

EPREUVE DE CONCEPTION DES SYSTEMES

**Eléments de corrigé et
commentaires**

PARTIE 1

Q1 : Proposer un décodage selon la normalisation en vigueur des spécifications suivantes :

25 % des candidats n'ont pas traité cette question, 22% des candidats ont correctement répondu. Sur un thème de décodage des spécifications, les réponses sont encore imprécises.

Référence.

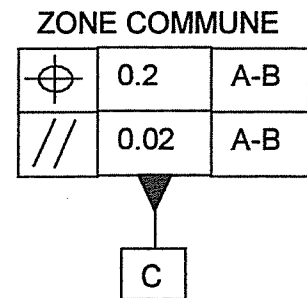
C'est un cas de référence commune.

Éléments de référence : deux surfaces extraites nominalement cylindriques (portées A et B).

Référence spécifiée : Droite, axe du cylindre associé aux éléments de référence suivant le critère du cylindre minimum circonscrit.

Élément tolérancé.

Élément tolérancé unique, construit : surface médiane non idéale nominalement plane de la rainure en bout d'arbre. Cette rainure étant en deux parties, ZONE COMMUNE nous indique qu'il faut traiter ces deux parties comme une seule.

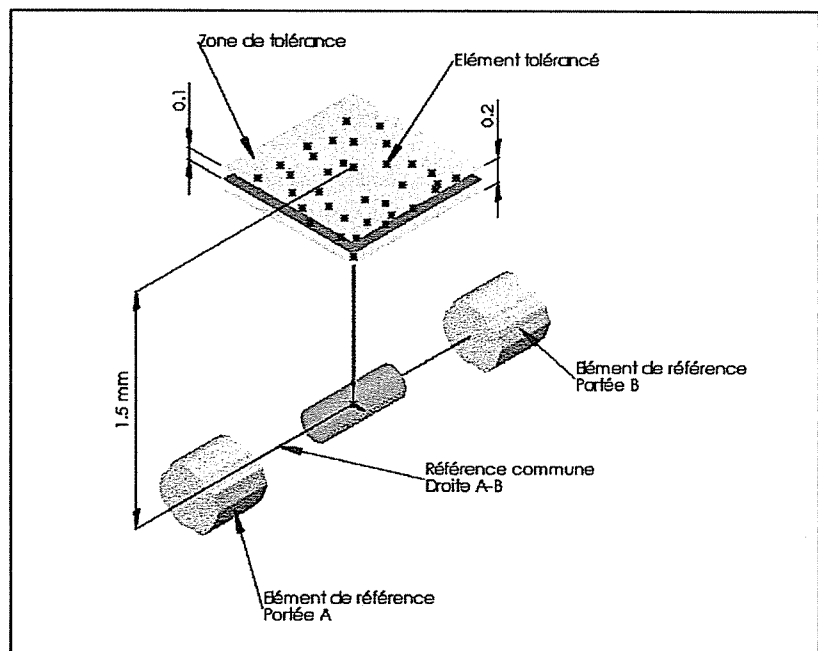


Spécification de localisation

Zone de tolérance : deux plans parallèles distants de 0.2 mm, dont le plan médian est situé à une distance de 1.5 mm (dimension théorique exacte) de la référence, droite A-B.

Remarque : la zone de tolérance n'est pas contrainte en translation et en rotation suivant la droite A-B.

Critère de conformité : la spécification est respectée si l'élément tolérancé se trouve dans la zone de tolérance.

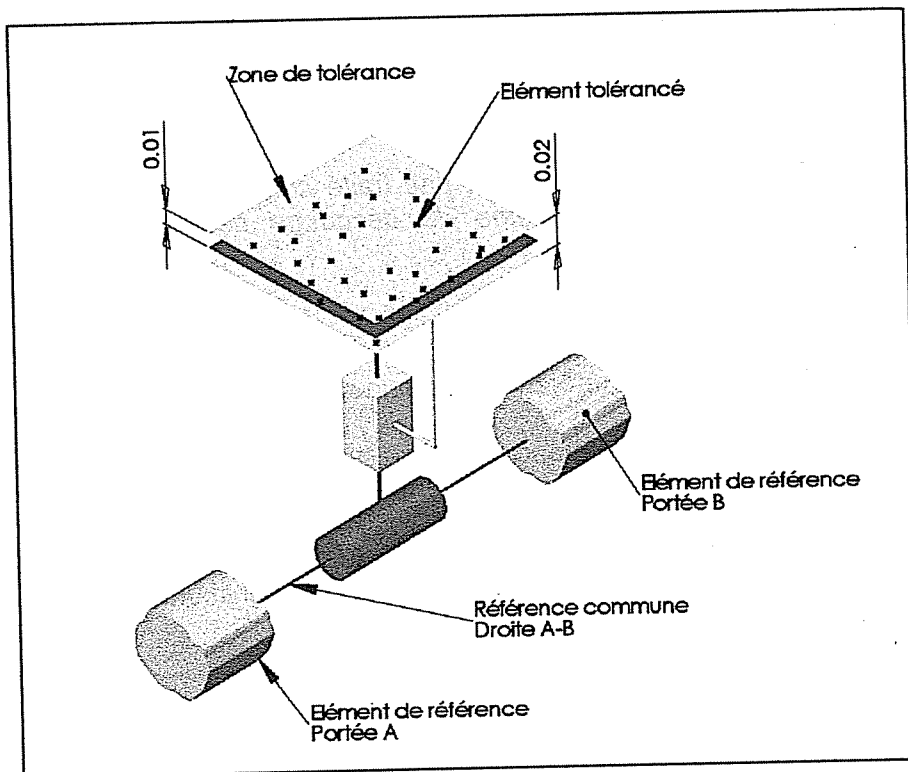


Spécification de parallélisme

Zone de tolérance : deux plans parallèles distants de 0.02 mm, dont le plan médian est parallèle à la référence, droite A-B.

