

**concours externe  
de recrutement de professeurs agrégés**

---

**section : mécanique**

épreuve d'automatique industrielle

**durée : 4 heures**

*Calculatrice électronique de poche – y compris programmable, alphanumériques ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

*Tout document ou tout autre matériel électronique sont interdits*

**Tournez la page S.V.P.**

## USINAGE GRANDE VITESSE

### *Remarque préliminaire*

Le sujet commence par une présentation générale du système étudié, qui contient les informations nécessaires pour les quatre parties étudiées.

Ces quatre parties sont indépendantes. Elles doivent être traitées sur des copies séparées.

**Le sujet comporte 17 pages et 5 annexes :**

<b>Sujet :</b>		page
Présentation .....		1
Partie A : architecture de la machine .....		3
Partie B : étude théorique du comportement .....		5
Partie C : simulation logicielle du comportement .....		11
Partie D : Etude séquentielle .....		15
<b>Annexes :</b>		
1 : Architecture d'un axe .....		3 pages
2 : trajectoire multiaxe rectiligne .....		2 pages
3 : trajectoire multiaxe circulaire .....		4 pages
4 : pièce de certification .....		1 page
5 : extraits de la norme IEC 60848 .....		3 pages

## PRESENTATION

La société PCI, installée à Saint Etienne, construit des lignes complètes d'usinage pour des pièces de grande série, notamment pour le secteur automobile.

Les lignes flexibles sont constituées de centres d'usinage UGV (usinage grande vitesse) Météor 5 et Météor 15. Ces moyens de production assurent une productivité importante due à :

- l'usinage grande vitesse avec des rotations de broche de 15000 t/min,
- des déplacements rapides et de fortes accélérations pour réduire les temps morts,
- une conception dédiée à la grande production pour avoir une fiabilité importante malgré les sollicitations sévères (en moyenne 10 fois plus qu'un centre conventionnel).

**Fig.1**  
Exemples de pièces usinées  
(ici une culasse)



Présentation du centre d'usinage Météor 5.

Les centres d'usinage Météor ont une structure spécifique en acier avec des chaînes cinématiques optimisées pour offrir un excellent compromis entre la fiabilité et les performances.

**Fig.2** Photo MOCN Météor 5



### Caractéristiques principales du centre d'usinage Météor 5.

Course suivant les axes X, Y, Z :  
500/630/550 mm

Vitesses maxi (X, Y, Z) :  
60/ 60/ 60 m/min

Accélérations maxi (X, Y, Z) :  
6/ 6 /12 ms<sup>-2</sup>

Poussée maxi (X, Y, Z) :  
10/ 10/ 10 kN

Moteur broche :

- vitesse maxi : 15000 tr/min
- Puissance maxi : 25 kW
- Couple maxi : 95 mN

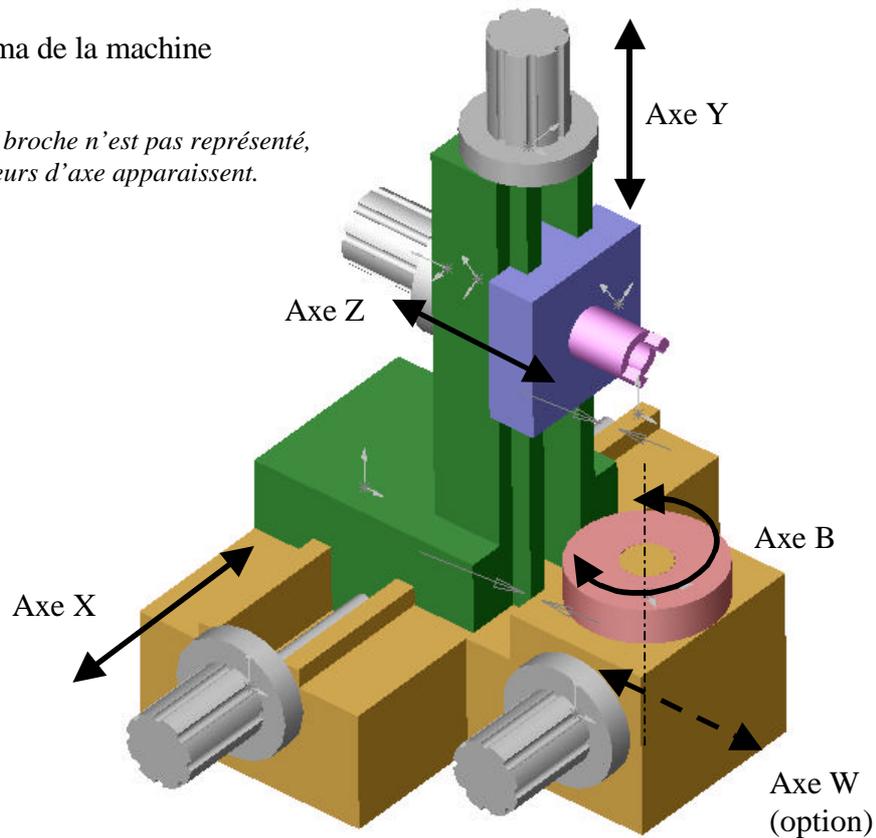
L'objet de l'épreuve est l'étude de l'architecture et de la commande de la machine, compte tenu des contraintes cinématiques et dynamiques liées à l'usinage.

