

CHAPITRE 05

ETABLISSEMENT D'UN PROCESSUS COMPLET DE FABRICATION D'UN PRODUIT ET CONCEPTION DES GAMMES D'USINAGE

5.1. Introduction

La rédaction d'un projet de gamme est, dans un premier temps, l'objectif à atteindre.

L'élaboration complète de la gamme (étude détaillée des phases, description des outillages, détermination des temps, etc.) est réalisée dans un deuxième temps.

L'élaboration d'un projet de gamme nécessite l'analyse et la compréhension de toutes les exigences du dessin de définition, leur traduction en langage technique de réalisation (par comparaison avec les possibilités des moyens existants), puis la mise au point d'un ordre d'intervention des moyens retenus.

L'ordonnancement des interventions est imposé par un certain nombre de contraintes d'antériorité qui définissent l'ordre de réalisation des surfaces.

La méthodologie développée dans ce chapitre, permet de conduire ce travail d'analyse puis de synthèse avec ordre et logique.

5.2. Méthodologie

L'élaboration d'un processus d'usinage, pour une pièce donnée, consiste à organiser une Suite logique et chronologique de toutes les opérations et groupements d'opérations nécessaires et suffisants à sa réalisation. Cette organisation est établie en tenant compte :

- d'un contrat dimensionnel (dessin de définition),
- des limites techniques et technologiques des moyens pouvant être mis en œuvre,
- des contraintes d'antériorité mécaniques, physiques ou technologiques,
- du programme de production,
- du budget prévisionnel,
- des moyens humains disponibles.

La méthodologie utilisée conduit à :

- recenser et repérer les surfaces usinées de la pièce,
- établir un graphe ordonné défini par les liaisons dimensionnelles, entre les surfaces,
- analyser et coder les opérations successives à réaliser sur les surfaces élémentaires,

- associer ou grouper les opérations élémentaires,
- définir un processus d'usinage et rédiger un projet de gamme.

5.3. Exemple d'élaboration d'un processus d'usinage

Soit le dessin de définition d'une pièce : chape-support (figure 5.1)

Hypothèses relatives à :

La pièce : obtenue par moulage au sable en fonte Ft18. Surépaisseurs d'usinage : 3 mm.

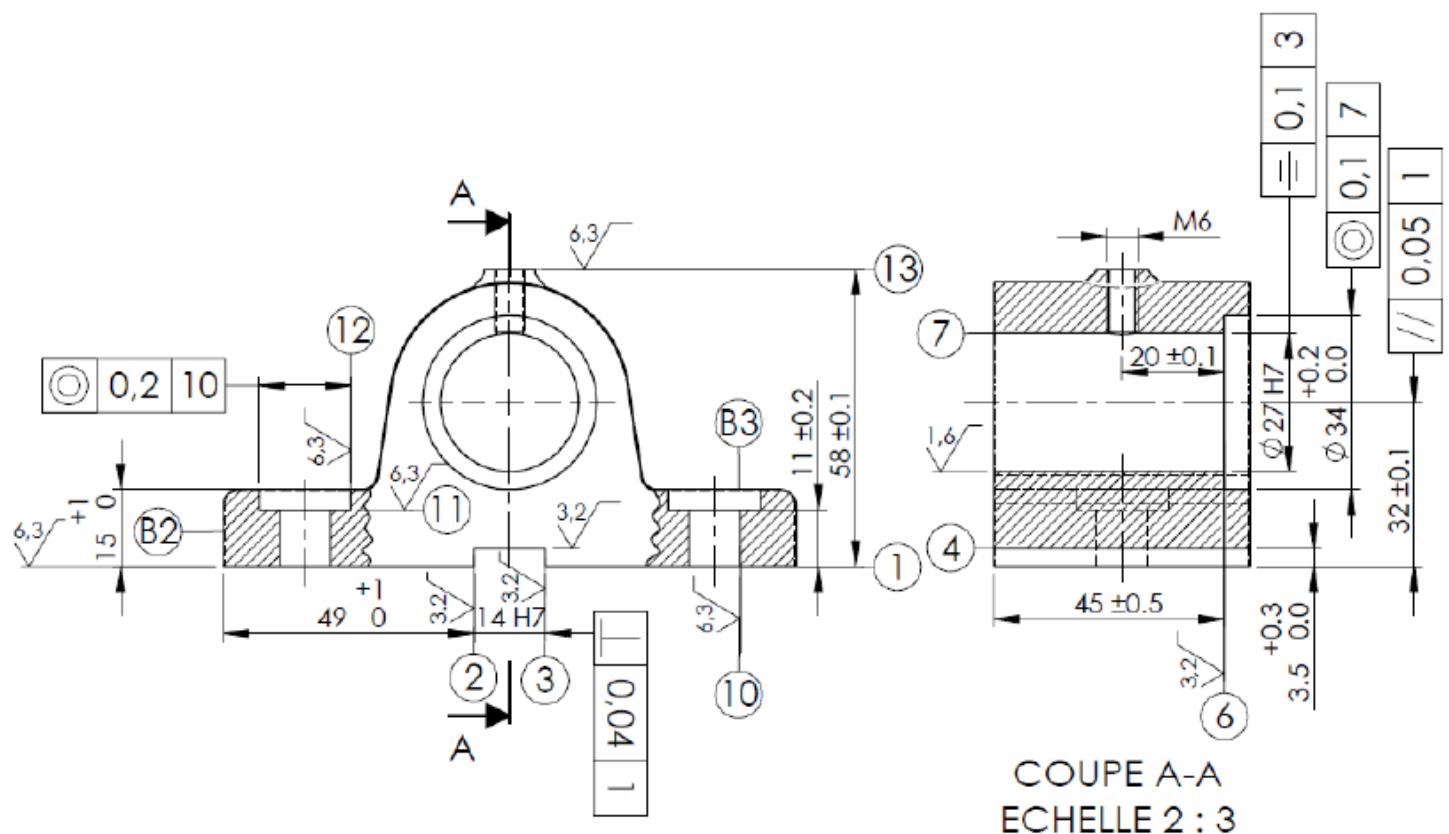
Le diamètre 8 vient à 15 mm et la rainure vient à 14 mm de fonderie.

