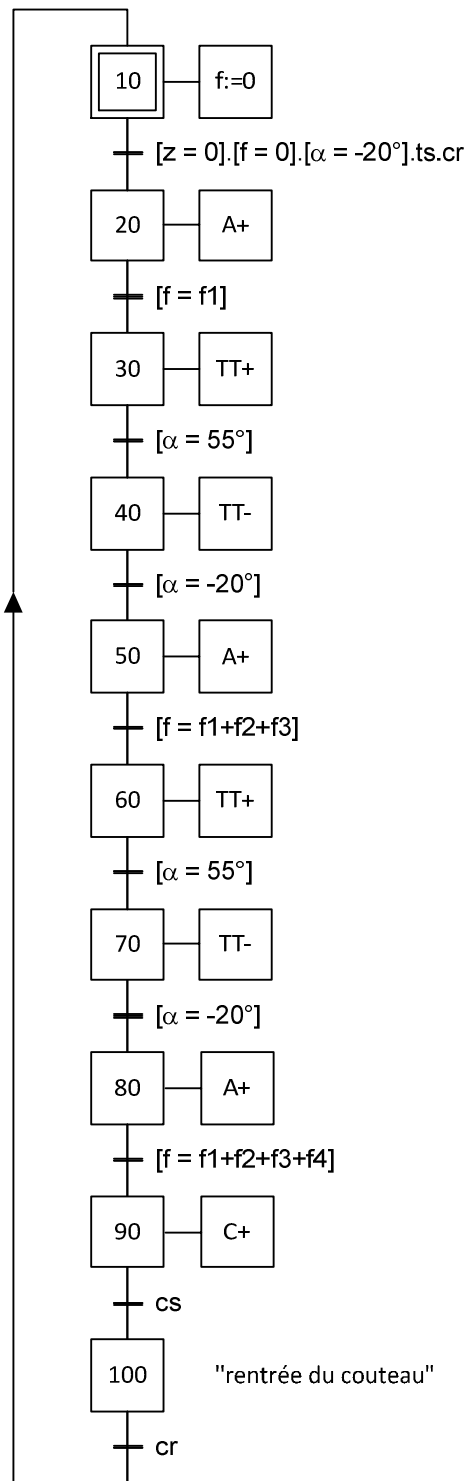


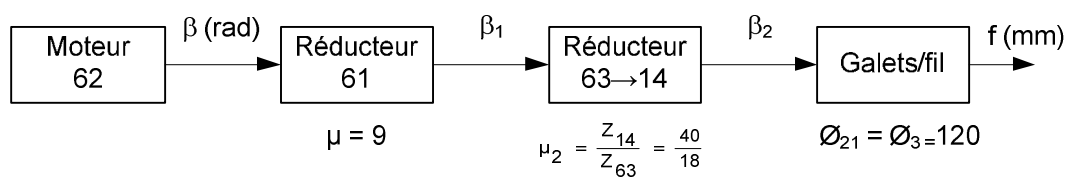
Partie I

Question 1 : Grafset de production normale



Rem : on suppose que pour [f = 0],
le couteau est au niveau de la section
d'entrée du coude 1.
Pour cela il est nécessaire d'avoir un cycle
initial de coupe de l'extrémité de chaque
nouvelle bobine de fil.

Question 2 : Déterminer f sous forme littérale



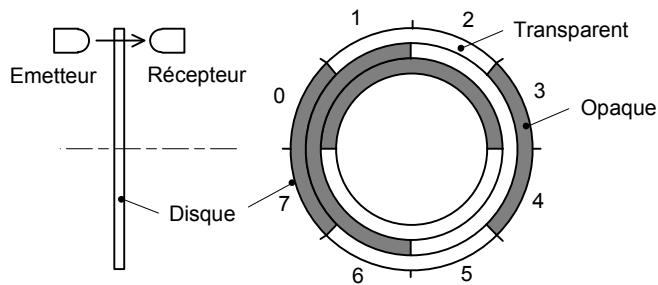
$$\beta_1 = \frac{\beta}{\mu} ; \beta_2 = \frac{\beta_1}{\mu_2} ; f = \frac{\Phi_{21}}{2} \cdot \beta_2 \Rightarrow f = \frac{\Phi_{21} \cdot \beta \cdot Z_{63}}{2 \cdot \mu \cdot Z_{14}}$$

Question 3 : Fonctionnement d'un codeur numérique absolu de position à trois pistes en code Gray

Le capteur est à 3 pistes en codage binaire réfléchi (code Gray), donc sur 3 bits, soit $2^3 = 8$ positions différentes de 0 à 7.