Remarque : la zone de tolérance n'est pas contrainte en translation et rotation suivant le droite A-B, ni en translation perpendiculairement à la droite A-B.

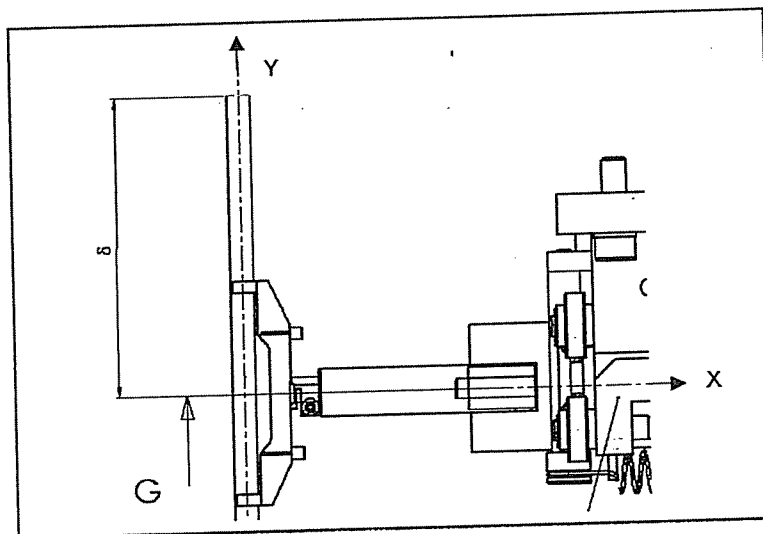
Critère de conformité : la spécification est respectée si l'élément toléré se trouve dans la zone de tolérance.



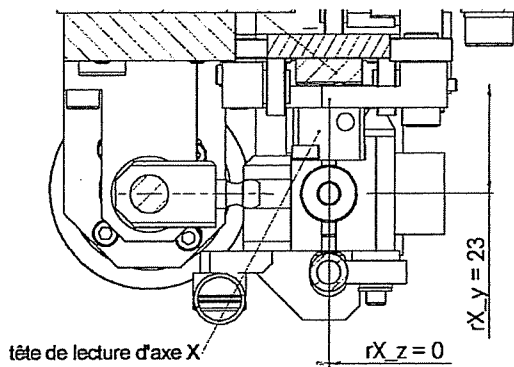
Q2 : Quels sont les axes qui respectent (ou ne respectent pas) le principe d'ABBE ? En prenant les mesures sur les documents 1 et 2, chiffrer l'offset d'ABBE pour les deux axes X et Z. Quelle est l'influence au niveau des performances de la machine ? Il est demandé une analyse qualitative permettant de hiérarchiser les paramètres à priori influents.

16 % des candidats n'ont pas traité cette question, 13% des candidats ont correctement répondu. Beaucoup de candidats ont mesuré l'offset entre l'axe de la glissière et le point fonctionnel.

Le point de contact pièce-barreau peut se faire à une distance $\pm \delta$ de l'axe X dans la direction Y.

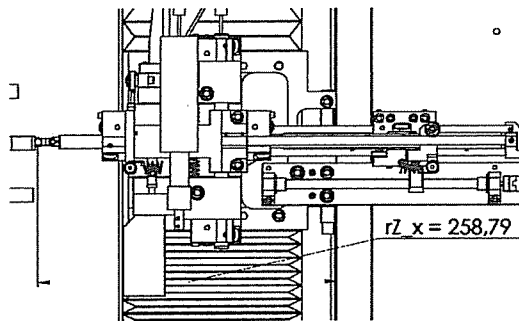


Mesure de l'offset d'Abbe de l'axe X



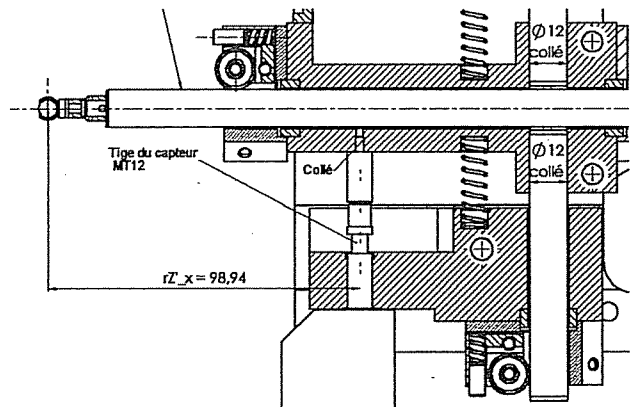
$$rX_y = 23 \pm \delta \text{ mm et } rX_z = 0 \text{ mm}$$

Mesure de l'offset d'Abbe de l'axe Z



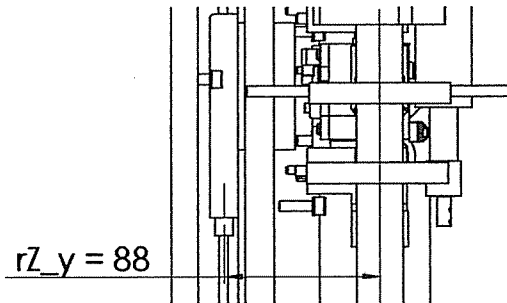
$$rZ_x = 259 \text{ mm}$$

Mesure de l'offset d'Abbe de l'axe Z'