A la fabrication : besoins mensuels de 400 pièces pendant cinq ans. L'usinage est considéré sériel.

A l'équipement des ateliers : les ateliers sont équipés de M.O pour la fabrication des pièces par moyenne série.

Travail demandé

Rédiger le processus de fabrication de la pièce



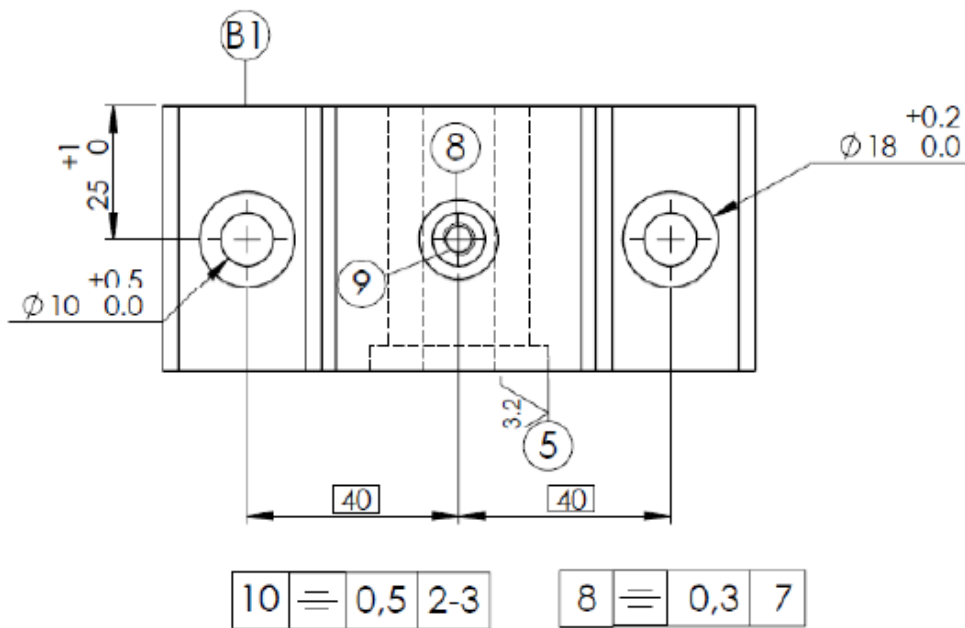


Figure 5.1 : Dessin de définition (chape-support).

5.3. 1. Détermination du nombre des opérations d'usinage selon la qualité et l'état de la surface usinée.

Selon l'écart arithmétique moyen de la rugosité Ra de l'état de la surface usinée, le nombre minimal d'opérations élémentaires est défini comme suit :

$Ra \geq 6.3$: Finition directe, $Ra < 6.3$: Deux cas possibles :

- Qualité 8 et 9 : Ebauche (E) puis finition (F).
- Qualité 6 et 7 : Ebauche (E), demi-finition (F/2) puis finition (F).

Opérations	Spécification								
	Intervalle de tolérance			Qualité			Rugosité		
	$IT \geq 0.5$	$0.05 < IT < 0.5$	$IT \leq 0.05$	11 – 13	8 – 9	6 – 7	$R_a \geq 6.3 \mu m$	$1.6 \mu m < R_a < 6.3 \mu m$	$R_a \leq 1.6 \mu m$
Ebauche									
½ Finition									
Finition									

Tableau 5.1: Nombre d'opérations élémentaires en fonction de la spécification.

Plus la spécification est précise plus le nombre d'opérations élémentaires augmente. Le nombre d'opérations élémentaires est défini en fonction du type de spécification (intervalle de tolérance, qualité ou rugosité).

Pour établir un processus de fabrication d'un produit et concevoir sa gamme d'usinage, il faut d'abord repérer les surfaces brutes et usinées. On repère les surfaces usinées par des chiffres : 1, 2, 3, ... et les surfaces brutes par la lettre B suivi d'indice.

On rédige le tableau des opérations élémentaires (5.3) après avoir faire l'inventaire de toutes les données relatives aux surfaces brutes et usinées à savoir :

- Les cotes de liaison aux autres surfaces usinées ou brutes,
- Les spécifications métrologiques : intervalle de tolérance, tolérances de forme et de position, et indice de rugosité.