Rem : au démarrage, il est nécessaire d'initialiser l'axe sur un capteur spécifique pour savoir dans quel tour l'axe se trouve.

| | | | | |
|------------------|---|---|---|---|
| Piste intérieure | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 2 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 4 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 7 | 1 | 0 | 0 | 0 |



Question 4 : Incrément minimum $\Delta\beta$

Le capteur comporte 10 pistes $\Rightarrow 2^{10}$ positions = 1024 positions / tour de codeur

$$\Rightarrow \Delta\beta = \frac{2\pi}{1024} \approx \frac{6}{1024} \Rightarrow \Delta\beta \approx 6 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

Question 5 : Incrément minimum Δf

D'après Q2 : $f = \frac{\Phi_{21} \cdot \beta \cdot Z_{63}}{2 \cdot \mu \cdot Z_{14}} \Rightarrow \Delta f = \frac{\Phi_{21} \cdot Z_{63}}{2 \cdot \mu \cdot Z_{14}} \cdot \Delta\beta = \frac{120 \cdot 18}{2 \cdot 9 \cdot 40} \cdot 6 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \Delta f = 18 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

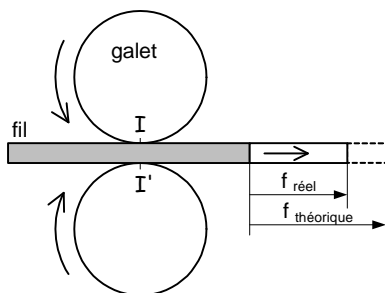
Question 6 : Hypothèse « la longueur de fil à amener est la longueur de l'axe du fil »

On a : $w \leq \frac{d}{2}$, $\forall \frac{R_i}{d}$ (si : $3 \leq d \leq 10 \Rightarrow 1 \leq \frac{R_i}{d} \leq 3,3$) Donc, la fibre neutre est côté intérieur de la pliure \Rightarrow Longueur réellement amenée > longueur théorique à amener

L'écart maximal entre ces 2 longueurs est obtenu pour $w = \frac{d}{3}$, soit : $\frac{R_i}{d} \approx 1$ donc pour : $d = 10 = d^*$

$$\Rightarrow \Delta f_{\text{maxi}} = f_{\text{réel}} - f_{\text{théorique}} = \frac{\pi}{2} \cdot \left[\left(R_i + \frac{d^*}{2} \right) - (R_i + w) \right] = \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{d^*}{2} - w \right) = \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{d^*}{2} - \frac{d^*}{3} \right) = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{d^*}{6} = \frac{3 \cdot 10}{12} \Rightarrow \Delta f_{\text{maxi}} = 2,5 \text{ mm}$$

Question 7 : Hypothèse « on néglige le glissement entre les galets 21 et le fil à amener »



S'il y a glissement en I et I', l'avance du fil est réduite

$$\Rightarrow \text{Longueur réellement amenée} < \text{longueur théorique à amener}$$

Partie II

Question 8 : A partir d'une fermeture géométrique vectorielle, déterminer α en fonction de Ri , a , b et d

$$\vec{AB} + \vec{BC} + \vec{CD} + \vec{DE} + \vec{EA} = \vec{0} \quad \text{En projection sur } \vec{X} \text{ et } \vec{Y} : \begin{cases} / \vec{X} & a \cdot \cos\alpha - (b + d + Ri) \cdot \sin\psi = 0 \\ / \vec{Y} & a \cdot \sin\alpha - (b + d + Ri) \cdot \cos\psi - \left(Ri + \frac{d}{2}\right) = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} (b + d + Ri) \cdot \sin\psi = a \cdot \cos\alpha \\ (b + d + Ri) \cdot \cos\psi = \left(Ri + \frac{d}{2}\right) - a \cdot \sin\alpha \end{cases} \Rightarrow (b + d + Ri)^2 = a^2 \cdot \cos^2\alpha + \left(Ri + \frac{d}{2}\right)^2 + a^2 \cdot \sin^2\alpha + (2 \cdot Ri + d) \cdot a \cdot \sin\alpha$$

$$\Rightarrow \sin\alpha = \frac{a^2 + \left(Ri + \frac{d}{2}\right)^2 - (b + d + Ri)^2}{a \cdot (2 \cdot Ri + d)} \approx \alpha \quad (\alpha \text{ faible})$$