Les axes de la machine :

- Le porte-outil dispose des mouvements de translation sur les trois axes (axes X, Y, Z).
- En configuration standard, le porte-pièces ne dispose que d'une rotation autour de l'axe Y (axe B).

**Fig.3** Schéma de la machine

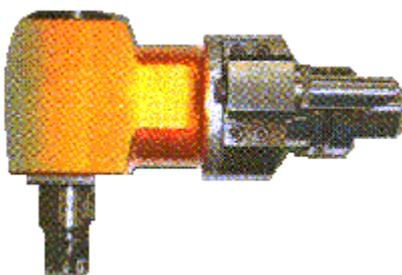
*Remarque :*  
Le moteur de broche n'est pas représenté, seuls les moteurs d'axe apparaissent.



En option, la machine dispose :

- d'une tête de renvoi d'angle,
- d'un axe linéaire W sous la pièce pour les alésages ou perçages profonds.

**Fig.4** Photo renvoi d'angle



**Fig.5** Photo axe W



## Partie A : Architecture de la machine

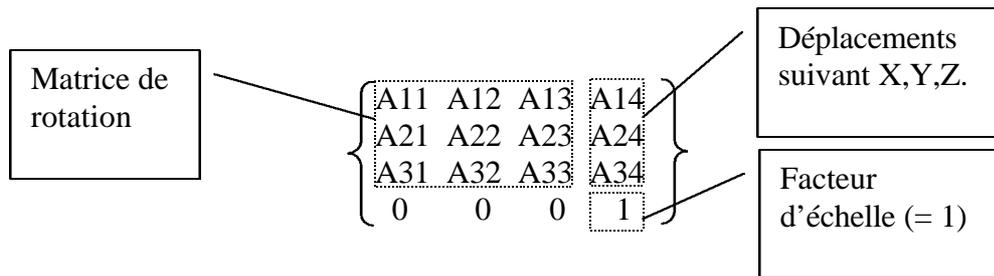
**Q1. Etablir le schéma cinématique de la machine Météor 5, dans sa configuration standard.**

**Q2. Etablir le modèle géométrique direct de la machine.**

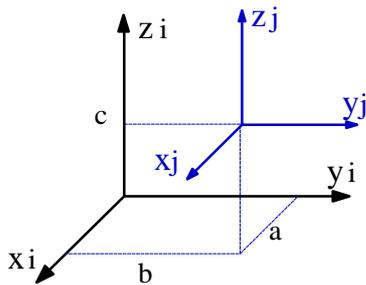
Il est demandé d'établir ce modèle sous forme de matrice homogène.

On rappelle :

Une matrice homogène est une matrice 4X4 de la forme :



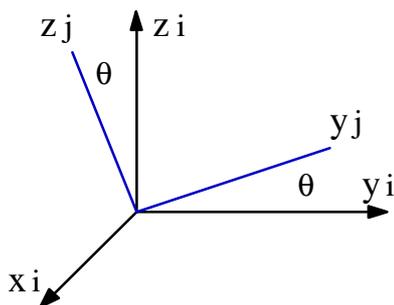
Exemple pour une translation pure :



La matrice de translation est :

$$M_{(Rj/Ri)} = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

Exemple pour une rotation pure :



La matrice de rotation d'axe X est :

$$M_{(Rj/Ri)} = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c\theta & -s\theta & 0 \\ 0 & s\theta & c\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