$$rZ'_x = 99 \text{ mm et } rZ'_y = 0 \pm \delta \text{ mm}$$

Mesure de l'offset d'Abbe de l'axe Z



$$rZ_y = 88 \pm \delta \text{ mm}$$

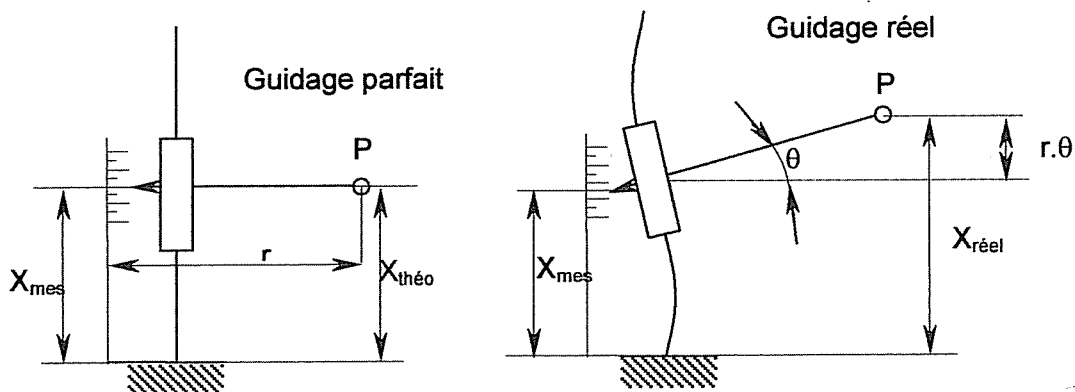
Nous pouvons en déduire un classement des axes respectant le principe d'Abbe (par offset croissant) : Axe X > axe Z' > axe Z.

Précision de mesure exigée dans le cahier des charges : Axe X : $\pm 1 \mu$ et Axe Z : $\pm 2.5 \mu$.

Classe de précision des capteurs : Axe X = $0,5 \mu$, Axe Z' = $0,5 \mu$, Axe Z = 5μ .

Nous constatons que les choix du constructeur en terme d'architecture de machine et de choix des capteurs sont cohérents vis à vis du cahier des charges.

Au niveau des performances de la machine, l'existence d'un offset engendre une plus grande influence des rotations du coulisseau au point fonctionnel.



Sur un guidage parfait la position théorique du point fonctionnel P est égale à la position mesurée d'un point du coulisseau par rapport à la base.
 Dans un guidage réel la position du point fonctionnel P est égale à la position mesurée d'un point du coulisseau par rapport à la base à laquelle s'ajoute une composante inconnue qui provient de la rotation θ du coulisseau. La valeur de cette composante est proportionnelle à l'Offset d'Abbe r .

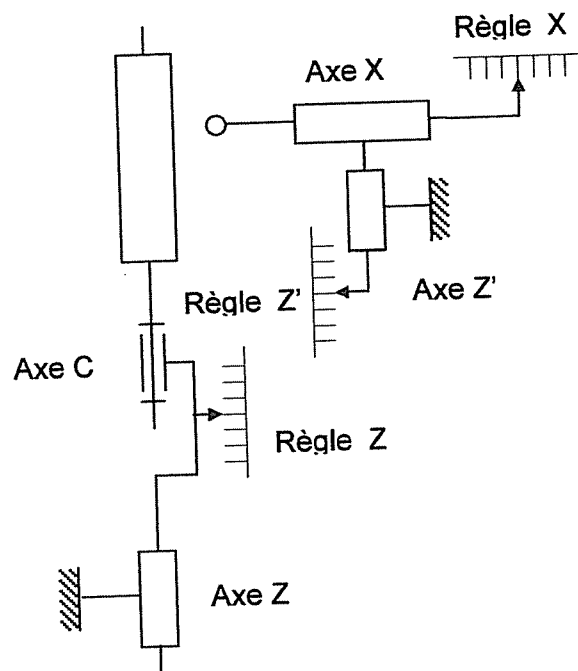
Q3 : Proposer d'autres architectures de machine pour la même morphologie de pièce. Effectuer une analyse critique au vu du respect du principe d'ABBE.

62 % des candidats n'ont pas traité cette question, 5% des candidats ont correctement répondu. Beaucoup de candidats ont inversé le respect du principe d'Abbe sur l'axe des X avec l'axe Z.

Sans changer l'architecture de la machine, des modifications locales peuvent être réalisées pour diminuer l'offset d'Abbe sur l'axe Z. Par exemple en mettant la règle de mesure à gauche du guidage d'axe Z.

Par contre, il ne fallait pas proposer des architectures qui réalisent un meilleur respect du principe d'Abbe sur l'axe Z au détriment de l'axe X. Il faut en effet rester dans la fonction première de la machine, qui est de mesurer des vilebrequins et des arbres à cames. Ces composants mécaniques ont des spécifications géométriques et dimensionnelles radiales plus réduites que les spécifications axiales.

Solution 1 : proposée par le plus de candidats



Avantage : Meilleur respect du principe d'Abbe sur l'axe Z
 Inconvénients : Poids de la pièce embarquée sur le guidage Z (problème de rigidité) et encombrement maximal sur Z.

Pour plus d'informations sur le « principe d'Abbe généralisé » on pourra consulter l'article proposé par André Clément dans Technologie et Formation n° 32, pour ce qui est des machines respectant au mieux le principe d'Abbe on pourra consulter l'article de J.B Bryan & D.L. Carter traduit par André Clément dans Technologie et Formation n° 19.

Q4 : Quelles sont les contraintes géométriques que doivent respecter les sous-ensembles suivants pour garantir la qualité des mesures ?

- SE₁ : axe Z vertical ;
- SE₂ : axe X radial et axe Z' (considérés comme un ensemble rigide) ;
- SE₃ : axe C
- SE₄ : bâti.

23 % des candidats n'ont pas traité cette question, 5% des candidats ont correctement répondu. Beaucoup de candidats ont placé des contraintes géométriques sans en justifier le besoin.

L'axe Z doit être vertical, ce qui permet de s'affranchir de la flexion de la pièce (1/100 mm en flexion contre 0.5 μ en compression pour un vilebrequin de 400 mm et de 36 kg).

