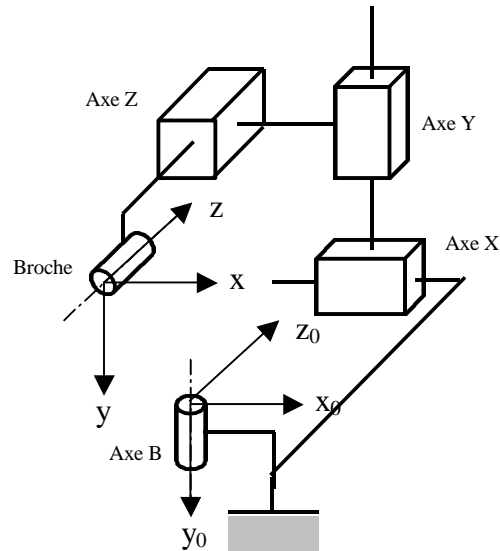


ELEMENTS DE CORRIGE

PARTIE A

Q1. Etablir le schéma cinématique de la machine Météor 5, dans sa configuration standard.



Q2. Etablir le modèle géométrique direct de la machine.

En appelant $c1$ et $s1$ respectivement $\cos \theta_1$ et $\sin \theta_1$, on a $M_{(R1/R0)} = \begin{Bmatrix} c1 & 0 & s1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -s1 & 0 & c1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$

$$M_{(R2/R1)} = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 & X \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \quad M_{(R3/R2)} = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & Y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \quad M_{(R4/R3)} = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

Le modèle direct est obtenu par la multiplication des matrices.

$$M_{(R0/R4)} = M_{(R1/R0)} \times M_{(R2/R1)} \times M_{(R3/R2)} \times M_{(R4/R3)}$$

Le modèle géométrique direct de la machine est donc : $M_{(R0/R4)} = \begin{Bmatrix} c1 & 0 & s1 & c1X+s1Z \\ 0 & 1 & 0 & Y \\ -s1 & 0 & c1 & -s1X+c1Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$

Q3. Proposer les solutions cinématiques possibles pour l'usinage de plans sur cette machine-outil.

- fraisage en bout avec la fraise portée par l'axe z, par combinaison de mouvements des axes x et y dans un plan vertical.
- fraisage en roulant avec la fraise portée par l'axe z :
 - dans un plan horizontal avec une rotation de l'axe b ;

- dans un plan horizontal avec une translation suivant x, cette solution ne permettant que l'usinage de surfaces de faible largeur (correspondant à la hauteur de fraise) ;
- dans un plan horizontal, par combinaison des deux mouvements précédents ;
- dans un plan vertical avec une translation suivant y, cette solution ne permettant que l'usinage de surfaces de faible largeur (correspondant à la hauteur de fraise).

Q4. Proposer et justifier une mise en place de la pièce donnée en figure 6, pour le surfaçage de la face par contournage (le contournage consiste en la réalisation de surfaces de génératrices parallèles à l'axe de la fraise par combinaison de mouvements d'axes).
Préciser quels sont les axes concernés.

La pièce sera réalisée selon le premier mode décrit dans la question précédente.

Ce mode est justifié :

- par les qualités géométriques souhaitées pour des pièces du domaine de l'automobile et particulièrement pour des plans assurant des fonctions d'étanchéité ;
- par les perçages perpendiculaires à ce plan, donc suivant z, qui seront ainsi facilement réalisés ;
- par un temps d'usinage optimisé.

Ce choix nécessite un posage de la pièce avec la normale au plan à usiner parallèle à l'axe z de la machine, afin d'effectuer un contournage mettant en œuvre les axes X et Y. L'utilisation d'une équerre est donc nécessaire.

Q5. Dans le cas de l'usinage de la pièce ci-dessus, précisez les éléments qui vont influencer sur la qualité géométrique de l'usinage réalisé.

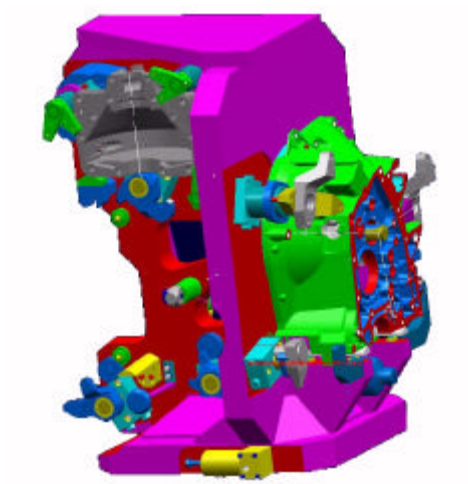
Divers facteurs vont influencer sur la qualité géométrique de la pièce obtenue. Ces facteurs relèvent de plusieurs origines différentes :

- usinage : rigidité de l'outil et du porte-outil ;
- mécanique : rigidité de la machine, précision des axes (z notamment pour la position du plan usiné) ;
- qualité géométrique de l'équerre porte-pièce

Q6. Quelles sont les limites géométriques de cette architecture dans le cas d'usinages par contournage ?

La géométrie de cette machine permet essentiellement de réaliser des usinages plan (suivant les axes x et y) et des perçages et alésages suivant l'axe normal à ce plan, donc suivant l'axe z, et ceci sur toutes les faces d'une pièce, si ces faces sont accessibles par la rotation de l'axe B.

Cette solution impose un posage sur une équerre. Exemple de posage :



*Q7. Le constructeur rend possible la réalisation de la surface dans le plan XZ. Comment ?
Pourquoi cette solution n'est généralement pas retenue ?*

Avec le renvoi d'angle proposé en option, l'usinage plan suivant les axes x et z est rendu possible.