Question 9 : Application numérique

$a = 50$
 $Ri = 200$
 $d = 10$
 $b = 10$

$$\alpha = \frac{50^2 + (200 + 5)^2 - (10 + 10 + 200)^2}{50 \cdot (400 + 10)} = \frac{2500 + 42025 - 48400}{50 \cdot 410} = \frac{44525 - 48400}{20500} = \frac{-3875}{20500}$$

$$\Rightarrow \alpha \approx -0,189 \text{ rad} \quad \text{ou :} \quad \alpha = \frac{-0,189}{\pi} \cdot 180 \approx -0,06 \cdot 180 \approx 10,8^\circ$$

Question 10 et 11 : Etude graphique

Q10. et Q11. Etude graphique.

$M_f = 75 \text{ N.m}$
 On pose : \vec{C}_i = force tête → fil

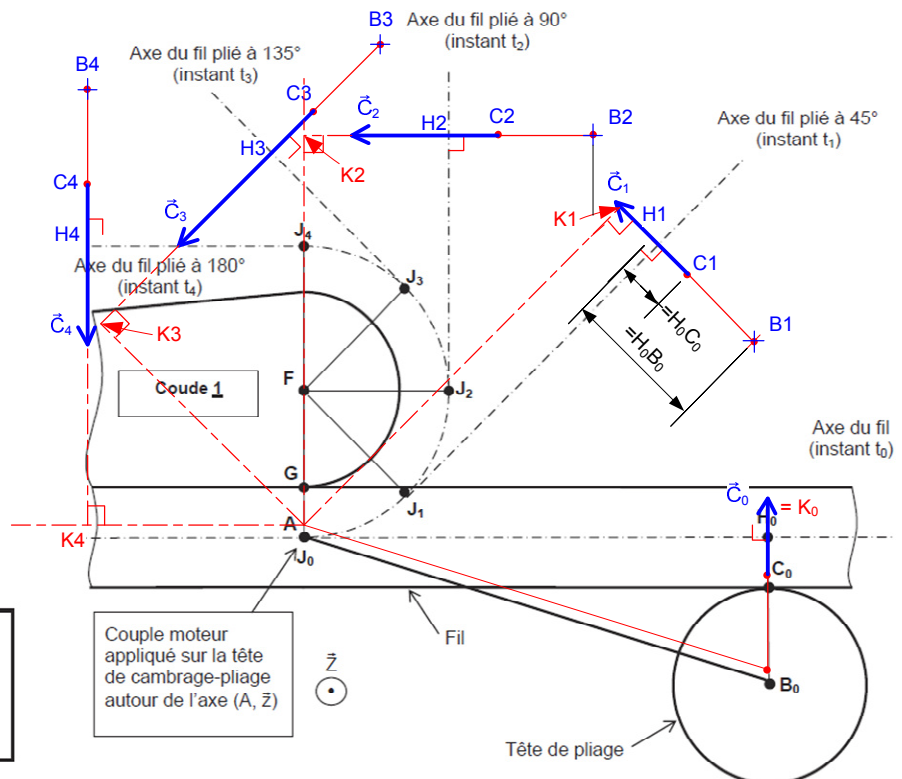
$$\|\vec{C}_i\| = \frac{M_f}{J_i H_i}$$

| | $J_i H_i$ | [m] | $\ \vec{C}_i\ $ |
|---|-----------|--------|-----------------|
| | éch 2 | éch 1 | [N] |
| 0 | 0,096 | 0,048 | 1600 |
| 1 | 0,072 | 0,036 | 2100 |
| 2 | 0,051 | 0,0255 | 3000 |
| 3 | 0,038 | 0,019 | 3900 |
| 4 | 0,046 | 0,023 | 3300 |