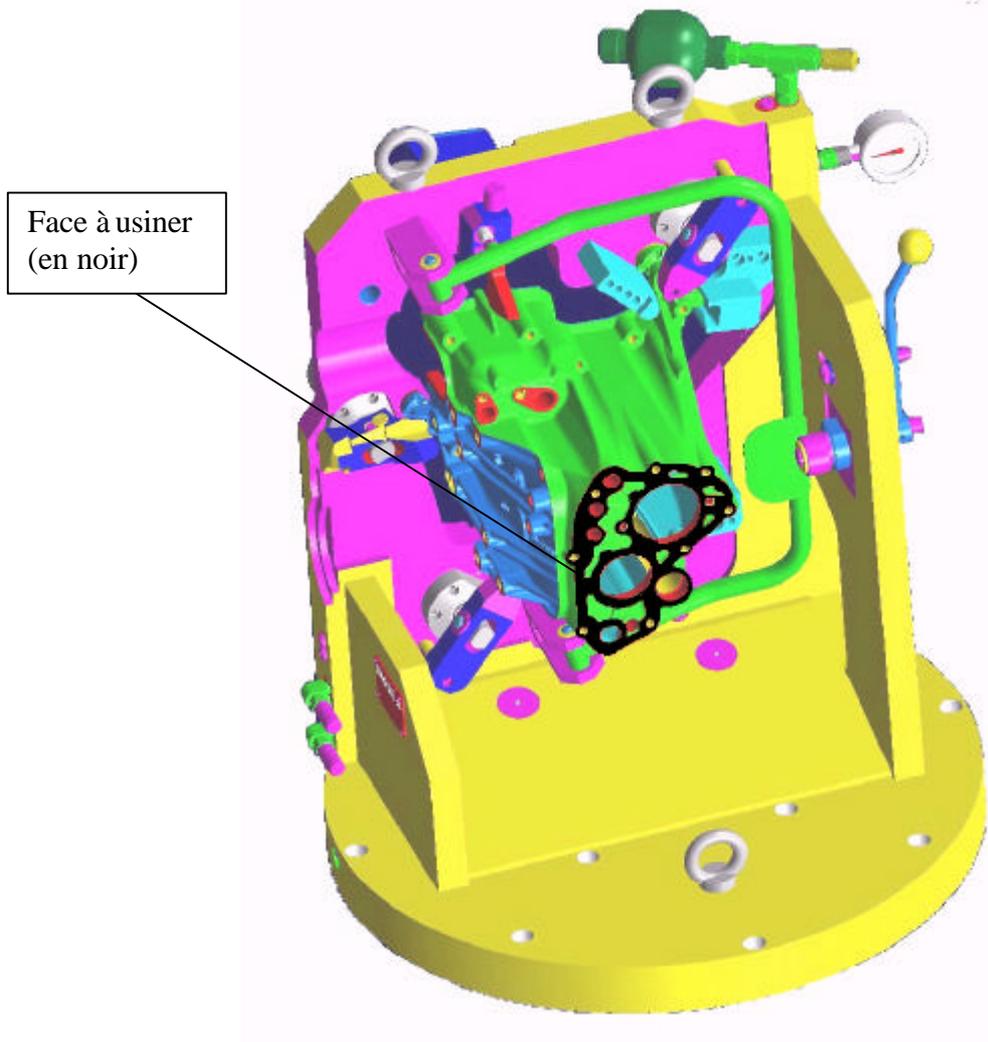
*Remarque :*

*cq* représente l'écriture abrégée de  $\cos(q)$   
*sq* représente l'écriture abrégée de  $\sin(q)$

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

**Q4. Proposer et justifier** une mise en place de la pièce donnée en figure 6, pour le surfacage 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.

**Fig.6** Pièce à réaliser



**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.

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

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

## Partie B : Etude théorique du comportement

En commande numérique certaines surfaces sont obtenues par contournage, c'est-à-dire en pilotant simultanément deux axes (ou plus) de la machine. On se limitera aux axes X et Y de la machine pour réaliser des formes géométriques simples dont les projections dans le plan X,Y de la machine sont

- des droites parallèles ou non aux axes machines
- des cercles de diamètres variables.

La pièce réalisée pour la réception de la machine (pièce de certification) présente des exemples de ces formes (voir annexe 4).

Dans l'opération de contournage, la trajectoire de l'outil détermine la géométrie de la surface obtenue si les paramètres d'usinage sont correctement mis en place : vitesse de coupe, géométrie et forme des outils coupants, réglages et mise en position de la pièce, etc. Cette étude se limite à ce cas.

### B-1 Contrôle et réception de la machine

**Q8.** L'annexe 4 présente la pièce de certification simplifiée avec ses cotes et spécifications.

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

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

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

**Q11.** Après usinage par contournage de toutes les surfaces, un contrôle métrologique de la pièce est effectué sur machine à mesurer tridimensionnelle.

La fig.7 en présente un extrait (les spécifications dimensionnelles sont prises sur 5 points, seuls les relevés des points extrêmes et du point central sont donnés ici).