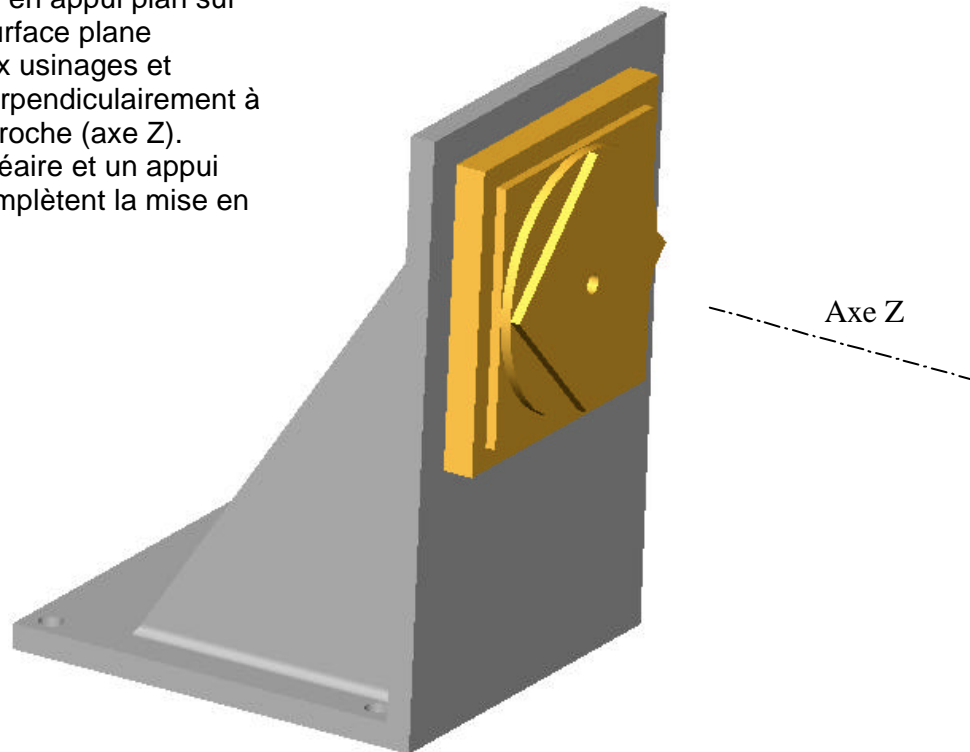
Cette solution pose des problèmes de rigidité de la broche et compte tenu de la dynamique de la machine, pose un problème de durée de vie du renvoi d'angle (estimée à un an par le constructeur).

PARTIE B

Q8. Expliquer la mise en place de la pièce sur la machine METEOR 5 et **Préciser** quelles sont les surfaces obtenues par contournage.

Mise en place de la pièce :

La pièce est en appui plan sur la grande surface plane opposée aux usinages et disposée perpendiculairement à l'axe de la broche (axe Z). Un appui linéaire et un appui ponctuel complètent la mise en position.



Les surfaces Ji sont obtenues par contournage par interpolation linéaire sur les axes x et y. La surface A est obtenue par contournage par interpolation circulaire sur les axes x et y. La surface C peut être obtenue de la même façon que la surface A ou par perçage et alésage.

Q9. Expliciter les spécifications géométriques demandées pour les surfaces B1, J1, et A.

Les spécifications des surfaces B1, J1 et A :

- Les surfaces B1 et J1 doivent respecter les spécifications de perpendicularité et de parallélisme :

⊥	0,035	B2
//	0,035	B3

⊥	0,035	J4
//	0,035	J3

Perpendicularité : l'élément tolérancé est la surface. La zone de tolérance est le volume limité par deux plans parallèles distants de 0,035 perpendiculaires au plan de référence.
 Parallélisme : l'élément tolérancé est la surface. La zone de tolérance est le volume limité par deux plans parallèles distants de 0,035 parallèles à la surface de référence.

Les deux surfaces doivent aussi respecter la spécification de rectitude :

—	0,01
---	------

L'élément tolérancé est constitué de toutes les lignes des surfaces concernées, parallèles au plan de projection dans lequel l'indication est donnée. La zone de tolérance est une surface plane limitée par deux droites parallèles distantes de 0,01.

- La surface A doit respecter la spécification de circularité

○	0,035
---	-------

L'élément de tolérance concerne toutes les sections droites du cylindre. La zone de tolérance est une surface limitée par deux cercles concentriques distants de 0,035.

Q10. Classifier les surfaces de la pièce selon une typologie à définir.

La pièce est conçue pour permettre la mise en œuvre d'usinages selon les axes de la machine (axes x, y et z), ainsi que d'usinages de surfaces obtenues par interpolations linéaires et circulaires :

- surfaces à profil linéaire parallèle à l'un des axes (axes privilégiés X et Y compte tenu de la cinématique de la machine),
- surfaces à profil linéaire de direction quelconque dans le plan XY, obtenues par contournage,
- surfaces cylindriques (cylindre d'axe Z) obtenues par contournage.

Q11. Expliquer les raisons probables de ces résultats.

Le contrôle de la pièce met en évidence :

- il est plus facile d'obtenir les cotes des surfaces obtenues sans interpolation c'est à dire des surfaces B_i par rapport aux surfaces J_i ;
- les interpolations circulaires sont plus difficiles à obtenir, notamment concernant le petit diamètre.

Il résulte de ce constat que la combinaison de mouvement met en jeu des phénomènes physiques qu'il n'est pas facile de contrôler et que la qualité des asservissements joue un rôle crucial.

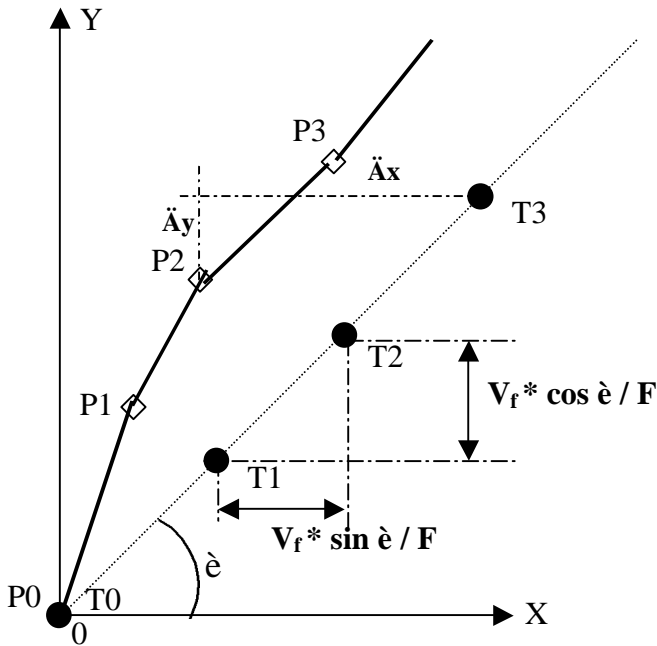
Q12. Interpréter le résultat obtenu.

En début de trajectoire, la position réelle s'éloigne progressivement de la position théorique. Ceci est dû au fait que G_x n'est pas rigoureusement identique à G_y . Après un certain temps, les deux trajectoires restent parallèles, la commande compensant la variation des gains.

Q13. Du résultat de simulation présenté dans la fig.9, que peut-on déduire sur la relation entre G_x et G_y ?

Compte tenu de la trajectoire dans le plan XY, on peut déduire la relation $G_y > G_x$. En effet, la position réellement atteinte est proportionnelle à la distance à parcourir (identique sur X et Y pour une droite à 45°) et au gain suivant l'axe. La coordonnée sur Y dépassant la consigne, le gain sur G_y est plus grand que le gain G_x .

Q14. En fonction de la vitesse d'avance théorique V_f et de la fréquence d'échantillonnage F , calculer l'incrément théorique sur X et Y entre les points T_i et T_{i+1} .