Le sous-ensemble SE₁ est composé d'une glissière Z et sera défini à partir d'un plan PL_Z et d'une droite DR_Z.

Le sous-ensemble SE₂ est composé d'une glissière X et sera défini à partir d'un plan PL_X et d'une droite DR_X.

Le sous-ensemble SE₃ est composé de l'axe C et sera défini à partir d'une droite DR_C et d'un point PT_C.

Le sous-ensemble SE₄ est composé du bâti et sera défini à partir d'un repère complet plan PL_b, droite DR_b point PT_b.

Le point fonctionnel est noté P (étude avec palpeur sphérique).

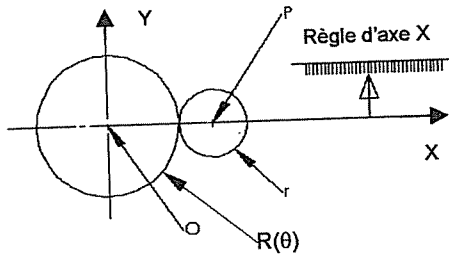
Il s'agit de définir les contraintes géométriques minimales pour garantir la mesure de pièces de révolution FP1.

Sans restreindre la généralité de l'étude on peut imposer DR_Z coplanaire avec PL_Z, DR_X coplanaire avec PL_X et PT_C appartenant à DR_C. De plus on peut prendre PT_C et PT_b coïncidents, DR_C et DR_b coïncidents et DR_b et PL_b coplanaires.

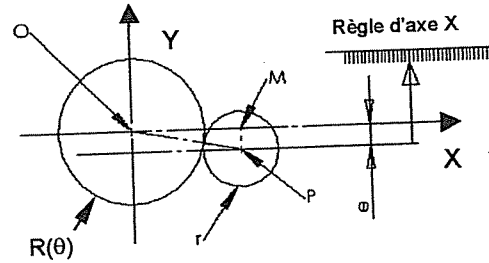
N°	Caractérisation	Contrainte
1	Respect de l'architecture machine (pas d'effet de flexion dans la pièce)	DR _C verticale
2	Palpage d'un cylindre de référence d'axe DR _C sans générer un défaut de conicité	DR _C parallèle à DR _Z
3	Palpage d'un plan de référence perpendiculaire à l'axe DR _C en découplant les axes Z et X (ce qui permet de palper le plan à Z constant en motorisant uniquement l'axe X, la mesure est réalisée par l'axe Z')	DR _X perpendiculaire à DR _Z
4	Palpage radial, le plan défini par le point P et la droite DR _C doit être parallèle à la droite DR _X . Ceci garantit que la trajectoire du point fonctionnel rencontre l'axe de rotation. Ce qui permet de mesurer avec la règle d'axe X directement les variations de rayon de la pièce.	Localisation de P par rapport à PL _X , de PL _X par rapport à PL _b et de DR _C par rapport à PL _b .

Les conditions 1, 2 et 3 sont à respecter au mieux. La condition 4 est exprimée pour un palpeur sphérique. Le non-respect de cette condition n'influe pas sur une mesure de défaut de forme par contre elle engendre une erreur systématique dans une mesure de diamètre. Cette erreur systématique est corrigée par l'étalonnage de la machine. Cette condition est atténuée si l'on utilise un palpeur barreau cylindrique.

Dans la figure ci-dessous, O est le centre de la section palpée (coaxiale avec l'axe de rotation), $R(\theta)$ est le rayon polaire, P est le centre de la sphère de palpation de rayon r , X est l'axe de la mesure. La grandeur mesurée par la règle est $OM = OP \cdot X$



Mesure de la règle :
 $OM = OP = R(\theta) + r$
 $\Delta OM = \Delta R(\theta)$



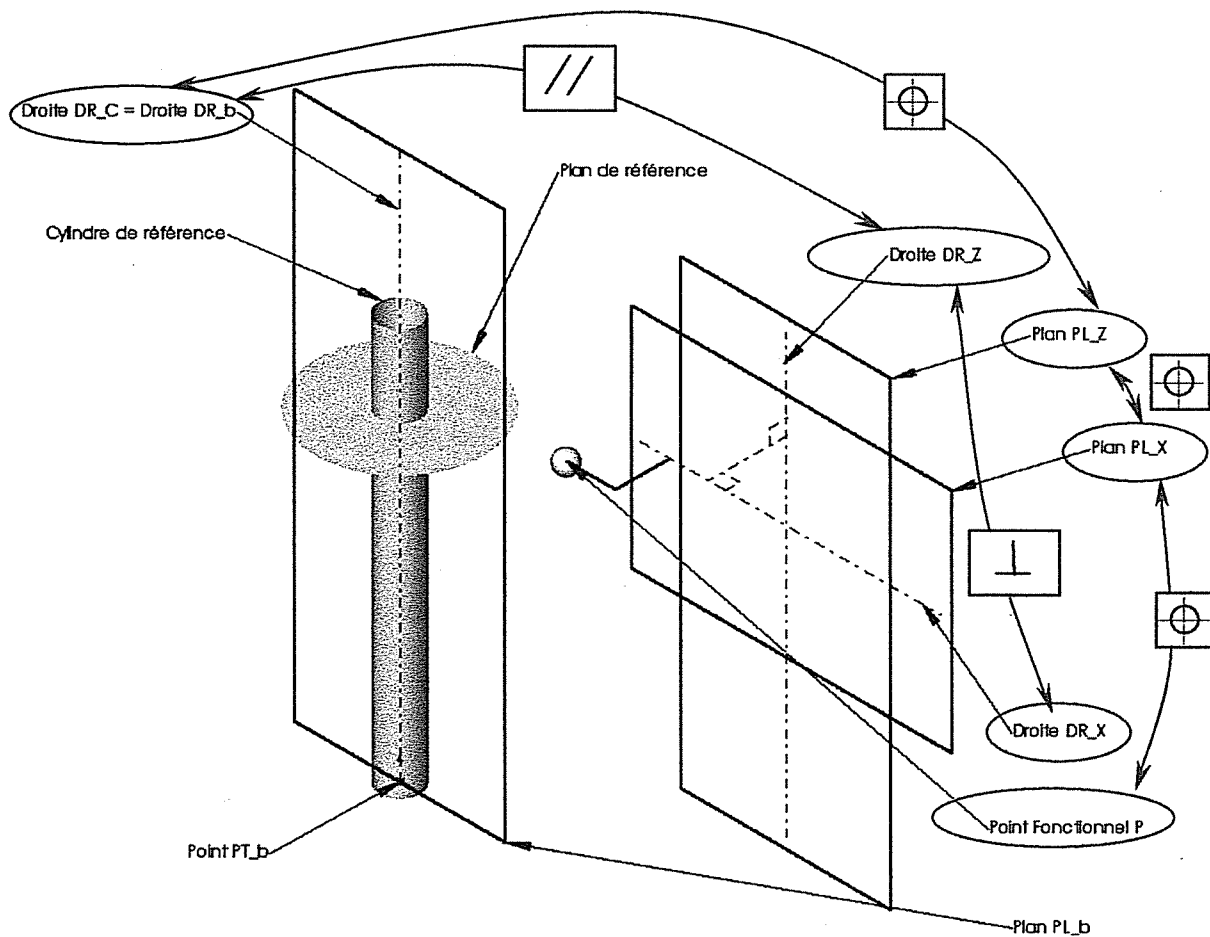
Mesure de la règle :
 $OM = (R(\theta) + r) \cdot \sqrt{1 - \frac{e^2}{(R(\theta) + r)^2}}$
 $\Delta OM \approx \Delta R(\theta)$