Surfaces	Cotes de liaison aux surfaces		Spécifications métrologiques				Opérations élémentaires	Symboles
	Usinées	Brutes	IT	Orientation	Position	$Ra\sqrt{\quad}$		
1		B ₃ - 15 ₀ ⁺¹	1			6,3	Finition directe	1F
2	3 - 14H9	B ₂ - 49 ₀ ⁺¹	H9-1			3,2	Ebauche, Finition	2E,2F
3	2 - 14H9		H9			3,2	Ebauche, Finition	3E,3F
4	1 - 3,5 ₀ ^{+0,3}		0,3			3,2	Ebauche, Finition	4E,4F
5	1 - 32 ^{±0,1}		0,2			3,2	Ebauche, Finition	5E,5F
6		B ₁ - 45 ^{±0,5}	1			3,2	Ebauche, Finition	6E,6F
7	1 - 32 ^{±0,1}		0,2			1,6	Ebauche, ½ Finition, finition	7E,7F/,7F
8						6,3	Finition directe	8F
9	6 - 20 ^{±0,1}		0,2			6,3	Finition directe	9F
10	7 - 40	B ₁ - 25 ₀ ⁺¹	1			6,3	Finition directe	10F
11	1 - 11 ^{±0,2}		0,4			6,3	Finition directe	11F
12	7 - 40	B ₁ - 25 ₀ ⁺¹	1			6,3	Finition directe	12F
13	1 - 58 ^{±0,1}		0,2			6,3	Finition directe	13F

Tableau 5.3: Tableau des opérations élémentaires.

Les surfaces usinées simultanément sont groupées dans le tableau 5.4

Repère groupement	Surfaces groupées	Outils utilisés et motifs du groupement	Symbole
G	2, 3 et 4	Ebauche et finition à l'aide d'une fraise 3 tailles expansible.	GE, GF
G ₁	11 et 12	Finition directe à l'aide d'une fraise à lamer avec pilote ou foret étagé.	G ₁ F

Tableau 5.4: Groupement des surfaces.

5.3. 2. Détermination des antériorités des opérations d'usinage

La détermination des antériorités des opérations d'usinage est liée aux contraintes d'antériorité géométriques, technologiques et économiques. Le Tableau 5.5 récapitule les contraintes d'antériorité des opérations d'usinage du support palier.

Opérations	Contraintes géométriques						Contraintes technologiques			Contraintes économiques	
							Opération	Reprise	Divers	Moindre usinage	Condition de coupe
B ₁											
B ₂											
B ₃											
1F	B ₃										
GE	B ₂ 1F		1F								
GF	B ₂ 1F		1F				GE				
5E	1F			7F							
5F	1F			7F			5E				
6E	B ₁								7E		
6F	B ₁						6E				
7E	1F	1F				GF					
7F/	1F	1F				GF	7E				
7F	1F	1F				GF	7F/		6F		
8F				9F			9F				
9F	6F					7F					
10F	B ₁ 7F					GF					
G ₁ F	B ₁ 1F, 7F			10F			10F				
13F	1F						9F				

Tableau 5.5: Contraintes d'antériorité.

5.3. 3. Méthode matricielle d'établissement de l'ordre d'usinage

Il s'agit d'une méthode matricielle qui permet de rédiger le tableau des niveaux. Le tableau des niveaux est carré ; il possède en entrées et en sorties toutes les opérations élémentaires fixées sur le tableau des antériorités (tableau 5.6).

Entrées

Niveaux

	B ₁	B ₂	B ₃	1F	GE	GF	5E	5F	6E	6F	7E	7F/	7F	8F	9F	10F	G ₁ F	13F		Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B ₁																				0									
B ₂																				0									
B ₃																				0									
1F			1																	1	0								
GE		1		1																2	1	0							
GF		1		1	1															3	2	1	0						
5E				1									1							2	2	1	1	1	1	1	1	0	
5F				1			1						1							3	3	2	2	2	2	2	2	1	0
6E	1										1									2	1	1	1	1	0				
6F	1									1										2	1	1	1	1	1	0			
7E				1		1														2	2	1	1	0					
7F/				1		1					1									3	3	2	2	1	0				
7F				1		1					1		1							4	4	3	3	2	2	1	0		
8F															1					1	1	1	1	1	1	1	1	0	
9F											1									2	2	2	2	2	2	2	1	0	
10F	1					1							1							3	2	2	2	1	1	1	1	0	
G ₁ F	1			1									1			1				4	3	2	2	2	2	2	2	1	0
13F				1											1					2	2	1	1	1	1	1	1	1	0
																				B ₁	1F	GE	GF	7E	7F/	6F	7F	5E	5F-8F
																				B ₂					6E			9F	G ₁ F
																				B ₃								10F	13F

Niveaux d'exécutions									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B ₁	1F	GE	GF	7E	6E-7F/	6F	7F	5E	5F-8F
B ₂								9F	G ₁ F
B ₃								10F	13F

Tableau 5.6: Méthode matricielle d'établissement d'ordre d'usinage (Niveaux d'exécution).

5.3. 4. Regroupement des opérations d'usinage en phase et sous phase

On place horizontalement les niveaux d'exécutions et en ordonnant les opérations élémentaires tel qu'on a sur la Figure 5.3. Sur cette matrice, on place les éléments de la matrice en conformité au tableau des niveaux d'exécutions. Puis, on regroupe les opérations élémentaires en phase et sous phase en fonction des contraintes et conditions économiques (machines, outillages et appareillage). Après le regroupement, on présente le processus de fabrication (tableau 5.7).