Surface	Dimension	Tolérance	Spécification	Tolérance	Valeur mesurée
<b>B1</b>	255,2 /B3	0,035			Point X- 255,191 Point milieu 255,198 Point X+ 255,193
			Perpend. /B4	0,035	0,002
			Perpend. /B2	0,035	0,009
			Paral. /B3	0,025	0,002
			Rectitude	0,010	0,002
<b>B2</b>	255,2 /B4	0,035			Point Y+ 255,213 Point milieu 255,212 Point Y- 255,206
			Rectitude	0,010	0,003
<b>B3</b>			Rectitude	0,010	0,002
<b>B4</b>			Rectitude	0,010	0,002
<b>J1</b>	179,266 /J3	0,035			Point X- 179,261 Point milieu 179,260 Point Y+ 179,257
			Perpend. /J2	0,035	0,001
			Perpend. /J4	0,035	0,015
			Paral. /J3	0,025	0,005
			Rectitude	0,010	0,003
<b>J2</b>	179,266 /J4	0,035			Point Y- 179,272 Point milieu 179,263 Point X- 179,260
			Rectitude	0,010	0,005
<b>J3</b>			Rectitude	0,010	0,002
<b>J4</b>			Rectitude	0,010	0,006
<b>C</b>	20H7	0,021			20,026
<b>A</b>	Ø254,366	0,035			254,364
			Circularité	0,035	0,015

**Fig.7** Tableau des résultats de contrôle (extrait)

On constate que, tout en restant dans les tolérances imposées, les dimensions des surfaces Ji sont plus difficiles à tenir que les dimensions des surfaces Bi. Les spécifications géométriques sont très voisines pour les deux ensembles de surface.

Les surfaces de section circulaire sont toutes obtenues par contournage, c'est à dire par interpolation circulaire. Le diamètre 20H7 est hors tolérance. Le diamètre de 254 est dans les tolérances au niveau dimensionnel, sa spécification de circularité, tout en restant dans la tolérance, reste le point à surveiller.

*Expliquer les raisons probables de ces résultats.*

## B2 : Modèle théorique de commande en trajectoire linéaire

Fonctionnement théorique d'une commande d'axe en interpolation :

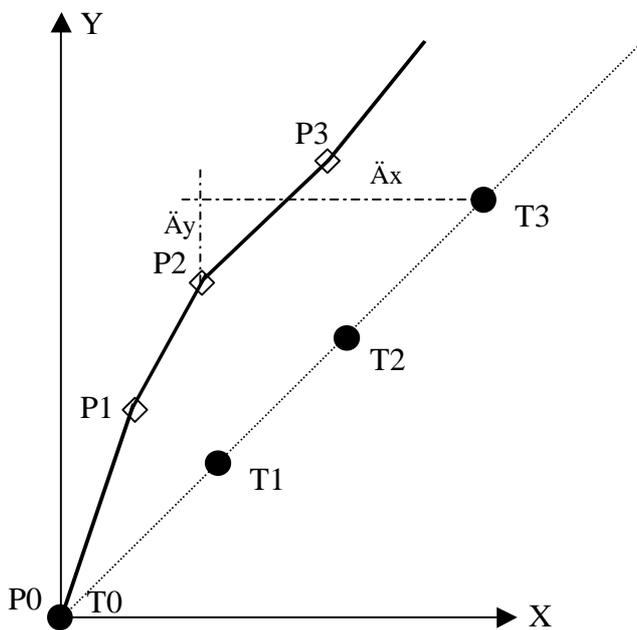


Fig.8 Modèle de commande

Les points  $T_i$  représentent les points de la trajectoire théorique (centre de la fraise). Leurs positions relatives sont fonction de la vitesse d'avance ( $V_f$ ) programmée et de la fréquence d'échantillonnage des calculateurs d'axe ( $F$  pour tous les axes). Les points  $P_i$  sont les points réellement atteints, compte tenu des différences de gain sur les deux axes.

Lorsqu'un point réel  $P_i$  est atteint, on va chercher à générer une commande en vitesse permettant d'atteindre le point suivant de la trajectoire, à savoir le point  $T_{i+1}$ .

Ainsi, chaque coordonnée d'un point  $P_{i+1}$  peut se calculer à partir des coordonnées du point précédent  $P_i$  auxquelles s'ajoute une variation proportionnelle aux écarts  $\ddot{A}_x$  et  $\ddot{A}_y$ . Le coefficient de proportionnalité est le gain statique des boucles d'asservissement de vitesse (respectivement  $G_x$  et  $G_y$ ).

Hypothèses :

1. les axes sont rigides
2. les forces de coupe sont négligeables et ne modifient pas la trajectoire.