Si on appelle :

- è l'angle d'inclinaison de la droite dans le plan XY ;
- F la fréquence d'échantillonnage ;
- V_f la vitesse d'avance :

On a :

Incrément sur X : $(V_f * \cos è) / F$

Incrément sur Y : $(V_f * \sin è) / F$

Q15. Calculer par récurrence les coordonnées des points réellement atteints en fonction de F , V_f , G_x , G_y .

Les coordonnées des points P_{i+1} se déduisent de la position des points P_i (de coordonnées X_{pi} et Y_{pi}).

Si on appelle G_x et G_y , les gains des boucles de vitesse sur X et sur Y, on a :

$$\overrightarrow{OP_{i+1}} = \begin{cases} X_{pi} + G_x * \ddot{A}_x \\ Y_{pi} + G_y * \ddot{A}_y \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{avec } \ddot{A}_x \text{ la coordonnée sur X de } \overrightarrow{P_i T_{i+1}} \\ \text{avec } \ddot{A}_y \text{ la coordonnée sur Y de } \overrightarrow{P_i T_{i+1}} \end{array}$$

$$\text{Or, } \overrightarrow{P_i T_{i+1}} = \overrightarrow{P_i O} + \overrightarrow{O T_{i+1}} \text{ d'où } \begin{array}{l} \ddot{A}_x = - X_{pi} + (i+1) * (V_f * \cos è) / F \\ \ddot{A}_y = - Y_{pi} + (i+1) * (V_f * \sin è) / F \end{array}$$

$$\text{Il en résulte } \overrightarrow{OP_{i+1}} = \begin{cases} X_{pi+1} \\ Y_{pi+1} \end{cases} = \begin{cases} X_{pi}(1 - G_x) + G_x * (i+1) * (V_f * \cos è) / F \\ Y_{pi}(1 - G_y) + G_y * (i+1) * (V_f * \sin è) / F \end{cases}$$

$$\text{avec } P_0 = \begin{cases} 0 \\ 0 \end{cases}$$

Q16. Enumérer les critères influant sur la qualité de la trajectoire réelle.

De l'équation de récurrence, on peut déduire que les facteurs influant sont les suivants :

$$\text{On rappelle } \overrightarrow{OP_{i+1}} = \begin{cases} X_{pi+1} \\ Y_{pi+1} \end{cases} = \begin{cases} X_{pi}(1 - G_x) + G_x * (i+1) * (V_f * \cos è) / F \\ Y_{pi}(1 - G_y) + G_y * (i+1) * (V_f * \sin è) / F \end{cases}$$

La qualité des trajectoires est fonction des paramètres suivants :

- les gains G_x et G_y qui doivent être conformes au gain théorique et si ce n'est le cas, être au moins identiques entre eux ;

- la vitesse d'avance qui aggrave le défaut. Pour des usinages aux spécifications serrées, il faudra la diminuer ;
- la fréquence d'échantillonnage, définie par le constructeur qui doit chercher à l'augmenter.

Q17. Les résultats obtenus **corroborent-ils** les résultats obtenus par simulation (fig. 9) ?

On peut tracer quelques points avec $\epsilon = 45^\circ$. Si le $G_x < G_y$, les points se situent d'un côté de la droite théorique, si $G_x > G_y$, les points se situent de l'autre côté de la droite théorique.

Si $G_x = G_y = G$ en étant soit plus grands, soit plus petits que la valeur théorique, on a dès le premier point : $\overrightarrow{OP_1} = \begin{pmatrix} G * V_f / F \\ G * V_f / F \end{pmatrix}$ donc un accroissement identique sur les deux axes. Les points P_i sont donc situés sur la droite souhaitée, soit en avance, soit en retard sur les points T_i .

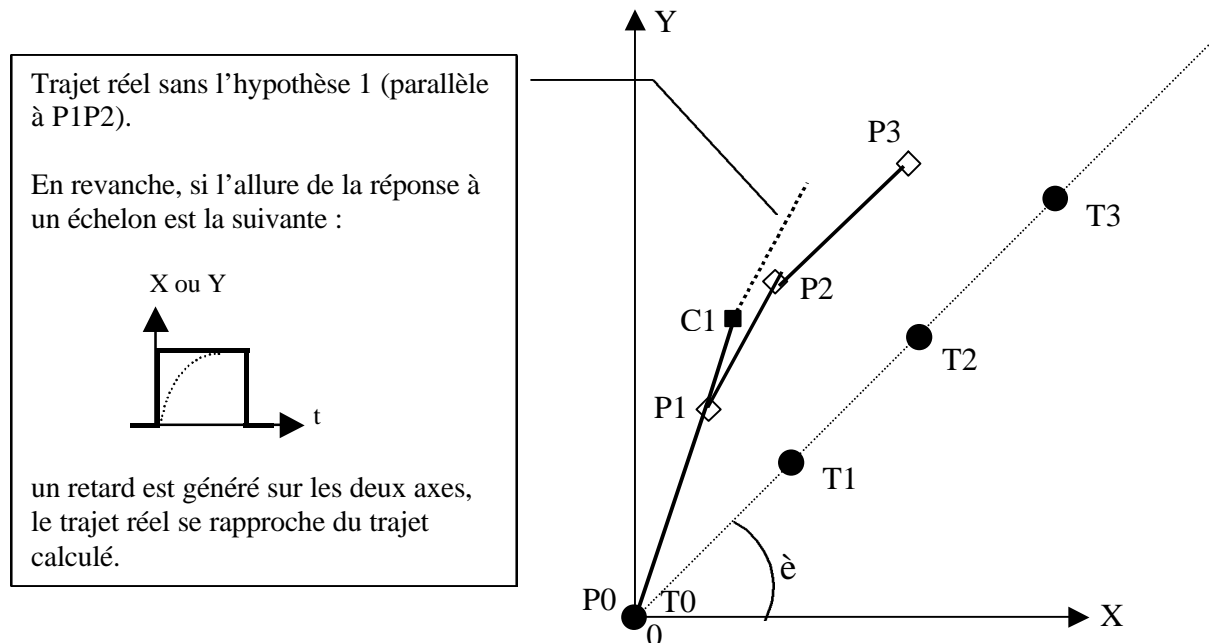
Si G_x et G_y ont la valeur théorique, les points P_i sont confondus avec les points T_i .

Q18. Qualitativement, **quelles seraient les conséquences** sur la trajectoire de la suppression des simplifications :

- 2 (concernant le temps de calcul),
- puis 3 (concernant la réponse à un échelon) ?

La première simplification considère le temps de calcul comme négligeable et la seconde que la réponse à un échelon est un échelon.

Si le temps de calcul n'est plus négligé, la réponse du système accusera un retard dont la conséquence est l'augmentation du défaut, puisque la prise en compte de l'écart sera corrigé avec le retard dû au temps de calcul.



Les deux simplifications ont tendance à se compenser mutuellement.

Q19. Expliquer les conséquences de l'étude qui précède (questions 8 à 17), sur les spécifications dimensionnelles et géométriques des surfaces J_i de la pièce de certification (annexe 4).