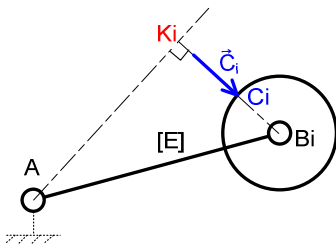
$AB_0 = a$
 $B_0C_0 = b$
 $AG = d/2$
 $FG = Ri$

Echelle des forces
 1 cm ↔ 1000 N

Echelle des distances
 2 : 1



Question 11 et 12 : Couple moteur



On isole l'ensemble E = [rotor + gale] de la tête de cambrage-pliage.
Hypothèse : en A pivot parfaite

Le mouvement se fait à faible vitesse ; les phénomènes d'inertie sont négligés.

On applique le théorème du moment statique à [E] au point A :

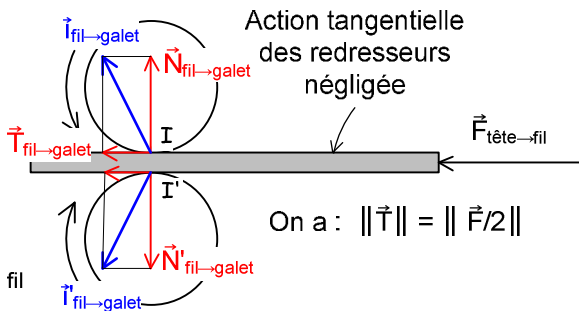
$$C_m = AK_i \cdot \|\vec{C}_i\|$$

| Instant | t ₀ | t ₁ | t ₂ | t ₃ | t ₄ |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Aki (éch 2) [m] | 0,096 | 0,093 | 0,081 | 0,060 | 0,047 |
| Aki (éch 1) [m] | 0,048 | 0,0465 | 0,0405 | 0,030 | 0,0235 |
| Effort $\ \vec{C}_i\ $ [N] | 1600 | 2100 | 3000 | 3900 | 3300 |
| Cm [N.m] | 77 | 98 | 122 | 117 | 77 |

Conclusion : avec un couple C_{max} de 500 N.m, le moteur est largement dimensionné pour cette application.

Partie III

Question 13 : Effort normal N au contact d'un galet et effort de serrage de la vis



Hypothèse : facteur d'adhérence = facteur de frottement

On se place à la limite de l'adhérence :

$$\frac{T/2}{N} = \tan \varphi = f \Rightarrow N = \frac{T/2}{f} = \frac{400}{0,1} \Rightarrow N = 40000N$$

Si on fait l'équilibre d'un ensemble [3+5+8+57] et qu'on néglige les frottements : F = N = 40000 N

Question 14 : Avantages d'un système vis-écrou différentiel

- Précision du réglage
- à résistance au matage égale, une seule vis à pas fin (ici 0,5 mm) nécessiterait d'avoir un diamètre plus important

Question 15 : Translations z(5/54), z(7/4) et l'angle θ correspondant à la phase d'approche du fil

$z(5/54) = z(5/7) + z(7/54) = z(5/7) = +p_8 \cdot n_7$ avec : n₇ = angle de rotation de la vis 7/54 en tours
(on a un signe +, car lors de l'approche, avec p₈ < p₆, 7 se visse dans 5 et 5 se rapproche de 54)

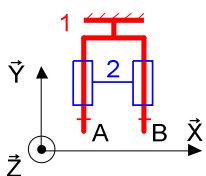
$$z(7/4) = -p_6 \cdot n_7$$

Descente du galet : z(3/4) = z(5/4) = z(5/7) + z(7/4) = z(5/54) + z(7/4) = (p₈ - p₆).n₇

$$\Rightarrow n_7 = \frac{z(3/4)}{p_8 - p_6} = \frac{-2}{-0.5} = 4 \text{ tours} \quad \text{ou : } \theta = 8 \cdot \pi \text{ rad} \Rightarrow z(5/54) = 4 \cdot p_8 = 8 \text{ mm} \quad \text{et : } z(7/4) = -4 \cdot p_6 = 10 \text{ mm}$$