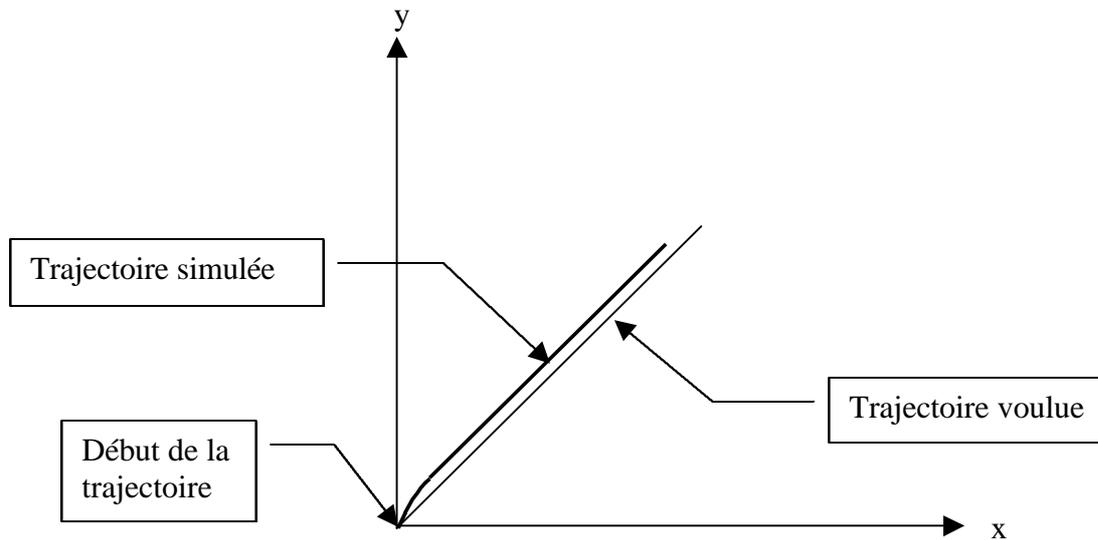
Pour simplifier cette étude, on considèrera que :

1. les effets dynamiques sont négligés dans cette partie
2. le temps de calcul est considéré comme négligeable, à savoir qu'en tout point  $P_i$ , les nouvelles consignes sont instantanément calculées et transmises aux cartes d'axes.
3. La réponse à un échelon est un échelon

**Q12.** Une simulation logicielle à partir du modèle de commande donné en figure 8 est réalisée avec des gains statiques  $G_x$  et  $G_y$  des axes X et Y différents ( $G_x \neq G_y$ ). La trajectoire théorique de consigne est une droite à  $45^\circ$ .

La simulation de l'interpolation linéaire par logiciel a donné le résultat ci-après (fig.9).

*Interpréter le résultat obtenu.*



**Fig.9** Simulation de l'interpolation linéaire

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

**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  $T_{i+1}$ .

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

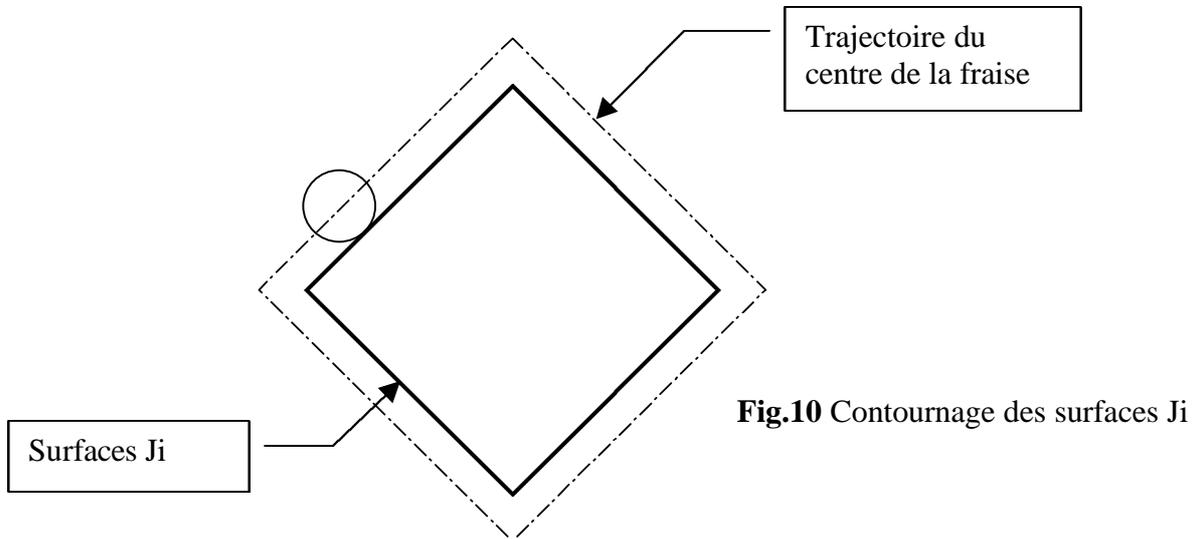
**Q16.** **Enumérer** les critères influant sur la qualité de la trajectoire réelle.