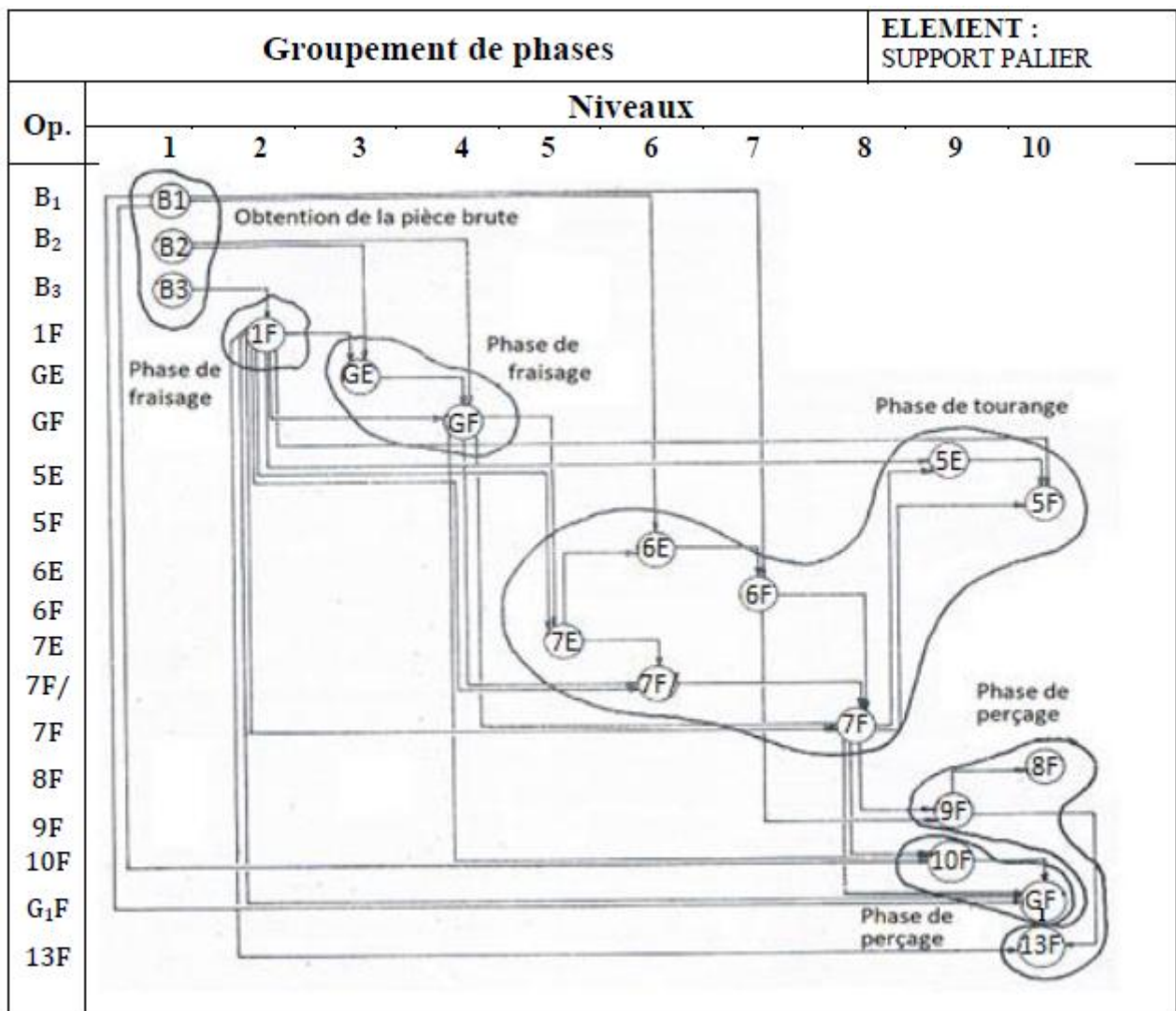


Figure 5.7: Regroupement des opérations d'usinage en phases.

5.3.5. Projet de gamme d'usinage.

D'après le regroupement des phases, **le processus de fabrication** sera :

Phase 100 : **Contrôle du brut**

Phase 200 Fraisage : **1F**

Phase 300 Fraisage : **GE-GF**

Phase 400 Tournage : **7E-5E-6E-5F-6F-7F/-7F**

Phase 500 Perçage : **10F-G₁F**

Phase 600 Perçage : **9F-13F- 8F**

Phase 700 : **Contrôle final du produit**

5.4. Feuilles d'analyse de fabrication

Les feuilles d'analyse de fabrication est comme suit :

Ensemble :		Nombre : 500	FEUILLE D'ANALYSE DE FABRICATION Folio 1/3	
Organe :		Matière : Ft 18		
Elément : Support palier		Brut : de fonderie		
N° Phases	Désignation des phases, sous phases & opérations	Machine utilisée	Appareillages outils-coupants Vérificateurs	Croquis et ordonnancement isostatisme
100	CONTRÔLE DU BRUT Vérifier cotes et spécifications	Atelier Contrôle	Appareillages	D'après le plan de fonderie, vérifier si le brut est capable de contenir la pièce
200	FRAISAGE 1 pièce au montage Référentiel de départ défini par: Appui plan sur (B3) en 3N (1-2-3) Appui linéaire sur (B1) en 2N (4-5) Appui ponctuel sur (B2) en 1N (6) serrage opposé aux appuis 201: Surfacier en finition (1) $C_m = 15 \begin{smallmatrix} +1 \\ 0 \end{smallmatrix}$ Rugosité: $\sqrt{6,3}$	FV	Montage F200 avec touche de réglage Fraise $\varnothing 140$ à plaquettes rap en carbure K10 CMD $15 \begin{smallmatrix} +1 \\ 0 \end{smallmatrix}$ Pâc Rugotest	
300	FRAISAGE 1 pièce au montage Référentiel de départ défini par: Appui plan sur (1) en 3N (1-2-3) Appui linéaire sur (B2) en 2N (4-5) Appui ponctuel sur (B1) en 1N (6) serrage opposé aux appuis 301: Rainurer en ébauche (2), (3) et (4) $C_m = 49 \begin{smallmatrix} +1 \\ 0 \end{smallmatrix}$ $C_m = 3 \begin{smallmatrix} +0,3 \\ 0 \end{smallmatrix}$ $C_o = 13,7 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,2 \end{smallmatrix}$ 302: Rainurer en finition (2), (3) et (4) $C_m = 49 \begin{smallmatrix} +1 \\ 0 \end{smallmatrix}$ $C_m = 3,5 \begin{smallmatrix} +0,3 \\ 0 \end{smallmatrix}$ $C_o = 14 H9$ Rugosité: $\sqrt{3,2}$	FH	Montage F300 Montage plafond Fraise 3T expansible ep.14 $\varnothing 120$ en ARS CMD $49 \begin{smallmatrix} +1 \\ 0 \end{smallmatrix}$ Jauge plate double 14 H9 jauge de profondeur $3,5 \begin{smallmatrix} +0,3 \\ 0 \end{smallmatrix}$ Rugotest	