Sans entrer dans des modèles complexes on pouvait aussi justifier l'influence d'un palpation d'une section non coaxiale avec l'axe de rotation, l'influence d'un palpation avec un barreau, etc.

D'autres conditions peuvent être ajoutées (comme rendre toutes les entités coplanaires) mais ne sont pas indispensables au bon fonctionnement de la machine.

Q5 : Proposer les schémas paramétrés associés aux différents défauts géométriques que l'on devra maîtriser.

65 % des candidats n'ont pas traité cette question, 5% des candidats ont correctement répondu.



Les contraintes 1, 2 et 3 sont respectées par la qualité géométrique des surfaces fonctionnelles.

La contrainte 1 peut être annulée par une correction logicielle en palpant un cylindre de référence. Si les deux axes sont parallèles, la mesure ΔX doit être nulle (axe Z parfait), sinon $\Delta X = k \cdot Z$. C'est ce principe qui est utilisé pour corriger le défaut de coaxialité de l'axe de la pièce et de l'axe de rotation. La gamme de palpation commence alors par un palpation d'un cercle sur les portées haute et basse de la pièce à contrôler, les centres des deux cercles matérialisent dans un espace machine l'axe de la pièce.

Q6 : Pour l'axe Z (correspondant au mouvement vertical de l'ensemble porte palpeur), avec les notations ci-dessus, caractériser au point fonctionnel l'incidence des différents défauts de la liaison sur la mesure (axiale ou radiale). Présenter le résultat sous la forme d'un tableau et/ou d'un graphe adapté. Pour cette question, l'axe X et l'axe Z' seront considérés comme parfaits et liés rigidement au coulisseau. Proposer une hiérarchisation de l'influence des défauts sur la précision de mesure, argumenter votre propos.

47 % des candidats n'ont pas traité cette question, 21% des candidats ont correctement répondu. Le torseur des petits déplacements semble encore pour certains un outil méconnu.

En utilisant le torseur des petits déplacements on obtient directement la relation demandée.

Soit $T_{O_2} = \begin{Bmatrix} R_x & T_x \\ R_y & T_y \\ R_z & T_z \end{Bmatrix}_{X_1, Y_1, Z_1}$ le torseur de petits déplacements du coulisseau par rapport à la base

de la glissière exprimé en O_2 dans la base X_1, Y_1, Z_1 .

Soit P le point fonctionnel (centre de la sphère pour un palpeur sphérique).

Le déplacement du point P s'obtient par :

$$D_P = D_{O_2} + R \wedge O_2 P \text{ avec } O_2 P = -\lambda \cdot X_2$$

après linéarisation et expression dans la base (X_1, Y_1, Z_1) nous obtenons le vecteur déplacement du point P :

$$D_P = \begin{Bmatrix} T_x + 0 \\ T_y - \lambda \cdot R_z \\ T_z + \lambda \cdot R_y \end{Bmatrix}_{X_1, Y_1, Z_1}$$

	Défaut radial	Défaut axial
$T_x(Z)$ défaut de rectitude de l'axe dans la direction X_1	l'influence directe sur la mesure radiale, ordre de grandeur donné dans le document 5, battement dans le plan XZ : $8\mu\text{m}$	aucun
$T_y(Z)$ défaut de rectitude de l'axe dans la direction Y_1	en partie compensé par l'utilisation d'un palpeur de type barreau	aucun
$T_z(Z)$ défaut de justesse de la règle	aucun	influence directe sur la mesure axiale, ordre de grandeur donné dans le document 5, précision absolue : 0.06 mm pour 300 mm
$R_x(Z)$ défaut de tangage autour de X_1	aucun	aucun
$R_y(Z)$ défaut de lacet autour de Y_1	négligeable	influence directe sur la mesure axiale, ordre de grandeur proportionnel à λ
$R_z(Z)$ défaut de roulis autour de Z_1	en partie compensé par l'utilisation d'un palpeur de type barreau	en partie compensé par l'utilisation d'un palpeur de type barreau