Les surfaces J_i sont obtenues par contournage et vont donc subir le défaut étudié précédemment, à savoir :

- un écart de position de chaque face,
- un défaut de rectitude à l'amorce des trajectoires linéaires.

Le premier défaut peut générer des cotes entre faces hors tolérance.

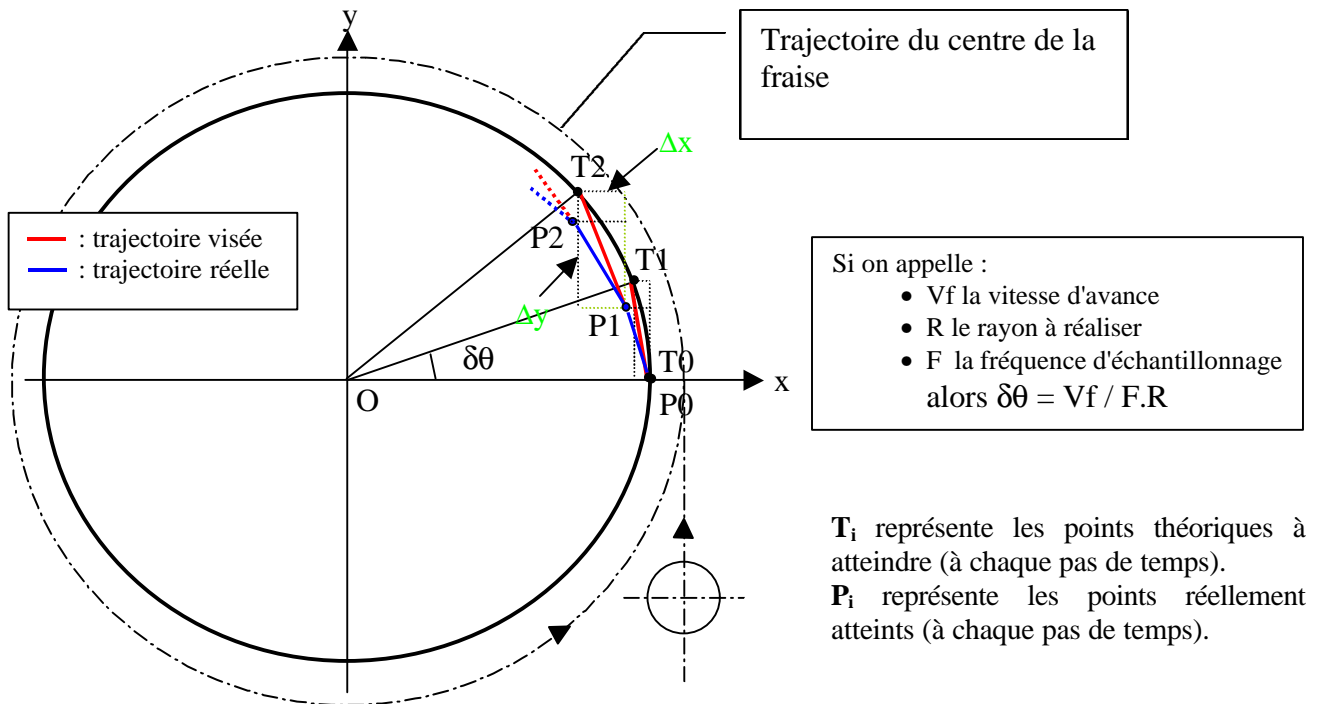
Le second défaut va générer des défauts de rectitude ; ce défaut va apparaître à chaque changement de face.

Q20. Quelles précautions peut-on prendre pour diminuer les défauts de forme ?

Outre les réponses déjà fournies à la question 15, le défaut de rectitude peut être supprimé par une trajectoire dégagante de l'outil à chaque face. Ainsi la zone d'amorce de la trajectoire se situera en dehors de la pièce.

Q21. Dans le cas d'une interpolation circulaire, en prenant en compte les mêmes conditions que dans la partie B2 (fig.8 et hypothèses associées), **calculer** l'incrément théorique sur X et Y entre les points T_i et T_{i+1} en fonction de la vitesse d'avance théorique V_f et de la fréquence d'échantillonnage F .

Dans le cas d'une interpolation circulaire, pour chaque point visé par le calculateur, une erreur en vitesse (à chaque pas de temps) et donc en position (effet intégrateur) sera générée par la carte d'axe. Cette erreur est directement dépendante du gain de chaque axe, de la vitesse de déplacement, de la fréquence d'échantillonnage. Analysons ce qui se passe :



En valeur absolue, on a donc :

Incrément sur X : $R \cdot \cos \delta\theta$

Incrément sur Y : $R \cdot \sin \delta\theta$

Q22. Calculer par récurrence les coordonnées des points réellement atteints.

Chaque cordonnée d'un nouveau point (P_{i+1}) est calculé à partir des coordonnées du point précédent (P_i) auxquelles s'ajoute une variation sur X et sur Y dépendant de la trajectoire calculée modifiée par les écarts de gain.

$$\vec{OP}_{i+1} \begin{cases} X_{P_i} + G_x \cdot \Delta x \\ Y_{P_i} + G_y \cdot \Delta y \end{cases} \quad \text{avec } \Delta x \text{ et } \Delta y \text{ représentant les coordonnées du vecteur } P_i T_{i+1} \quad \vec{P_i T_{i+1}}$$

et G_x, G_y les gains des boucles de vitesse des axes X et Y.

Or :

$$\vec{P_i T_{i+1}} = \vec{P_i O} + \vec{O T_{i+1}} \quad \text{soit} \quad \begin{cases} -X_{P_i} + R \cdot \cos((i+1) \cdot \delta\theta) \\ -Y_{P_i} + R \cdot \sin((i+1) \cdot \delta\theta) \end{cases}$$

d'où :

$$\vec{OP}_{i+1} \begin{cases} X_{P_i} + G_x [R \cdot \cos((i+1) \cdot \delta\theta) - X_{P_i}] = X_{P_i} (1 - G_x) + G_x \cdot R \cdot \cos((i+1) \cdot \delta\theta) \\ Y_{P_i} + G_y [R \cdot \sin((i+1) \cdot \delta\theta) - Y_{P_i}] = Y_{P_i} (1 - G_y) + G_y \cdot R \cdot \sin((i+1) \cdot \delta\theta) \end{cases}$$

avec $P_0 \begin{cases} 0 \\ R \end{cases}$

Q23. Quelle forme obtient t-on ?

Cette équation faisant apparaître un terme en $R \cdot \sin\theta$ sur un axe et $R \cdot \cos\theta$ sur l'autre axe, correspond à une ellipse.