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

**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) ?

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



**Fig.10** Contournage des surfaces Ji

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

### B-3 : Modèle théorique de commande en trajectoire circulaire

**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  $F$ .

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

**Q23.** Quelle forme obtient-t-on ?

**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

**Q25.** Quelle est l'influence sur la trajectoire du sens de  $V_f$  (sens trigo ou antitrigo), dans le plan XY ?

**Q26.** Après usinage des surfaces cylindriques A (20H7) et C ( $\varnothing 254,366$ ), un contrôle métrologique de la pièce est effectué sur machine à mesurer tridimensionnelle, dont on rappelle les résultats :

Surface	Dimension	Tolérance	Spécification	Tolérance	Valeur mesurée
C	20H7	0,021			20,026
A	$\varnothing 254,366$	0,035	Circularité	0,035	254,364 0,015

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

**Justifier** la difficulté à obtenir le 20H7.

**Q27.** Sur quels paramètres **intervenir** pour améliorer le défaut de circularité observé sur le  $\varnothing 254,366$  ?

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

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

## Partie C : Simulation logicielle du comportement

Cette partie correspond à la mise place d'une simulation informatique des trajectoires en contournage de la machine.

Elle débute par la validation du modèle de simulation d'un axe asservi puis se poursuit par le choix des consignes propres à chaque type de surface pour conclure sur l'analyse des résultats de simulations des relations entre les grandeurs mécaniques de construction et des paramètres de réglages des asservissements et les défauts de générations des surfaces.

### 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  $\tau_m$  proportionnelle à la constante de temps à vide de coefficient JT/Jm. Jm étant l'inertie moteur et  $JT = J_m + \text{inertie équivalente à la charge sur l'arbre moteur}$ .
- 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  $j_i$ .

**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.**

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

Le réglage retenu est celui du gain maximum sans dépassement, dans ces conditions les réponses à un échelon, à une rampe et à une entrée sinusoidale sont données sur le document Annexe 1 (Fig. 13, 14, 15 et 16) : Modèle de l'axe X et réponses aux entrées types.

**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.

**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

### **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 dans le plan X,Y.

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

**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).

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.

Deux résultats de simulation sont fournis sur l'annexe 2 :

- le premier en donnant deux gains variables GV différents (GVX GVY) pour des parties opératives considérées identiques
- le second en reprenant des gains identiques mais avec des parties opératives dont les modèles tiennent compte des différences entre X et Y.

**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  $GVX = GVY$  ?

**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 %. Evaluer les erreurs de trajectoire sur le tracé donné. Sont elles compatibles avec les tolérances données sur la pièce d'essai ?

**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 ?

### **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 ?*

La figure 22 propose pour une modélisation identique des deux axes ( $GVX = GVY$  et même modélisation de la Partie Opérative) un suivi de qualité de la trajectoire circulaire. La figure 23 montre le résultat obtenu avec  $GVX \neq GVY$  avec une modélisation de la partie opérative identique.

**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 ?*

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

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 ?*

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 ?*

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 ?*

## 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 (voir fig. 11).

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 5).

### 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(2), G3(1), ...) 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.