N° Phases	Désignation des phases, sous phases & opérations	Machine utilisée	Appareillages outils-coupants Vérificateurs	Croquis et ordonnancement isostatisme	Folio 2/3
400	ALESAGE 1 pièce au montage Référentiel défini par: Appui plan sur ① en 3N (1-2-3) Appui linéaire sur ③ en 2N (4-5) Appui ponctuel sur ⑥ en 1N (6) serrage opposé aux appuis 401: Aléser en ébauche simultanément ⑤, ⑥ et ⑦ $C_m = 32 \pm 0,1$ $C_m = 45,5$, $2C_m = \phi 33,5$ $^{+0,2}_0$ $2C_m = 26,5$. 402: Aléser en F ⑤, ⑥ et F/ ⑦ $C_m = 45 \pm 0,5$ $C_o = R17$ $^{+0,2}_0$ $2C_m = 26,8$ 403: Aléser en F ⑦, $2C_m = \phi 27 H7$ Rugosité: $\sqrt{1,6}$ $\sqrt{3,2}$	AL.H 1 broche	Montage AL 400 montage sur table avec lardon d'orientation et posit. Barre + 2 gains prérégls à mise en carbure. Barre + 1 gain prérégls à mise en carbure. Barre + 1 grain prérégls à mise en carbure. Rugotest.	TLD: 27H7, TLD: 34, Calibres: $32 \pm 0,1$ et $45 \pm 0,5$ Montage de contrôles fréquentiels de: $\equiv \odot$	
500	PERCAGE 1 pièce au montage Référentiel défini par: Appui plan sur ① en 3N (1-2-3) Appui linéaire sur ③ en 2N (4-5) Appui ponctuel sur ⑥ en 1N (6) serrage opposé aux appui 501: Perçer au montage 2 trous ⑩ $C_m = 25$ $^{+1}_0$, $C_o = \phi 10$ $^{+0,5}_0$ $C_a = 80$ 502: Lamer en finition 2 trous simultanément ⑪ et ⑫ $C_m = 11 \pm 0,2$ $C_o = \phi 18$ $^{+0,2}_0$ $C_a = 80$ Rugosité: $\sqrt{6,3}$ Respect des conditions géométriques	Pe 4 br en ligne MB 2 à 2	Montage P500 avec canons guides de perçage amovibles 2 forets $\phi 10$ en ARS 2 fraises à lamer en ARS $\phi 18$ $^{+0,2}_0$ avec pilote $\phi 10$, $^{+0,5}_0$ TLD: $\phi 10$ $^{+0,2}_0$ et $\phi 18$ $^{+0,2}_0$ Jauge $11 \pm 0,2$ Rugotest. Montage de contrôle fréquentiel $\equiv \odot$	10 $\equiv$ 0,5 2-3	

N° Phases	Désignation des phases, sous phases & opérations	Machine utilisée	Appareillages outils-coupants Vérificateurs	Croquis et ordonnancement isostatisme	Folio 3/3
600	PERCAGE 1 pièce au montage Référentiel défini par: Appui plan sur (1) en 3N (1-2-3) Appui linéaire sur (7) en 2N (4-5) Appui ponctuel sur (6) en 1N (6) serrage opposé aux appuis 601: Perçer en finition (9) Co = 5, Cm = 20 ±0.1 602: Dresser en finition (13) Cm = 58 ±0.1 Rugosité : $\sqrt{6.3}$ 603: Tarauder (8) Co = M6	Pe 3 br en ligne	Montage P600 avec canons guides de perçage amovibles Foret Ø 5 en ARS Fraise Ø20 à plaquettes rap en carbure CoroMill 390 Taraud machine M6 avec appareil à tarauder . CMD : 58 ±0.1 Jauge : 20 ±0.1 ,Rugotest. Montage de contrôle fréquentiel : $\equiv$		
700	CONTRÔLE FINAL 710 Dimensions 720 Spécifications 730 Etats de surfaces	Poste de contrôle			