Question 16 : Liaison équivalente

Choix d'une méthode statique : torseurs tous écrits en A, dans la base (X̄, Ȳ, Z̄) :



$$\left[\mathcal{T}_{4 \rightarrow 5} \right] = \left[\mathcal{T}_{4 \rightarrow 5} (A) \right] + \left[\mathcal{T}_{4 \rightarrow 5} (B) \right] = \begin{bmatrix} X_A & L_A \\ Y_A & M_A \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_B & L_B \\ Y_B & M_B \\ 0 & -AB \cdot X_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_A + X_B & L_A + L_B \\ Y_A + Y_B & M_A + M_B \\ 0 & -AB \cdot X_B \end{bmatrix}$$

C'est bien le torseur statique d'une liaison glissière parfaite d'axe Y

Question 17 : Avantages et inconvénients d'un système hyperstatiqueAvantages :

- rigidité
- utilisation de surfaces de guidage simples (cylindres)
- utilisation possible de composants standards (douilles à billes, coussinets, barres calibrées)

Inconvénients : hyperstatique d'ordre 3, induisant des contraintes géométriques.

- parallélisme des 2 axes de pivot glissant
- entraxe

Question 18 : Degré d'hyperstatisme

Les hypothèses reviennent à enlever les galets et le fil du modèle cinématique figure 8b.
La mobilité de ce modèle est 1 (rotation du rotor/stator moteur).

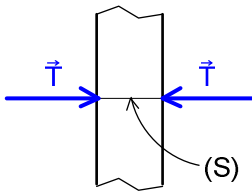
On a donc (méthode statique), degré d'hyperstatisme :

$$h = m - 6(p-1) + \sum IS_i \quad (p = \text{nb de pièces}, \sum IS_i = \text{nb total d'inconnues statiques de liaison})$$

$$h = 1 - 6 \cdot (4 - 1) + (2 \times 5 + 2 \times 5 + 5) \quad (2 \text{ hélicoïdales}, 2 \text{ pivots}, 1 \text{ glissière})$$

$$h = 1 - 18 + 25 = 8$$

$$\boxed{h = 8}$$

Partie IV**Question 19 : Effort nécessaire pour couper le fil**L'effort tranchant génère une contrainte tangentielle τ dans la section droite (S).On suppose τ uniforme. Condition de rupture : $\tau = \frac{T}{S} = \tau_R \Rightarrow T = \tau_R \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$

$$T = 360 \cdot \frac{3 \cdot 100}{4} \Rightarrow \boxed{T = 27000 \text{ N}}$$

Question 20 : Vérification de la pression

Le vérin est simple effet (Doc R3) et la tige sort pour la coupe ; la chambre AR est donc alimentée.

$$\text{D'où : } p = \frac{T}{\frac{\pi \cdot D_e^2}{4}} = \frac{27000 \cdot 4}{3 \cdot 140^2} = \frac{3^3 \cdot 4 \cdot 10^3}{3 \cdot 49 \cdot 4 \cdot 10^2} = \frac{3^2 \cdot 10}{49} \approx \frac{90}{50} \quad \boxed{p = 1,8 \text{ MPa} = 18 \text{ bars}}$$

La pression d'alimentation de 60 bars est donc largement suffisante pour couper le fil de diamètre 10

Remarque : Pourquoi donner la pression en MPa ? Ce n'est pas l'unité de pression usuelle rencontrée dans les documentations techniques .

Partie V**Question 21 : Procédé d'obtention du brut**

Matière : acier non allié.

Série : petite série

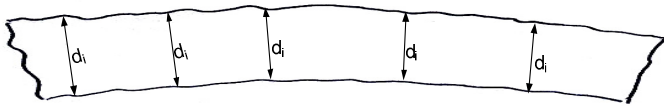
Pièce usinées aux formes extérieures prismatiques (132 x 132 x 450)

Brut longueur 454 découpé dans une barre laminée de 140 x 140

Remarque : solution fonderie trop complexe. Acier à bas taux de carbone très délicat à mettre en œuvre en fonderie. Seul avantage de cette solution : obtenir les 4 lignes alésées ébauchées (4 noyaux sable).

Question 22 : Désignation de l'acier C38

Acier non allié comportant 0,8 % de carbone, le reste étant du fer

Question 23 : Spécification $132 \pm 0,05$ 

Distance locale entre deux points en vis-à-vis.