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

**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 ?

### 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.

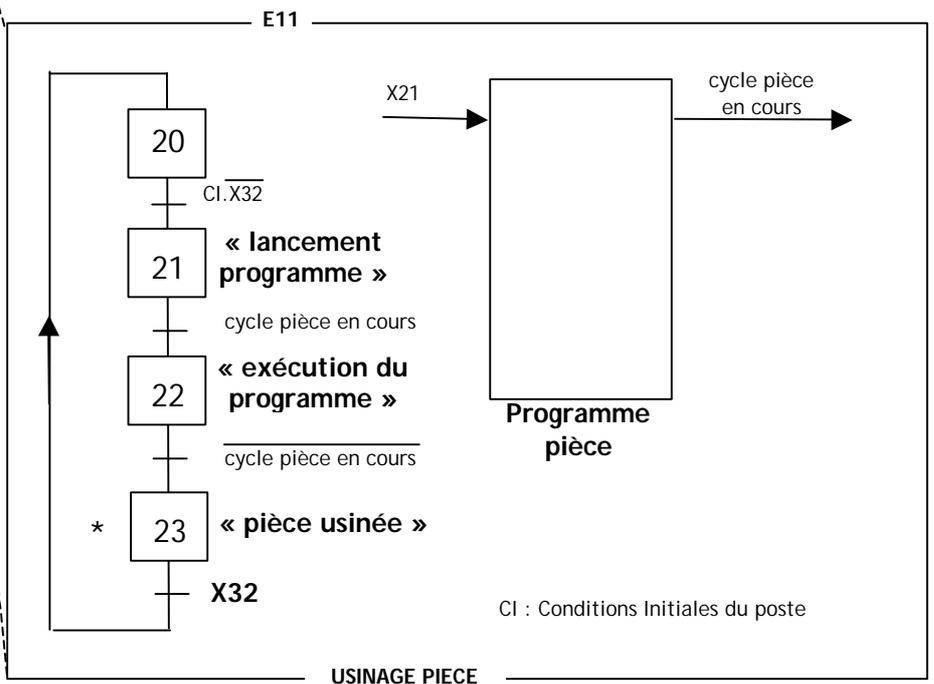
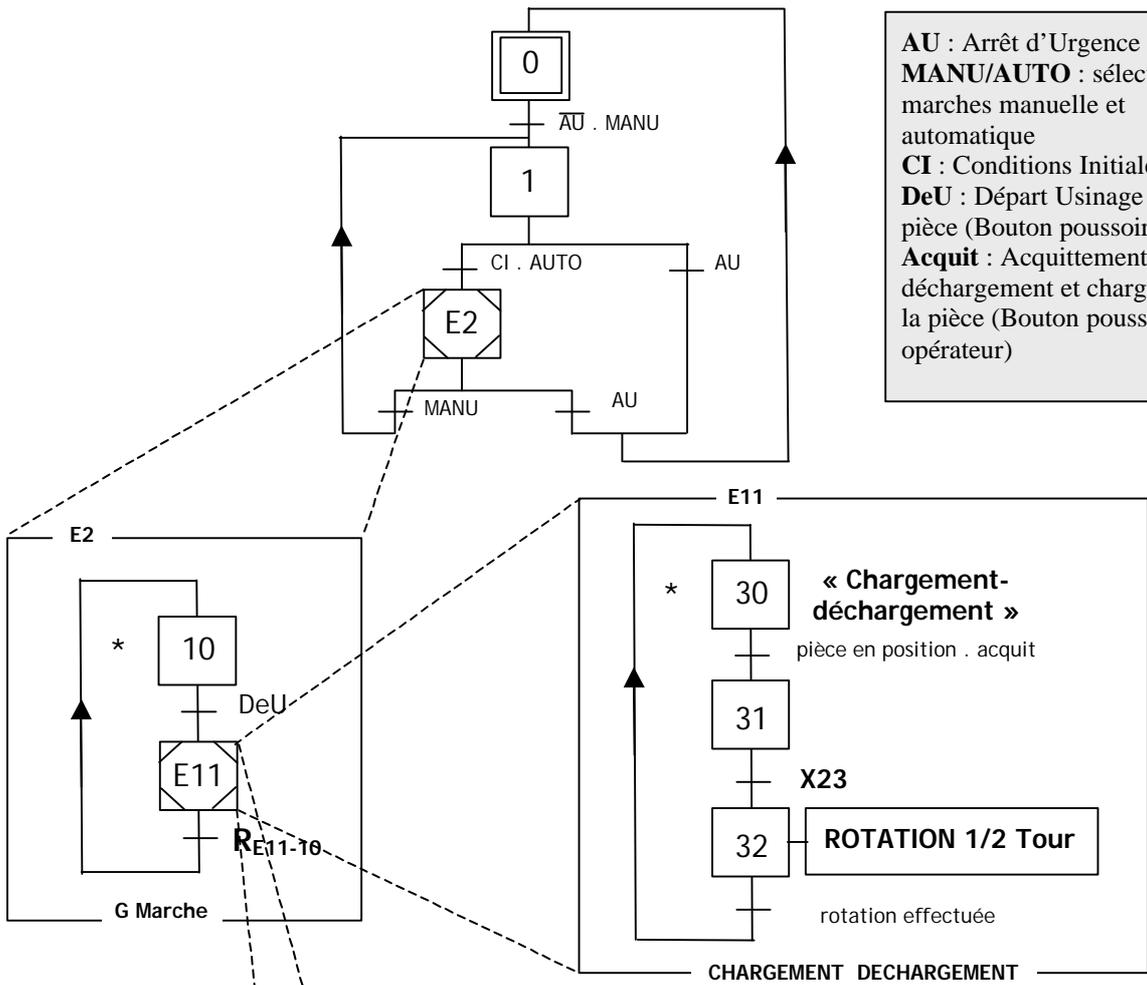
**Q52.** Comment l'opérateur **peut-il arrêter** la machine en considérant que  $R_{E11-10}$  est toujours fausse ?