5.5. Contrat des différentes phases d'usinage

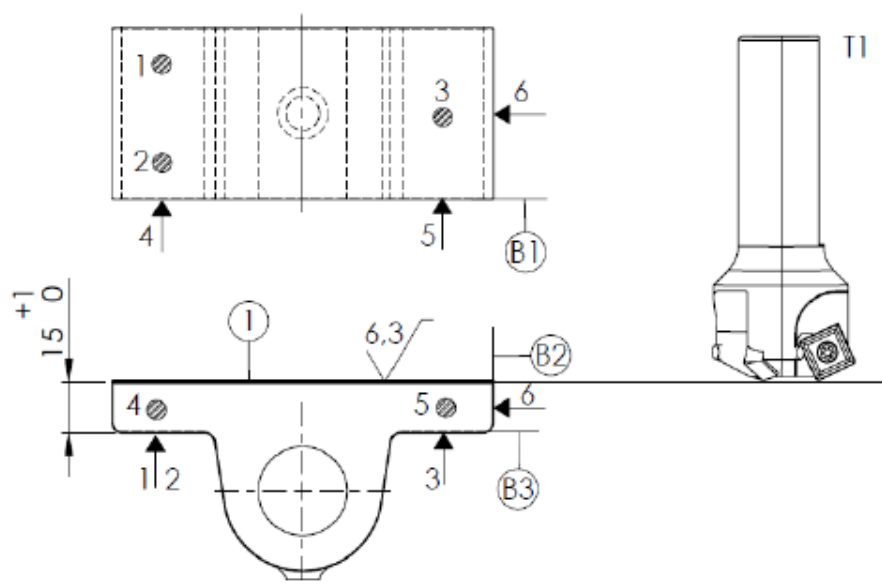
Les contrats de phases 200, 300, 400, 500 et 600 sont donnés dans ce qui suit. La détermination des paramètres de coupe : la vitesse de coupe V_c [m/min], la vitesse d'avance f_z [mm/tr] et la fréquence de rotation N [tr/min] a été faite selon des facteurs, tout en choisissant le matériau à usiner « Fonte dans notre cas », le matériau de l'outil de coupe et le diamètre D de l'outil ou le diamètre à usiner s'il s'agit du tournage, l'opération d'usinage et l'opération élémentaire d'usinage.

$$N = \frac{1000 V_c}{\pi D}$$

Pour le lamage ou chambrage, la fréquence de rotation est prise égale au quart de celle du perçage.

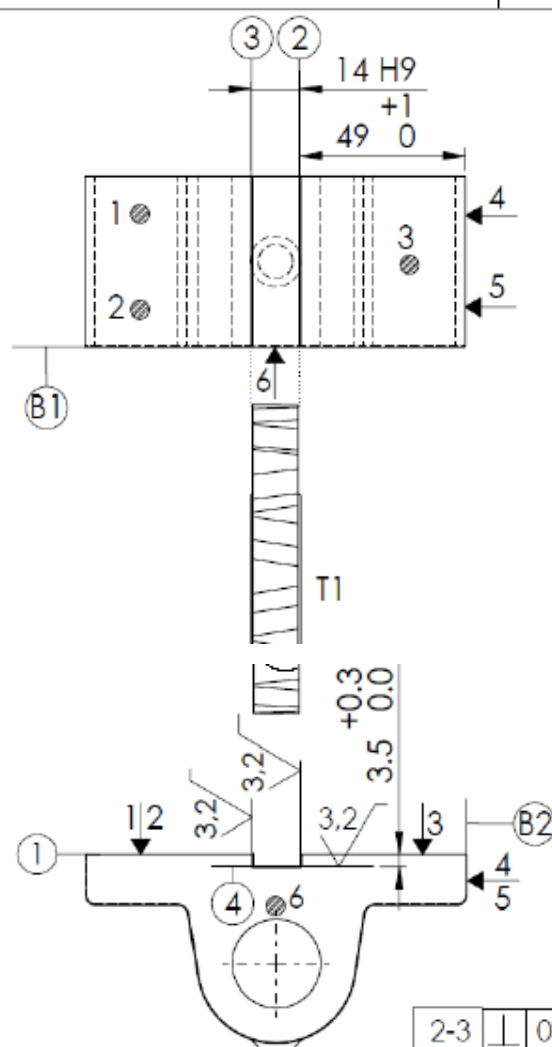
$$N_{\text{Lamage}} = \frac{N_{\text{Perçage}}}{4}$$

Phase : 200	Contrat de phase	Nom :
Ensemble : -		Date :
Pièce : Support palier		Brut :
Matière : Ft20		Atelier :
Nombre : 500		



Opérations			Conditions de coupe						Outillages et vérificateurs	
N°	Rep	Désignation	Vc m/min	a mm/tr	N tr/min	P mm	np	Lub	Outil	Contrôle
201	T1	Surfacier en finition ① $C_m = 15 \begin{smallmatrix} +1 \\ 0 \end{smallmatrix}$ Rugosité: $\sqrt{6.3}$	120	0.059	238	1.3	1	Oul	Fraise Ø 160 à plaquettes rap en carbure K10 (T1)	$CMD \ 15 \begin{smallmatrix} +1 \\ 0 \end{smallmatrix}$ Rugotest.

Phase : 300	Contrat de phase	Nom :
Ensemble : -		Date : 17/10/2019
Pièce : Support palier		Brut :
Matière : F120		Atelier :
Nombre : 500		