Toutes les distances locales d_i doivent être dans l'intervalle de tolérance $131,95 \leq d_i \leq 132,05$

Question 24 : Voir grille GPS à la fin du corrigé**Question 25 : Conditions de coupe en ébauche**

Vitesse de rotation de la fraise :

$$N = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 240}{\pi \cdot 160} = \frac{1000 \cdot 3}{\pi \cdot 2} = 500 \text{ tr / min}$$

Vitesse d'avance de la fraise $V_f = f_z \cdot Z \cdot N = 0,25 \cdot 10 \cdot 500$ $V_f = 1250 \text{ mm / min}$

Profondeur de passe maximum : utilisation de la puissance maximum disponible à la broche.

$$a_p = \frac{P_{\text{Maxi}} \cdot 6 \cdot 10^7}{a_e \cdot V_f \cdot K_c} = \frac{20 \cdot 6 \cdot 10^7}{132 \cdot 1250 \cdot 2000} = \frac{10^7}{22 \cdot 1250 \cdot 10^2} = \frac{10^4}{11 \cdot 250} = \frac{10^3}{275}$$
 $a_p = 3,6 \text{ mm}$

Question 26 : Puissance de coupe

Pour enlever les 4 mm de surépaisseur :

- 1) Ebauche : profondeur de passe de 3 mm (on se réserve une marge de puissance).
- 2) Finition : profondeur de passe de 1 mm

| | Profondeur a_p | Vitesse de coupe V_c | Vitesse de rotation N | Avance par dent f_z | Avance V_f | Puissance P |
|-----------------|---------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------|------------------|
| Ebauche | 3 mm | 240 m / min | 500 tr / min | 0,25 mm | 1250 mm / min | 16,5 kW |
| Finition | 1 mm | 300 m / min | 625 tr / min | 0,10 mm | 625 mm / min | 2,75 kW |

Commentaires :

- en ébauche on a une petite marge de puissance qui pourrait être utile quand les plaquettes seront en fin de vie.
- en finition la puissance est très faible : calcul sans intérêt.

| |
|--|
| Question 27 : Agencement d'opérations pour la sous-phase 10 |
|--|

Il faut dans cette phase d'usinage :

- Surfacier le plan F : ébauche puis finition avec une fraise carbure à surfacer $\varnothing 160$ (voir question 26)
- Réaliser l'alésage $\varnothing 80$ H7 : ébauche puis finition pour obtenir la qualité 7.
- Réaliser l'alésage $\varnothing 82$ H11 : une ébauche soignée peut suffire pour obtenir la qualité 11.
- Réaliser l'alésage $\varnothing 90$ H7 : ébauche puis finition pour obtenir la qualité 7.
- Réaliser le lamage supérieur : on peut supposer une qualité 13

Problèmes :

- Epaisseur de la pièce (132), donc longueur des outils.
- Ebauche dans la masse de gros diamètres.
- On n'a pas une liste précise des outils de coupe disponible : forets (ARS, carbure monobloc pour les petits diamètres, à plaquettes rapportées ??), outils à aléser (a-t-on un alésoir machine de 80 ?)

Pour l'ébauche dans la masse de gros diamètres on peut envisager 3 solutions :

1 - Perçages successifs avec des forets en ARS (3 à priori).

Questions concernant cette solution :

- A-t-on un foret de 79 , voire un de 89 ?
- La puissance du moteur de broche est-elle suffisante (très faible vitesse de rotation) ?
- La poussée du moteur d'avance est-elle suffisante ?

