 0,5$	25
C'est la durée pendant laquelle le travail dépend de l'action composante et simultanée de l'opérateur et de la machine.			Calibre à coulisse	Mesurer une cote	41
TEMPS MASQUÉ T_z			Micromètre d'extérieur	Mesurer une cote à $\pm 0,03$	54
C'est la durée d'un travail humain ou machine accompli pendant l'exécution d'un travail prédominant				Mesurer une cote à $\pm 0,1$	70
TEMPS SÉRIE T_s			Calibre à mâchoire	Mesurer une cote	38
C'est la durée des opérations nécessaires pour équiper le poste (mise en place du montage porte-pièce, montage et réglage des outils), ainsi que celles intervenant lors du démontage du poste. REMARQUE : Ce temps n'intervient qu'une seule fois pour l'exécution de la série.			Tampon	Contrôler une cote	34
			TEMPS FREQUENTIEL T_f		
			C'est la durée d'un action ou d'un ensemble d'actions qui modifie périodiquement le déroulement du cycle. $T_f = T_{ft} / N$ T_f : temps fréquentiel (cmin/cycle) ; T_{ft} : temps fréquentiel (cmin) ; N : nombre de cycles prévu.		

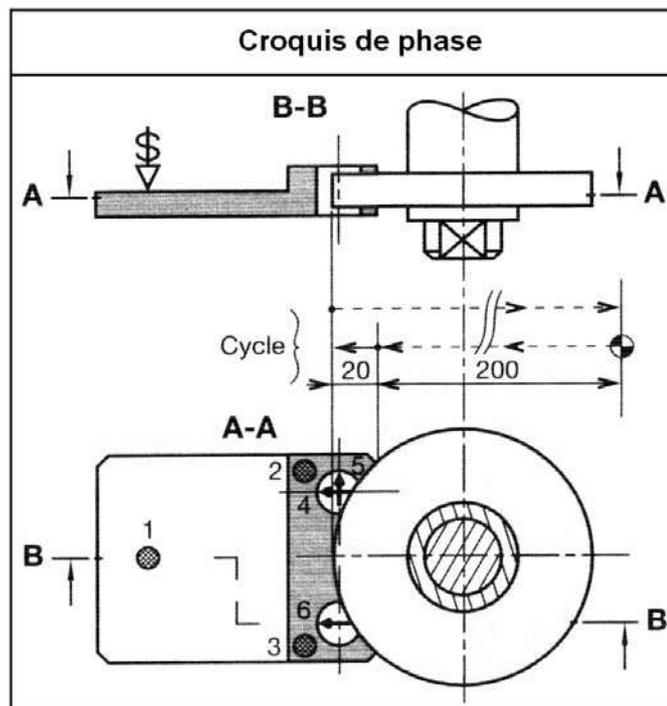
❖ Exemple d'étude de phase : Fraisage d'une rainure

Cette pièce est réalisée en alliage léger 2017 (A-U4G). La quantité prévue est de 200 pièces.

Usinage

La gamme prévoit la reprise en phase 40 pour l'usinage de rainure. La machine sélectionnée est une fraiseuse verticale.

Dessin de phase



- **Temps manuels (T_m).**

Voir tableau page 41.

- **Vitesse de coupe (V_a)**

La vitesse de coupe choisie est de 100 m/min.

- **Fréquence de rotation (n)**

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d_e} = \frac{100 \cdot 1000}{\pi \cdot 80} = 398 \text{ tr / min}$$

L'étude du dossier machine montre que la fréquence de rotation $n = 380$ existe, elle est donc retenue.

- **Avance par dent (f_z)**

L'avance par dent f_z retenue est de 0,1.

- **Vitesse d'avance (V_f)**

$$V_f = f_z \cdot Z_c \cdot n = 0,1 \cdot 8 \cdot 380 = 324 \text{ mm/min}$$

$$Z_c = \frac{Z}{2} = \frac{16}{2} = 8$$

La vitesse la plus proche du dossier machine 315 mm/min.