Nous constatons immédiatement que le défaut le plus important est le défaut de lacet autour de Y_1 , ce dernier étant proportionnel à la distance λ entre l'axe Z et le point fonctionnel P. Pour justifier l'ordre de grandeur de ce défaut nous pouvons faire l'hypothèse d'un modèle d'erreur parabolique pour le défaut de rectitude de l'axe Z dans la direction X_1 , avec :

$$T_x(0) = 0, T_x(L) = 0 \text{ et } T_x(L/2) = \delta.$$

$$T_x(Z) = -\frac{4 \cdot \delta}{L^2} \cdot (Z^2 - L \cdot Z)$$

Dans ce cas un modèle approché du lacet autour de Y_1 est donné par :

$$R_y(Z) = \frac{dT_x}{dZ}(Z) = -\frac{4 \cdot \delta}{L^2} \cdot (2 \cdot Z - L)$$

Application numérique : $L = 600 \text{ mm}$, $\lambda = 300 \text{ mm}$ et $\delta = 0.008 \text{ mm}$ pour $Z = L/4$

$$\Delta(Z = L/4) = \lambda \cdot R_V(L/4) = \frac{300 \cdot 4 \cdot 0.008}{600} = 0.016 \text{ mm}$$

Q7 : Quelles sont les performances du guidage en translation de l'axe Z en terme de précision pour pouvoir mesurer ce type de défaut ?

64 % des candidats n'ont pas traité cette question, 5% des candidats ont correctement répondu. Les réponses sont souvent peu justifiées et sans ordre de grandeur.

Hypothèse : les défauts de répétabilité (aléatoire) de la machine sont plus faibles que les défauts de justesse (systématique). Nous pouvons donc considérer que le défaut de rectitude de l'axe Z suivant X est constant à Z fixé : $T_X(Z) = \text{cte}$ pour $Z = \text{cte}$

Pour mesurer un défaut de coaxialité, il faut bloquer l'axe Z et mesurer le rayon $R(\theta)$ sur la surface spécifiée et sur les deux surfaces de référence en fonction de l'angle de rotation θ de la broche.

Puisque nous travaillons en variation de rayon, le défaut de rectitude $T_X(Z)$ de l'axe Z n'intervient pas dans la mesure du défaut. Pour le montrer, supposons que l'on palpe en 4 points, un cercle parfait de centre (u, v) dans la base (X, Y, Z) et de rayon R_{ref} .

Machine sans défaut de rectitude de l'axe Z dans la direction X	Machine avec défaut de rectitude de l'axe Z dans la direction X : $T_X(Z)$
$R_1(\theta = 0) = R_{\text{ref}} + u$ $R_2(\theta = \pi/2) = R_{\text{ref}} + v$ $R_3(\theta = \pi) = R_{\text{ref}} - u$ $R_4(\theta = 3\pi/2) = R_{\text{ref}} - v$	$R_1(\theta = 0) = R_{\text{ref}} + u + T_X(Z)$ $R_2(\theta = \pi/2) = R_{\text{ref}} + v + T_X(Z)$ $R_3(\theta = \pi) = R_{\text{ref}} - u + T_X(Z)$ $R_4(\theta = 3\pi/2) = R_{\text{ref}} - v + T_X(Z)$

Pour l'identification du centre du cercle, le défaut $T_X(Z)$ n'intervient pas et ce, quel que soit le critère d'association choisi : moindres carrés pour l'élément tolérancé et cercle minimum circonscrit sur les éléments de référence. Donc il n'y a pas de conséquence sur la mesure du défaut de concentricité. Par contre le défaut $T_X(Z)$ intervient directement sur les mesures dimensionnelles de type diamètre de portée sur un vilebrequin.

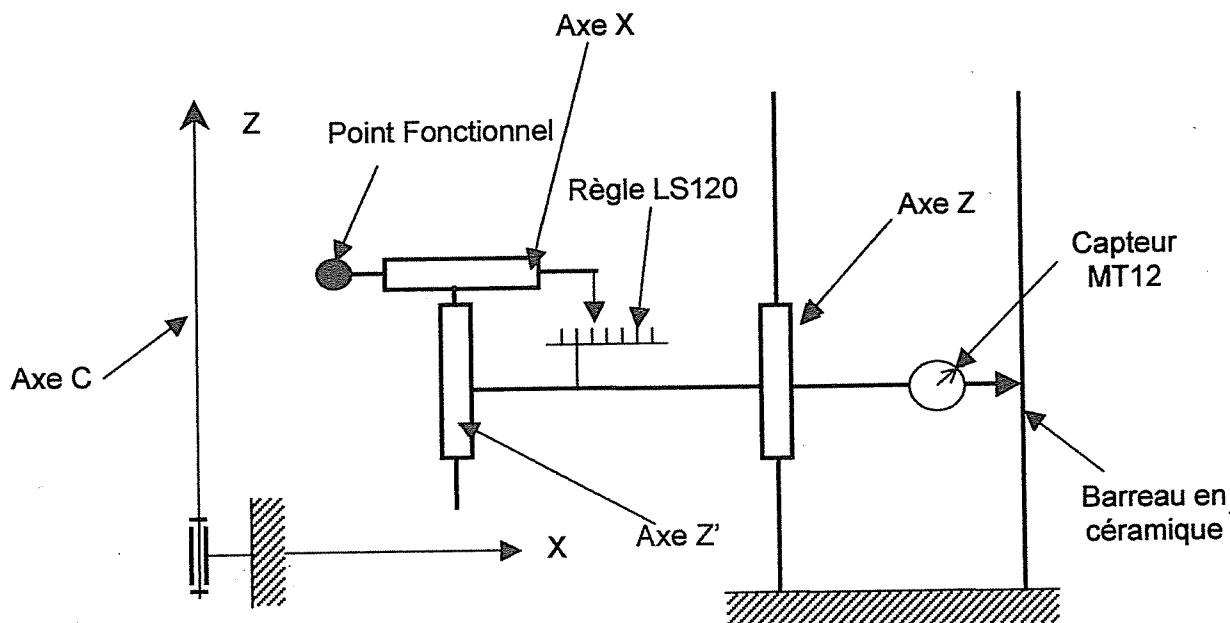
Nous constatons que malgré le soin apporté au choix de la précision de mesure de la règle LS120, le défaut de rectitude de l'axe Z suivant la direction X et la précision de l'axe X sont dans un rapport de 10. Ce qui n'est pas compatible avec le cahier des charges de la machine.