Q24. Quelle est l'influence des gains sur la forme obtenue dans les cas suivants :

- $G_x < G_y$
- $G_x > G_y$
- $G_x = G_y$ avec G_x et G_y plus petits que la valeur théorique idéale
- $G_x = G_y$ avec G_x et G_y plus grands que la valeur théorique idéale

Influence des gains G_x et G_y . Les profils obtenus sont les suivants :

- Si $G_x < G_y$, on obtient une ellipse inclinée à 45° ,
- Si $G_x > G_y$ alors on obtient une ellipse inclinée à 45° de direction perpendiculaire au cas précédent,
- $G_x = G_y$ avec G_x et G_y plus petit que la valeur théorique : on obtient un cercle plus petit que celui correspondant à la cote nominale désirée,
- $G_x = G_y$ avec G_x et G_y plus grand que la valeur théorique : on obtient un cercle plus grand que celui correspondant à la cote nominale désirée.

Q25. Quelle est l'influence sur la trajectoire du sens de Vf (sens trigo ou antit trigo), dans le plan XY ?

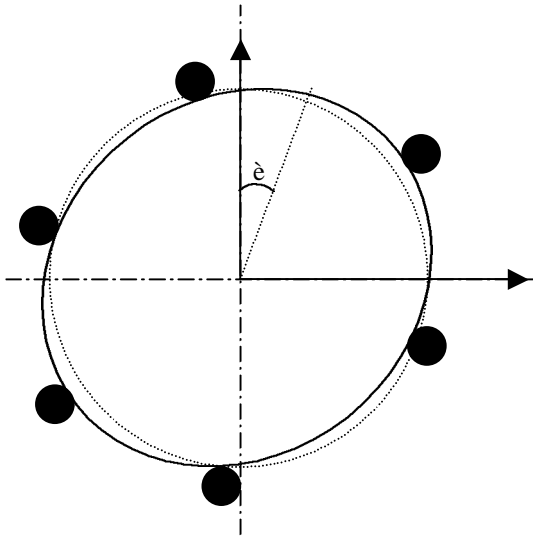
Selon le sens de Vf (ce qui correspond à une usinage en opposition ou en avalant), l'ellipse sera inclinée dans un sens ou dans l'autre.

Q26. Expliquer pourquoi le défaut de circularité du $\varnothing 254$ est significatif par rapport au défaut dimensionnel.

Justifier la difficulté à obtenir le 20H7.

Le contrôle du diamètre s'effectue sur MMT en palpant plusieurs points sur une section du pseudo-cylindre.

Avec une bonne répartition de ces points de palpation, la moyenne arithmétique des diamètres est très proche de la cote nominale.



En revanche, le défaut de forme à savoir la circularité, indépendant du défaut dimensionnel est de 0,15.

Concernant le diamètre 20H7, l'équation obtenue à la question 20, montre l'influence du rayon ($\delta\theta = V_f / F.R$). $\delta\theta$ devient très grand si R devient très petit et des défauts importants seront générés. Ce sont donc les plus petits diamètres qui posent le plus de problème de réalisation en UGV.

Q27. Sur quels paramètres *intervenir* pour améliorer le défaut de circularité observé sur le Ø254,366 ?

Les paramètres influant sur la qualité géométriques du diamètre 254 sont de deux ordres :

- paramètres d'asservissement : les gains devront être réglés plus finement,
- paramètres de coupe : le choix des conditions de coupe et notamment de la vitesse d'avance peuvent améliorer le résultat.

Q28. Quelles sont les conséquences de cette étude sur la conception des cartes d'axe ?

Les cartes d'axe doivent permettre un réglage très fin du gain et proposer des fréquences d'échantillonnage les plus rapides possibles, compte tenu des traitements logiciels à effectuer.

Q29. Quelles conclusions peut-on déduire sur les conditions d'usinage par contournage de cylindres ?

Compte tenu des spécifications exigées par le bureau d'étude, le choix du contournage peut être remis en cause.

Si le contournage est retenu, notamment pour les petits diamètres, il peut s'avérer nécessaire de diminuer la vitesse d'avance, dont on a vu l'influence ci-dessus.

PARTIE C

C1 – Modélisation multiaxe

Les deux axes X et Y de la machine sont équipés du moteur 1FT6. Il s'agit d'un servomoteur synchrone triphasé à aimants permanents du constructeur SIEMENS.

Ce moteur est équipé d'un codeur incrémental « interne » qui permet de connaître la position angulaire du rotor, la fréquence de rotation de celui-ci et indirectement la position du mobile mis en mouvement (ici la position linéaire X ou Y de l'axe).

La transmission mécanique (identique sur les deux axes) est assurée par un réducteur poulie courroie de rapport 1/4 et par une vis à billes de diamètre 63 mm au pas de 40 mm.

La mesure précise de la position de l'axe est confiée à une règle incrémentale de grande précision.

L'ensemble des données constructives sont rassemblées dans l'annexe 1 : Architecture des axes X et Y.

C 11- Modélisation et réglage d'un axe

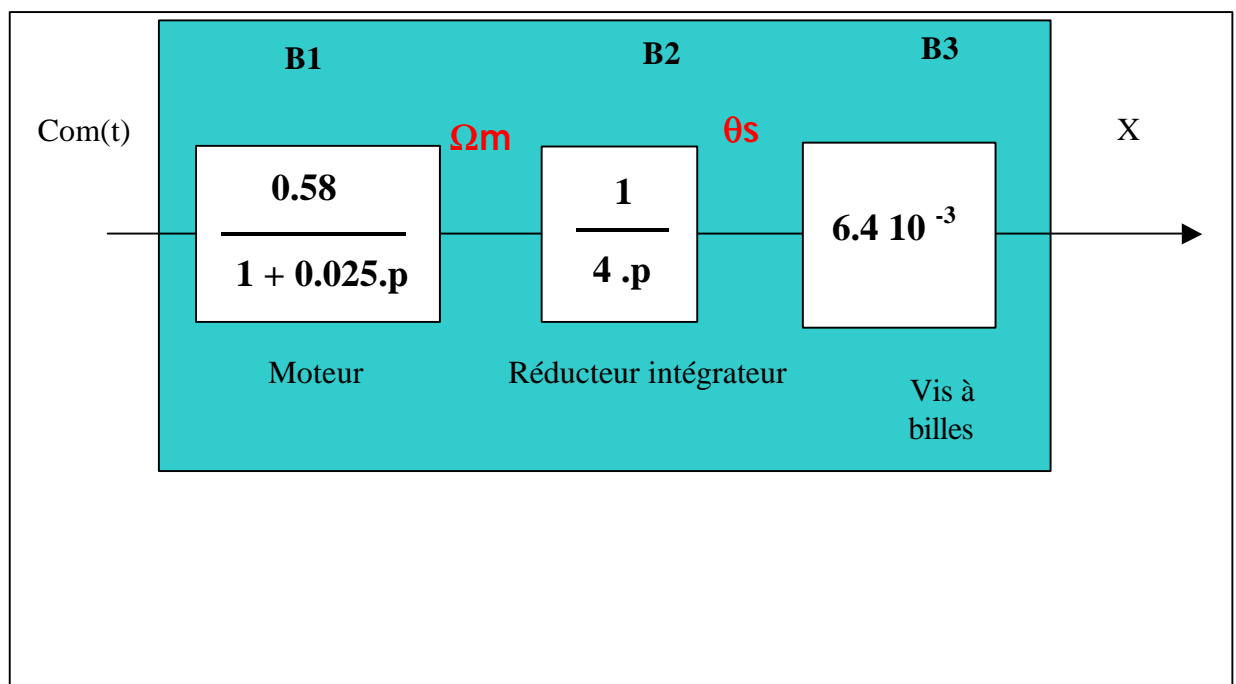
Le schéma-bloc correspondant à l'axe X de la machine outil est défini en annexe 1 (Fig. 12). Les hypothèses simplificatrices suivantes sont retenues :