- **Temps technologique (T_t)**

$$T_t = \frac{L}{V_f} = \frac{20}{315} = 0,063 \text{ min} = 6,3 \text{ cmin}$$

1 min = 100 cmin ; 1 h = 6000 cmin.

- **Représentation graphique du cycle ou sinogramme**

Cette représentation graphique permet la visualisation du cycle. En abscisses porter les valeurs des temps, et en ordonnées les différents types de temps manuels, technologiques...

La durée du cycle est de 190,3 cmin.

Remarque : *Le temps de contrôle par pièce est égal à 120 cmin, il ne peut être masqué (T_z) car trop long. Ce temps est fréquentiel, une seule pièce sur dix est contrôlée, la durée $120 / 10 = 12 \text{ cmin}$ est ajoutée au cycle.*

- **Production horaire**

La production horaire théorique est égale à $60/1,093 = 31,52$ pièces.

La production horaire théorique doit être minorée de 25 % afin que la cadence soit acceptable : $(60 / 1,093) \times (75 / 100) = 23,64 \approx 23$ pièces.

- **Temps série (T_s)**

C'est le temps d'équipement du poste de travail. Il comporte la mise en position et le maintien en position du montage, le montage de l'outil, le réglage l'usinage et e contrôle de la première pièce. Il comporte en outre le temps du déséquipement du poste.

Il est égal a 3/4 d'heure, soit $6\ 000 \times 3/4 = 4500$ cmin.

- **Temps total de production**

$$\text{Temps total} = T_s + [n \times T_u \times (75/100)] = 4\ 500 + [200 \times 190,3 \times (75/100)] = 33045 \text{ cmin.}$$

$$\text{Temps total} = 33045 / 6000 = 5,50 \text{ h.}$$

ÉTUDE DE PHASE – FRAISAGE														
Pièce : Montant AR Matière : 2017 (A-U4G) Nombre : 200			Phase : fraisage Numéro : 40 Machine : F.V.			ÉTUDE DE PHASE		Date : Nom : Folio : 1/1						
N°	Désignation des opérations et éléments de travail	Outillages Montages d'usinage	Vérificateurs	Éléments de coupe			Éléments de passe			Temps en c/min*				
				V_c	f_z	n	a_p	n_p	V_f	L	T_t	T_{tm}	T_m	T_z^{**}
1	Prendre pièce	Montage F40 Fraise 3 tailles Ø 80 - Z 16 W.Mo.V.Ca (Acier rapide)	Montage de contrôle									8		
2	Mettre en position pièce													14
3	Maintenir en position pièce													20
4	Fermer le carter de sécurité													8
5	Mise en rotation broche					100	380							2
6	Embrayer avance rapide													4
7	Approche rapide								2000	200		10		
8	Embrayer avance travail													9
9	Usinage rainure					100	0,1	380	10	1	315	20	6,3	
10	Embrayer retour rapide													4
11	Retour rapide									2000	220		11	
12	Arrêt rotation broche													2
13	Ouvrir le carter de sécurité													8
14	Démonter pièce													35
15	Poser pièce sur desserte													8
16	Nettoyer le montage													35
17	Contrôler** pièce (F = 1/10)													12

Représentation graphique du cycle. Éch. : 1 mm représente 2,56 min			Tt : temps technologique	Totaux	6,3	21	163	
			Tm : temps manuel	Ts : temps série				4 500
			Ttm : temps techno-manuel	Temps pour 200 pièces				5,50 h
			Tz : temps masqué					

Schéma d'implantation du poste de travail	Croquis de phase

* 1 c/min = 1 min/100 = 0,6 s.

** Lorsque cela est possible, le contrôle est fait en temps marqué Tz, ce n'est pas le cas dans cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

* BUTIN, R., PINOT, M., FABRICATION MECANIQUE – TECHNOLOGIE, Les Editions Foucher, Paris.

* SCHOEFS, FOURNIER, LEON (DELAGRAVE) – PRODUCTIQUE MECANIQUE.