Q8 : Quels sont les défauts géométriques corrigéables par cette solution, proposer sous forme de schéma ou de dessin 2D, la liaison complète réglable et démontable entre le barreau céramique et la plaque support.

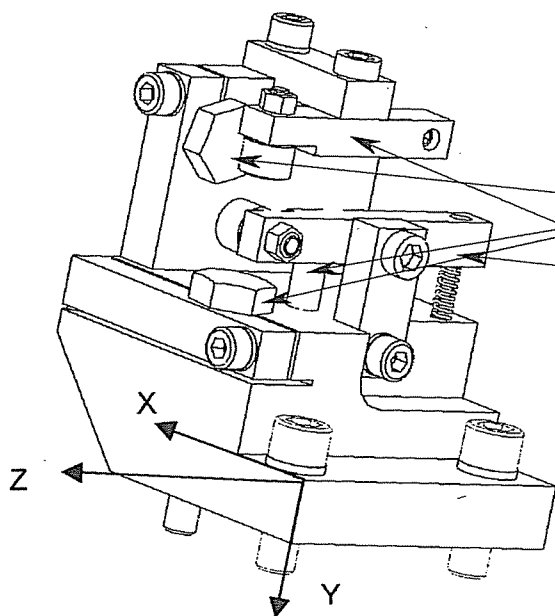
72 % des candidats n'ont pas traité cette question, 2% des candidats ont correctement répondu. Certains candidats ont vu l'ajout d'une liaison ponctuelle, voire plane pour augmenter la rigidité du guidage ???.

Pour corriger ce type de défaut (défaut de rectitude de l'axe Z dans la direction X : $T_X(Z)$) deux solutions sont envisageables :

1. Une correction logicielle : On mesure la carte des défauts de rectitude de l'axe Z dans la direction X (Z_i, T_i), il suffit ensuite de soustraire de la valeur mesurée du rayon $R(\theta, Z)$ ($Z_i < Z < Z_{i+1}$) la valeur extrapolée du défaut $T_x(Z)$. Par exemple pour une interpolation linéaire : $T_x(Z) = \frac{T_{i+1}(Z-Z_i) + T_i(Z_{i+1}-Z)}{Z_{i+1}-Z_i}$.
2. Une correction du défaut par mesure directe sur une référence de bonne qualité : le barreau céramique dont une des faces est rectifiée garantissant un défaut de rectitude inférieur au micron. La règle LS120 mesure le déplacement relatif du point fonctionnel par rapport au coulisseau de l'axe Z, le palpeur MT12 mesure le déplacement du coulisseau de l'axe Z par rapport au bâti de la machine.



A titre d'exemple : voici la solution de liaison complète réglable et démontable entre le barreau céramique et la plaque support utilisé par le constructeur.

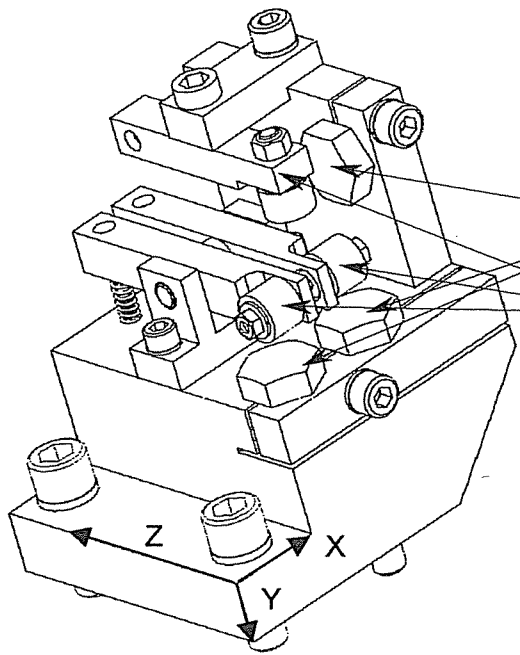


Support bas (sans le barreau céramique)

Mise en position : 2 touches sphériques et une cylindrique.

Maintien en position : 2 palonniers avec effort presseur réglable.

Remarque : le maintien en position suivant l'axe Z est assuré par le poids du barreau en contact avec la touche cylindrique.



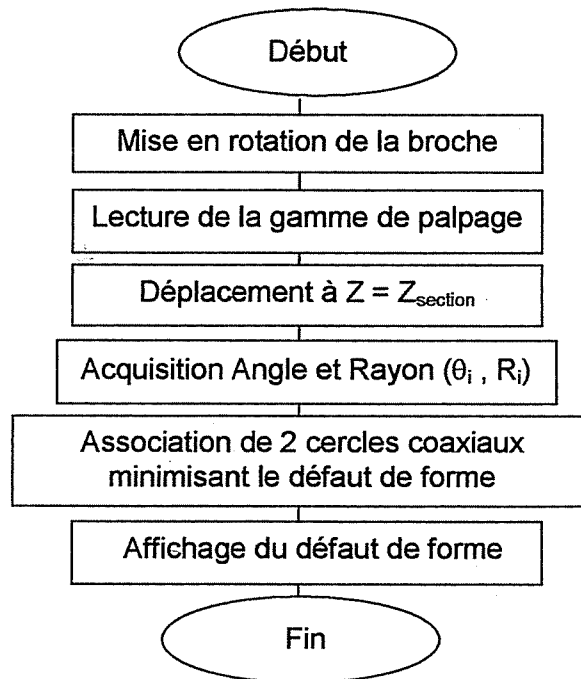
**Support haut (sans le barreau
céramique)**

**Mise en position : 3 touches
sphériques.**

**Maintien en position : 3
palonniers avec effort presseur
réglable.**

Q9 : Pour contrôler le défaut de forme d'une section circulaire *coaxiale avec l'axe de rotation*, indiquer sous forme d'organigramme sans effectuer aucun calcul le traitement permettant de passer de la mesure à la caractéristique contrôlée.