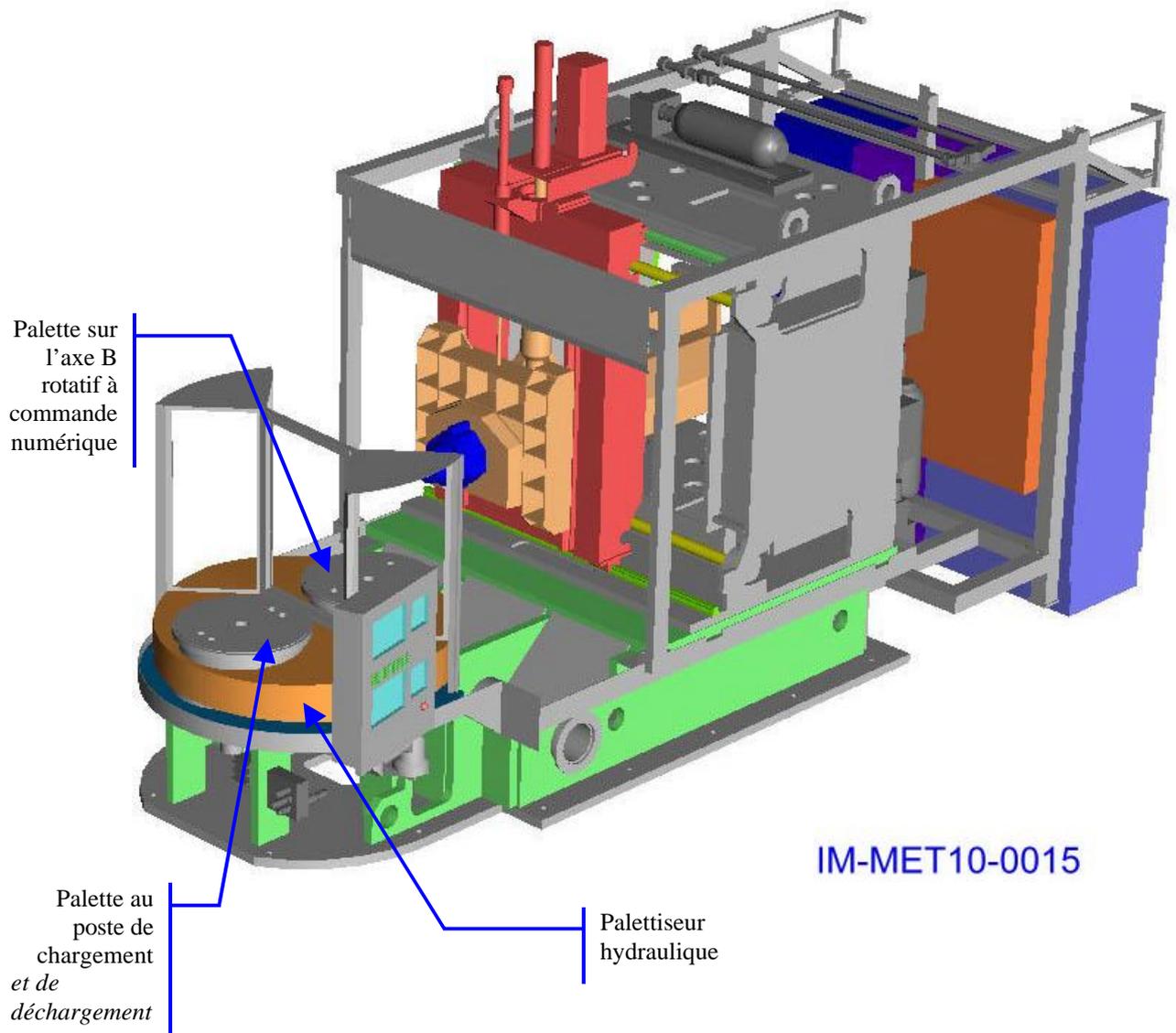
**Q53. Proposer** une modification du grafjet et de la réceptivité  $R_{E11-10}$  incluant un bouton poussoir arrêt en fin de cycle « Arfc » qui arrête la machine en fin d'usinage de la pièce en cours.

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

# GRAFNET GLOBAL DU POSTE METEOR

**AU** : Arrêt d'Urgence  
**MANU/AUTO** : sélecteur de marches manuelle et automatique  
**CI** : Conditions Initiales  
**DeU** : Départ Usinage de la pièce (Bouton poussoir)  
**Acquit** : Acquittement de déchargement et chargement de la pièce (Bouton poussoir opérateur)





**Fig.11** : machine Météor munie du changement de palette automatique