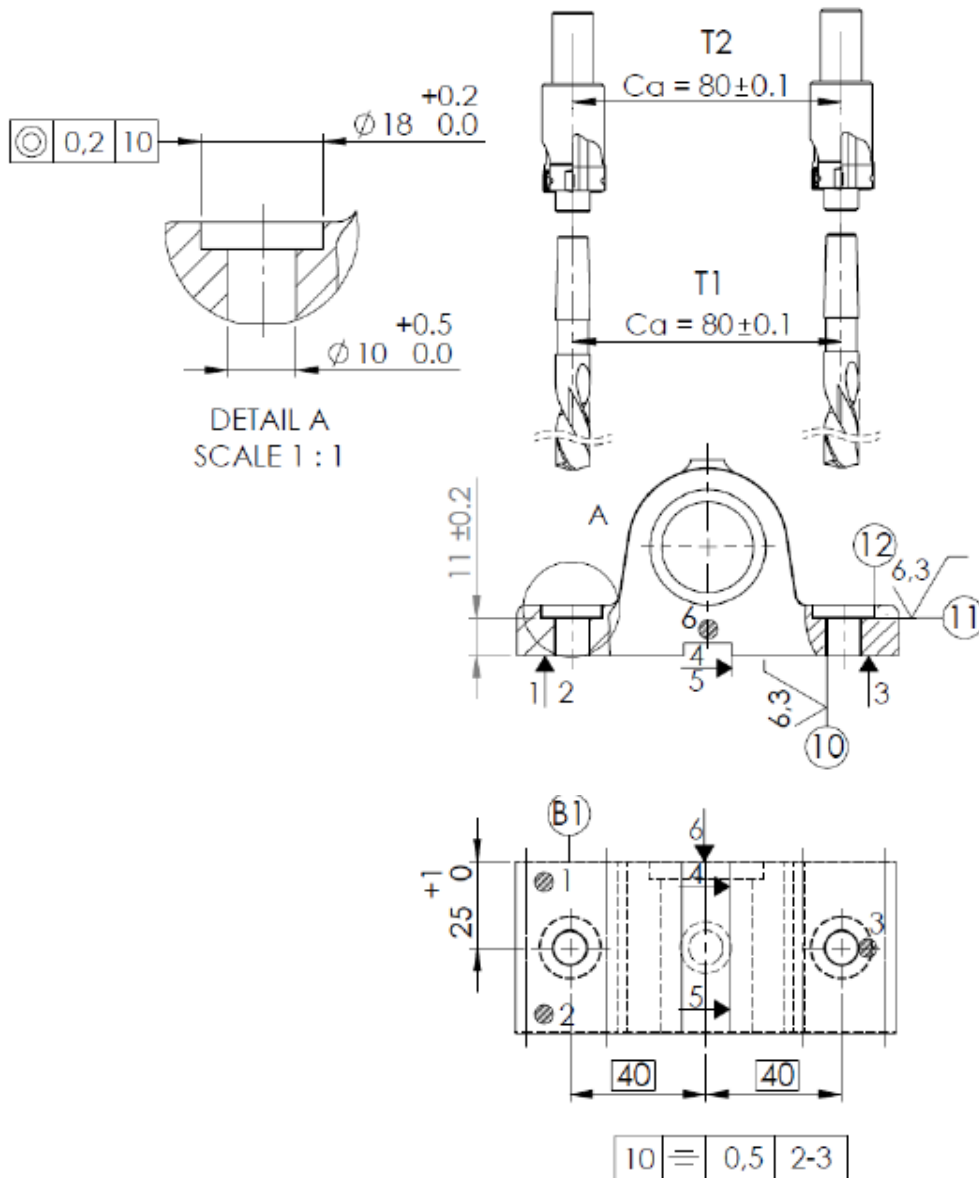


Opérations			Conditions de coupe						Outillages et vérificateurs	
N°	Rep	Désignation	Vc m/min	a mm/tr	N tr/min	P mm	np	Lub	Outil	Contrôle
301	T1	Rainurer en ébauche (2) . (3) et (4) Cm = 49 ⁺¹ / ₀ Cm = 3 ^{+0.3} / ₀ Co = 13.7 -0.2	16	0.24	40	1.5	2	Oui	Fraise 3T expansible ep.14 Ø 120 en ARS (T1)	CMD 49 ⁺¹ / ₀ . Jauge plate double. 14 H9 . Jauge de profondeur ^{+0.3} / ₀ . 3.5 ^{+0.3} / ₀ .
302	T1	Rainurer en finition (2) . (3) et (4) Cm = 49 ⁺¹ / ₀ Cm = 3.5 ^{+0.3} / ₀ Co = 14 H9 Rugosité: $\sqrt{3.2}$	23	0.179	58	0.5	1	Oui		CMD 49 ⁺¹ / ₀ . Jauge plate double. 14 H9 . Jauge de profondeur. ^{+0.3} / ₀ . 3.5 ^{+0.3} / ₀ . Rugotest.

Phase : 400	Contrat de phase	Nom :
Ensemble : -		Date :
Pièce : Support palier	Machine : Support palier	Brut :
Matière : Ft20	Porte pièce : Ft20	Atelier :
Nombre : 500	Brut : 500	