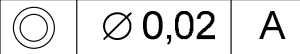
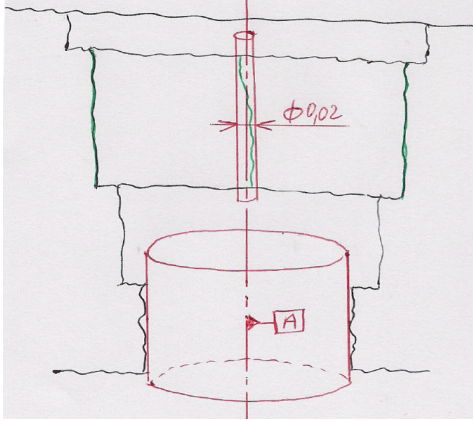
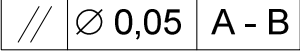
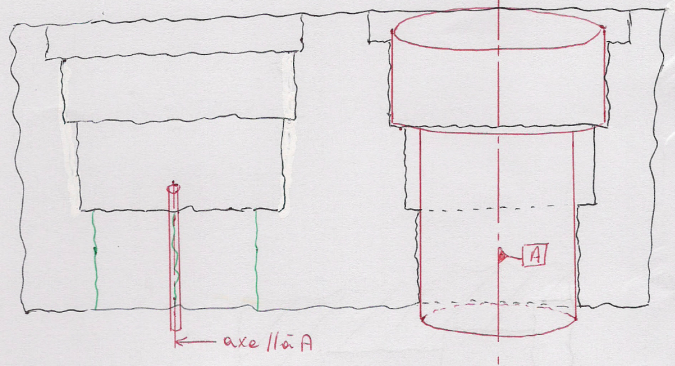
2 - Perçage avec un foret carbure à plaquettes diamètre 75 (coût 1500 Euros !). Les mêmes questions de puissance et de poussée se posent.

3 - Forage avec une fraise carbure à plaquettes rondes ($\varnothing 32$ par exemple) en interpolation hélicoïdale avec refroidissement à l'air : solution utilisant un outil non spécifique. La lubrification à l'air doit être particulièrement soignée afin de favoriser le dégagement des copaux.

Fort de ces remarques (**qui dépassent les connaissances de nos étudiants**), suite à l'ébauche précédente (solution 3), on propose les opérations suivantes :

| Opération | Outil |
|--|--|
| a) Surfaçage ébauche du plan F | Fraise carbure à surfacer $\varnothing 160$ |
| b) Surfaçage finition du plan F | Fraise carbure à surfacer $\varnothing 160$ |
| c) Ebauche du lamage, du $\varnothing 90$, $\varnothing 82$ et $\varnothing 80$ | Fraise carbure $\varnothing 32$ à plaquettes rondes (descente en interpolation hélicoïdale). |
| d) Finition du lamage | Fraise carbure à surfacer dresser $\varnothing 32$ |
| e) Demi finition du $\varnothing 90$ | Fraise carbure à surfacer dresser $\varnothing 32$ |
| f) Finition du $\varnothing 82$ H11 | Fraise carbure à surfacer dresser $\varnothing 32$ |
| g) Demi finition du $\varnothing 80$ | Fraise carbure à surfacer dresser $\varnothing 32$ |
| h) Finition du $\varnothing 90$ H7 | Outil à aléser à plaquette cermet $\varnothing 90$ |
| i) Finition du $\varnothing 80$ H7 | Outil à aléser à plaquette cermet $\varnothing 80$ |

Question 24 :

| Tolérance : •Symbole •Nom •Type (forme, orientation, position, battement) | Eléments non idéaux | | Eléments idéaux | | |
|--|---|--|--|---|------------------------------------|
| | Elément(s) tolérancé(s) | Elément(s) de référence | Référence(s) spécifiée(s) | Zone de tolérance | |
| | | | | Forme | Position |
| <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">  </div> Nom : coaxialité Type : position | Ligne réputée droite (verte) axe d'une surface réputée cylindrique (Ø 90 H7). | Ligne réputée droite axe d'une surface réputée cylindrique (Ø 80 H7 repéré A). | Axe (rouge) du plus gros cylindre tangent à A du coté libre de la matière, limitant les écarts. | Cylindre Ø 0,02  | Coaxial à la référence spécifiée |
| <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">  </div> Nom : parallélisme Type : orientation | Ligne réputée droite (verte) axe d'une surface réputée cylindrique (Ø 80 H7). | 2 lignes réputées droites axes de 2 surfaces réputées cylindriques (Ø 80 H7 repéré A et Ø 90 H7 repéré B). | Axe commun (rouge) du plus gros cylindre tangent à A, du coté libre de la matière, limitant les écarts, et du plus gros cylindre tangent à B, du coté libre de la matière, limitant les écarts. <i>Rem : pour A et B on est en présence de cylindres courts</i> | Cylindre Ø 0,05  | Parallèle à la référence spécifiée |