- Le correcteur est un gain proportionnel KV ;
- le gain fixe KF de 100 correspond à la prise en compte de la règle incrémentale et de l'adaptation de tension en sortie de la carte de commande. Le schéma est donc à retour unitaire.
- le modèle du moteur $M(p) = \Omega(p)/U(p)$ est un premier ordre de constante de temps τ_m proportionnelle à la constante de temps à vide de coefficient JT/Jm. Jm étant l'inertie moteur et JT = Jm + inertie équivalente à la charge sur l'arbre moteur.
- On considère les couples résistants comme des perturbations aléatoires

Q30. Reproduire la partie encadrée en pointillés du schéma bloc de l'annexe 1 (Fig. 12).

Compléter cette chaîne en donnant les grandeurs physiques des liens entre chaque bloc

\dot{j}_i



Q31. A partir du document d'architecture des axes (voir annexe 1 tableau 1), **déterminer** littéralement puis numériquement les fonctions de transfert associées aux blocs B1, B2 et B3.

Expressions littérales :

$$\text{Bloc B1 : } \frac{K_m}{1 + \hat{\alpha}_m \cdot p} \text{ avec } K_m = 1/K_E \text{ et } \tau_m = \tau (JT/J_m) ; JT = Mx * \left(\frac{V}{\omega} \right)^2$$

$$\text{le rapport de réduction } \left(\frac{V}{\omega_m} \right) = \frac{1}{4} \frac{h}{2 * \Pi} = \frac{h}{8 * \Pi}$$

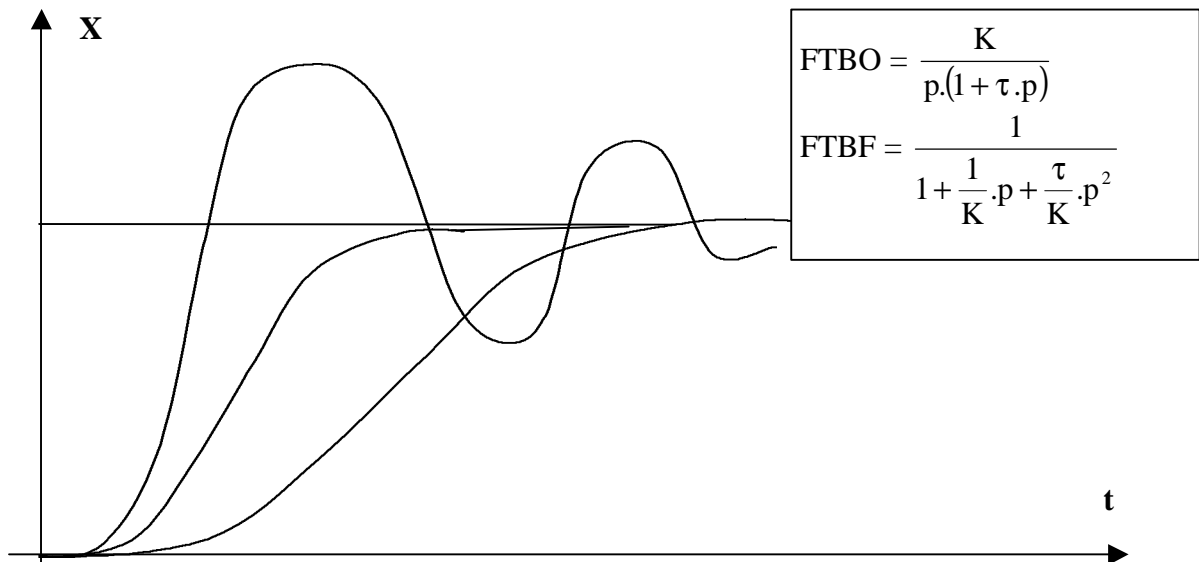
$$\text{d'où } JT = J_m + J_r = 16.8 \cdot 10^{-3} + 1800 * \left(\frac{h}{8 \Pi} \right)^2$$

$$\text{ce qui donne } \tau_m = 0.025 \text{ s ; } K_m = 0.58$$

$$\text{Bloc B2 : Réducteur et intégrateur } B2 = \frac{1}{4 \cdot p}$$

$$\text{Bloc B3 : glissière hélicoïdale } B3 = \frac{h}{2 \cdot \Pi}$$

Q32. Donner l'allure de la réponse $X(t)$ pour une entrée échelon pour au moins trois valeurs caractéristiques du gain variable KV .



Les trois cas classiques correspondent au dépassement du second ordre au cas $z=1$: le plus rapide sans dépassement et le cas $z > 1$

Q33. Justifier que l'erreur statique pour une entrée en échelon soit nulle quel que soit le gain de la chaîne directe, et que l'erreur de traînage soit non nulle.

Le système est de classe 1

Q34. Peut-on retenir pour l'axe Y le même modèle numérique que celui de l'axe X ? Si non proposer et justifier un modèle pour l'axe Y

Le modèle est presque le même seule la masse embarquée varie donc la constante de temps mécanique de Y est plus faible. L'application numérique donne $\tau_{my} = 21.5 \text{ ms}$

C 12- Modélisation et réglage multiaxe sur trajectoire rectiligne

La génération d'une trajectoire linéaire dans le plan XY, s'effectue par combinaison des mouvements selon les deux axes X et Y, le schéma bloc de commande est fourni en annexe 2 commande multiaxe à trajectoire rectiligne.

Le schéma bloc proposé de modélisation est dans un premier le temps identique selon les deux axes.

Q35. Justifier l'intérêt d'une consigne en rampe par rapport à un consigne en échelon pour réaliser une trajectoire inclinée à dans le plan X,Y.

Pour piloter une trajectoire inclinée par rapport au axes mécaniques de la machine il faut maîtriser la tangente au contour et donc la vitesse de chaque axe d'où la consigne en rampe dans le cas d'un contour rectiligne.

Q36. Quelle est la variable d'ajustement de l'inclinaison de la droite sur le schéma ?