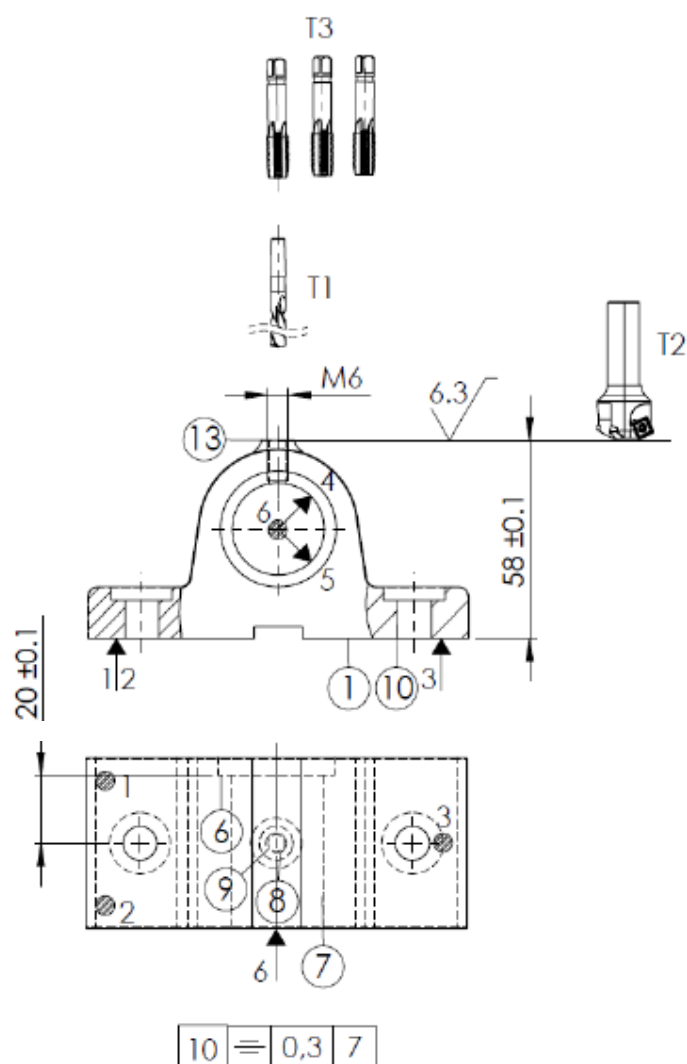
Opérations			Conditions de coupe						Outillages et vérificateurs	
N°	Rep	Désignation	Vc m/min	a mm/tr	N tr/min	P mm	np	Lub	Outil	Contrôle
411		Aléser en ébauche simultanément (5), (6) et (7) Cm= 32 ± 0.1 . Cm= 45.5. 2Cm= $\phi 33.5^{+0.2}_0$ 2Cm= 26.5.	198 198	0.15 0.15	1854 2335	0.5 0.5	15 1	Oui Oui	Barre d'alésage avec 2 grains prééglés à mise en carbure (T1) & une barre à un grain prééglé à mise en carbure (T2) .	TLD: 27H7, TLD: 34, Calibres: 32 ± 0.1 et 45 ± 0.5 , Rugotest. Montage de contrôles fréquentiels de : // ≡ $\odot$
421		Aléser en F (5), (6) et F/ (7) Cm= 45 ± 0.5 Co= R17 $^{+0.2}_0$ 2Cm= 26.8.	257 217	0.2 0.15	3031 2032	0.5 0.3	1 1	Oui Oui	Barre + 1 grain prééglé à mise en carbure (T3).	
431		Aléser en F (7). 2Cm= $\phi 27 H7$ Rugosité: $\sqrt{1.6}$, $\sqrt{3.2}$	257	0.15	3031	0.2	1	Oui		

Phase : 500	Contrat de phase	Nom :
Ensemble : -		Date :
Pièce : Support palier		Brut :
Matière : Ft20		Atelier :
Nombre : 500		



Opérations			Conditions de coupe						Outillages et vérificateurs	
N°	Rep	Désignation	Vc m/min	a mm/tr	N tr/min	P mm	np	Lub	Outil	Contrôle
501		Perçer au montage 2 trous ⑩ Cm = 25 $\begin{smallmatrix} +1 \\ 0 \end{smallmatrix}$ Co = $\phi 10$ $\begin{smallmatrix} +0.5 \\ 0 \end{smallmatrix}$ Ca = 40	30	0.02	955	-	-	Oui	2 Forets $\phi 10$ en ARS (T1)	TLD: $\phi 10$ $\begin{smallmatrix} +0.5 \\ 0 \end{smallmatrix}$ et $\phi 18$ $\begin{smallmatrix} +0.2 \\ 0 \end{smallmatrix}$ Jauge 11 ± 0.2 .
502		Lamer en finition 2 trous simultanément ⑪ et ⑫ Cm = 11 ± 0.2 Co = $\phi 18$ $\begin{smallmatrix} +0.2 \\ 0 \end{smallmatrix}$ Rugosité: $\sqrt{6.3}$ Respect des conditions géométriques	25	0.03	110	-	-	Oui	2 Fraises à lamer en ARS (T2) $\phi 18$ $\begin{smallmatrix} +0.2 \\ 0 \end{smallmatrix}$ avec pilote $\phi 10$.	Rugotest. Montage de contrôle fréquentiel $\equiv \odot$

Phase : 600	Contrat de phase	Nom :
Ensemble : -		Date :
Pièce : Support palier		Brut :
Matière : Ft20		Atelier :
Nombre : 500		



Opérations			Conditions de coupe						Outillages et vérificateurs	
N°	Rep	Désignation	Vc m/min	a mm/tr	N tr/min	P mm	np	Lub	Outil	Contrôle
601		Perçer en finition (9) Co = 5, Cm = 20 ± 0,1	30	0.02	1910	-	-	Oui	Foret Ø 5 en ARS (T1)	CMD : 58 ± 0.1 . Jauge : 20 ± 0.1 .
602		Dresser en finition (13) Cm = 58 ± 0,1	120	0.015	1910	1.3	1	Oui	Fraise Ø 20 à plaquettes rap en carbure CoroMill 390 (T2)	Rugotest. Montage de contrôle fréquentiel : ≡
603		Tarauder (8) Co = M6 Rugosité : $\sqrt{6.3}$	-	-	-	-	-	Oui	Jeu de trois tarauds M6 (Ebaucheur, Semi-finisser et finisseur) (T3) & une tourne à gauche .	