On remarque sur le schéma le bloc pente qui est en fait le rapport des consignes entre les axes X et Y.

Q37. La réponse du schéma donne une trajectoire parfaitement conforme à la consigne, justifier ce résultat à partir de la modélisation retenue pour un seul axe et des performances associées (Annexe 1).

Si les deux modèles sont identiques et que les consignes en rampe sont égales il n'est pas surprenant que la réponse soit parfaite même lors des comportements transitoires.

En réalité on ne peut modéliser les deux axes par le même schéma bloc numérique appelé PO X (Partie Opérative de l'axe X) et PO Y (Partie Opérative de l'axe Y) sur le schéma.

Q38. Proposer pour l'axe Y une modélisation conformément à la question 31.

Voir question Q34 Le modèle est presque le même seule la masse embarquée varie donc la constante de temps mécanique de Y est plus faible. L'application numérique donne $\tau_{my} = 21.5 \text{ ms}$

Q39. *A partir de vos résultats de la question 38, le réglage optimal des gains GVX et GVY peut-il conduire à GVX = GVY si on règle X et Y indépendamment ? Sinon lequel doit on modifier pour atteindre GVX = GVY ?*

Comme les constantes de temps sont différentes si on règle les gains variables indépendamment au gain maximum sans dépassement ($z=1$) on ne va pas trouver des gains GVX et GVY égaux.

Si on souhaite qu'il soient égaux, on peut calculer l'influence de τ sur la gain K (voir FTBF question 32)

$$\frac{2.z}{\omega_n} = \frac{1}{K} \quad \text{et} \quad \frac{1}{(\omega_n)^2} = \frac{\tau}{K} \quad \text{d'où il vient avec } z = 1 : K = \frac{1}{4.\tau}$$

Donc si on règle les deux gains indépendamment on trouve un gain plus élevé sur l'axe ayant la constante de temps la plus faible ce qui donne ici $GVY > GVX$. Il faut donc diminuer GVY et l'aligner sur GVX pour éviter tous dépassements.

Q40. *Sur la première réponse proposée (GVX > GVY) lequel, de GVX ou de GVY, est le plus élevé ? Justifier votre réponse par quelques calculs simples. La différence de réglage entre les gains est d'environ 10 %. Évaluer les erreurs de trajectoire sur le tracé donné. Sont elles compatibles avec les tolérances données sur la pièce d'essai ?*

L'axe qui possède le gain le plus élevé est le plus rapide donc il atteint sa consigne avant l'autre. Sur le tracé donné on remarque que la réponse est plus proche de l'axe Y que de l'axe X, donc $GVY > GVX$.

On peut évaluer la distance entre la trajectoire théorique et la trajectoire réelle à 3/100 ou 4/100 de mm. Sur la pièce d'essai (Annexe 4) on remarque une tolérance sur les trajectoires inclinées de l'ordre de +/- 0.035 mm qui est du même ordre de grandeur que l'erreur théorique présentée par la différence entre les deux gains, ce qui est donc inacceptable.

Q41. *Au vu de la seconde réponse quelles sont les précautions de trajectoire à prendre pour réaliser des surfaces correspondantes sur la pièce d'essai ?*

Si on revient à des gains égaux on remarque que le défaut dû à la différence de constante de temps est transitoire donc il faut démarrer la trajectoire hors de la pièce et commencer l'usinage une fois le régime établi.

C 13- Modélisation et réglage multiaxe sur trajectoire circulaire

La génération d'une trajectoire linéaire dans le plan XY, s'effectue par combinaison des mouvements selon les deux axes X et Y, le schéma bloc de commande est fourni en annexe 3 commande multiaxe à trajectoire circulaire.

Le schéma bloc proposé de modélisation est dans un premier le temps identique selon les deux axes.

Q42. La figure 21 montre le schéma retenu pour la simulation de comportement. **Justifier** l'élaboration de la consigne puis **vérifier** qu'il s'agit d'une trajectoire circulaire ; **déterminer** les caractéristiques du cercle de consigne. **Quelle est l'influence** du bloc appelé facteur de vitesse ?

Les deux consignes sont la forme $\text{ConsX} = -20 + 20 \cdot \cos(\omega \cdot t)$ et $\text{ConsY} = 20 \cdot \sin(\omega \cdot t)$ ce qui donne bien par combinaison un cercle de rayon 20 mm de centre (-20,0). Avec $\omega = 1$ dans ce cas.
 ω est caractéristique de la fréquence de rotation autour du cercle : $\omega = 1$ correspond à un tour en $2 \cdot \Pi$ secondes.

Q43. **Quelle est la trajectoire réelle de la réponse dans le cas de la figure 23 (définir sa forme géométrique) ? Quel est le gain le plus élevé ?**

La trajectoire est proche d'une ellipse inclinée à 45° .
En repartant des deux réponses paramétriques à une entrée sinusoidale suivant chaque axe on a $x = KX \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_1)$ et $y = KY \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_2)$; dans notre cas le système est d'ordre 1 donc $KX = KY$ mais par contre $\varphi_1 \neq \varphi_2$ et de plus φ_1 et φ_2 dépendent respectivement de GVX et de GVY , c'est ce qui conduit à une ellipse dont le grand axe est incliné.

De la même façon qu'à la question 40 c'est vers l'axe le plus rapide donc celui qui présente le gain le plus élevé d'où pour la figure 23 : $GVX > GVY$.

Q44. **Quelle est la vitesse d'avance tangentielle de l'outil si le rayon est $R = 20 \text{ cm} = 200 \text{ mm}$?**

La vitesse d'avance tangentielle de l'outil : $V_a = \omega \cdot R = 1 \cdot 0.02 = 0.02 \text{ m/s} = 200 \text{ mm/s}$

Dans la figure 24 on choisit d'augmenter la vitesse tangentielle c'est-à-dire de réduire la durée de l'opération dans un rapport 4.

Q45. **Quelle est la variable d'ajustement utile sur le modèle fourni Fig. 21 ? Quelle est la conséquence sur la trajectoire obtenue Fig. 24 ?**

La variable est évidemment ω . Si ω augmente et passe à 4 rd/s on peut remarquer sur le diagramme de BODE (Fig 16 de l'annexe 1) que le gain statique évolue peu mais le déphasage lui augmente beaucoup. Cela provoque un retard de la sortie sur la consigne et donc un cercle de diamètre plus petit que celui de la consigne et aussi un parcours non effectué en totalité.

Un dernier réglage permet d'obtenir la trajectoire Fig. 25.

Q46. **Ce réglage est-il acceptable sur la machine pour d'autres types de trajectoire ?**

Le nouveau réglage consiste à augmenter considérablement le gain ce qui produira des dépassement de consigne ($Z < 1$) évidemment inacceptable en cas d'arrêt en position de l'outil suivant une direction (X ou Y).

La durée de simulation conduit à ce que la consigne exécute un tour complet de cercle

Q47. Pourquoi la réponse **ne décrit-elle pas le cercle** entièrement ? Comment **déterminer la durée de cycle** pour obtenir un cercle complet ?

Le déphasage introduit conduit à un retard de la réponse sur la consigne (qu'il est difficile d'annuler puisque la sortie est une conséquence de la consigne !!)
. Sur le diagramme de BODE pour $\omega = 4$ le déphasage est de 20° ce qui correspond à la portion de tour non décrite. Dans le cas pratique il suffit de choisir une durée 20 à 30% supérieure qui regroupe tous les cas de déphasage.

Partie D : Etude séquentielle

Cette partie porte sur la description des modes de marches de la commande générale de la machine Météor munie du changement de palette automatique.

La description retenue met en œuvre les nouveaux concepts de structuration d'une application définis par la norme CEI 60 848 (version 2002). (voir annexe i –pages 74 et 76 de la norme--).

D1 – Structuration par étapes encapsulantes

La nouvelle norme propose le concept d'étape encapsulantes défini par l'extrait (page 1 à 3) fourni en annexe. dans l'exemple donné en page trois les transitions seront notées $t_{i,j}$ avec i numéro de l'étape précédent la transition et j numéro de l'étape suivant la transition, on appelle donc $R_{i,j}$ la réceptivité associée à la transition $t_{i,j}$; pour les étapes 1, 2 ou 3 les compléments de notation $t_{G3/1-2}$ et $R_{G3/1-2}$ sont nécessaires car les grafjets partiels $G1, G2$ et $G3$ possèdent des numéros d'étapes communs. Pour la désignation des situations on retiendra donc $(G1(1), G2(3), 31, \dots)$ par exemple.

Q48. *Désigner la situation du grafjet global fourni lorsque l'étape 21 est active. On rappelle que la situation représente l'ensemble des étapes actives à un instant donné.*

La situation est (21)

Q49. *Désigner la situation du grafjet global à l'activation de l'étape encapsulante 23.*

La situation est (23, G1(1,85), G2(1), G3(2))

Q50. *On suppose que l'étape 23 ainsi que les trois étapes 1 des grafjets partiels G1, G2 et G3 sont actives ; l'étape 88 et l'étape 100 sont aussi actives ; la transition R88- passe de 0 à 1 quelle est la situation consécutive à cet événement ?*

La situation de départ est (23, G1(1,88), G2(1), G3(1), G24(100))
la transition puits suivant l'étape 88 est validée, si la réceptivité R_{88} - passe à 1 l'étape 88 est désactivée, donc G24 se retrouve en situation vide.

La situation devient donc (23, G1(1), G2(1), G3(1)).

D2 – Description du fonctionnement de METEOR

Le grafjet global du poste METEOR décrit la mise en route et l'arrêt du poste.

Q51. *La situation de départ est (0), la machine est vide de pièces. Donner la liste des situations successives séparées par les événements conditionnant une évolution en fonctionnement normal depuis la situation (0) jusqu'au début de l'usinage de la première pièce. Ce qui donne pour le début de la liste :*

(0)

MANU [0 1]

(1)

.....

La description correspond au fonctionnement en continu du poste.

La liste est :

- (0)
- MANU [0 1]
- (1)
- AUTO [0 1] avec CI vrai
- (E2,10)
- DeU [0 1]
- (E2, E11, 23, 30)
- acquit [0 1] avec pièce en position vrai
- (E2, E11, 23, 31) situation fugace (instable)
- (E2, E11, 23, 32) situation fugace (instable)
- (E2, E11, 20, 32)
- rotation effectuée [0 1]
- (E2, E11, 20, 30) situation fugace (instable)
- (E2, E11, 21, 30) **Début de l'usinage**

Q52. Comment l'opérateur peut-il arrêter la machine en considérant que R_{E11-10} est toujours fausse ?

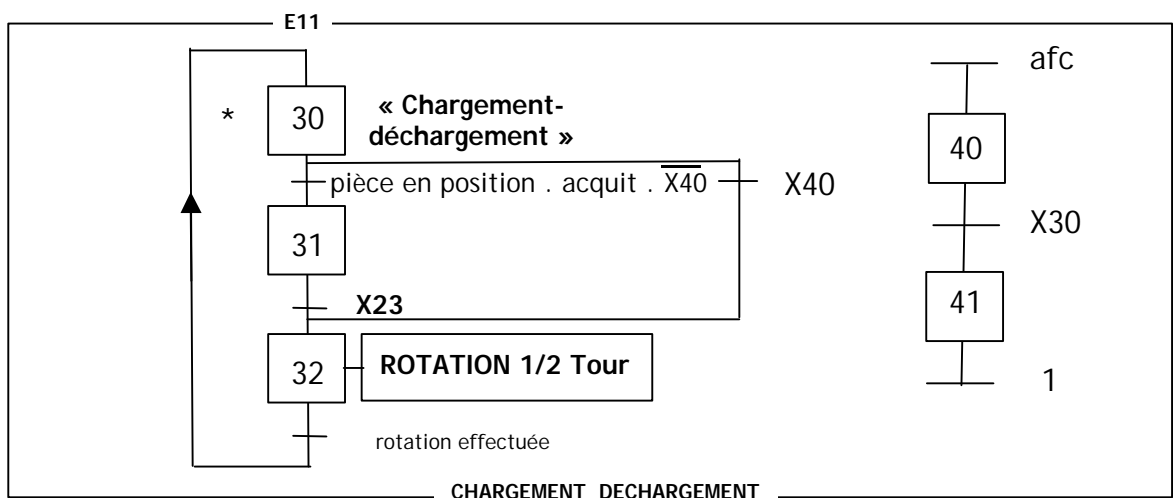
Si R_{E11-10} est toujours fausse alors l'opérateur peut :

1 - arrêter le fonctionnement par AU ou MANU mais il perd tous les états intermédiaires de la machine ce qui correspond à un arrêt de sécurité, la situation d'arrêt sera (0) ou (1)

2 - rechercher un arrêt en fin de cycle en bloquant le grafctet de chargement déchargement par le bouton acquit et le non renouvellement de la pièce, la situation d'arrêt sera (E2, E11, 30, 23).

Mais avec la pièce finie du côté machine donc non déchargeable.

Q53. Proposer une modification du grafctet et de la réceptivité R_{E11-10} incluant un bouton poussoir arrêt en fin de cycle « Arfc » qui arrête la machine en fin d'usinage de la pièce en cours.



On modifie le grafctet de chargement déchargement comme défini ci-dessus et on écrit $R_{E11-10} = X41$

Q54. *Proposer alors une écriture de ce grafcet global conservant les grafkets partiels « Chargement Déchargement » et « Usinage » sans le concept d'étape encapsulante mais en utilisant l'ordre interne de forçage.*

La proposition suivante garde une structure en quatre graphes proche de celle proposée dans la description d'origine