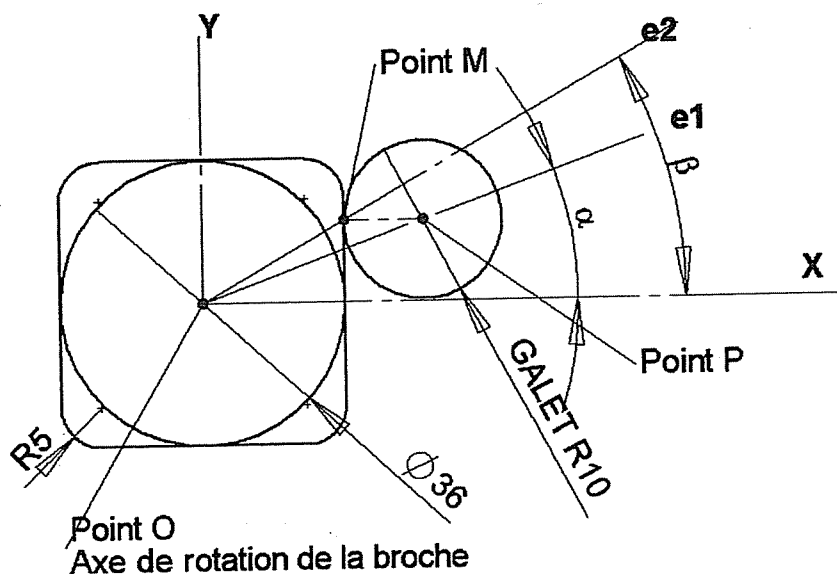
74 % des candidats n'ont pas traité cette question, 20% des candidats ont correctement répondu. L'expression des critères d'association n'est pas toujours explicite.



Si la section circulaire n'est pas coaxiale avec l'axe de rotation, alors un palpé d'une section haute et d'une section basse de la pièce permet d'identifier les centres des sections et donc d'identifier l'axe de la pièce dans le repère machine.

Q10 : Identifier les paramètres qui caractérisent le profil de came à contrôler. Identifier les paramètres mesurés par la machine (on associera le capteur correspondant). Expliciter les relations qui lient ces deux jeux de paramètres.

62 % des candidats n'ont pas traité cette question, 16% des candidats ont correctement répondu. Beaucoup de candidats ont travaillé sur un cas particulier, normale orientée suivant X.



La came est définie par les paramètres r et β issus du dessin de définition ou du modèle CAO.

La machine mesure les paramètres R avec les capteurs LS120+MT12 et α avec le codeur de l'axe C.

Fermeture géométrique OMP.

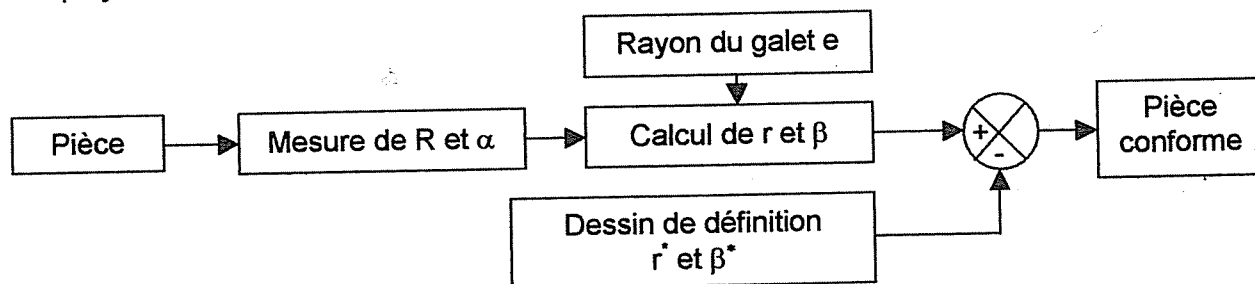
$$\begin{aligned} \text{OM} &= r(\beta) \cdot \mathbf{e}_2 \\ \text{OP} &= R(\alpha) \cdot \mathbf{e}_1 \end{aligned}$$

Soient $\mathbf{n} (n_x, n_y)$ la normale au profil de came au point $M(r, \beta)$ et \mathbf{e} le rayon du galet (sphère).

$$\text{OM} + \text{MP} = \text{OP} \text{ soit } r(\beta) \cdot \mathbf{e}_2 + \mathbf{e} \cdot \mathbf{n} = R(\alpha) \cdot \mathbf{e}_1$$

$$\text{En projection sur l'axe des X : } r(\beta) \cdot \cos(\beta) + \mathbf{e} \cdot n_x = R(\alpha) \cdot \cos(\alpha)$$

$$\text{En projection sur l'axe des Y : } r(\beta) \cdot \sin(\beta) + \mathbf{e} \cdot n_y = R(\alpha) \cdot \sin(\alpha)$$



Q11 : A partir du document 4b, expliquer la fonction de chaque capteur (codeur axe C, règle axe Z, règle axe X, palpeur MT12 axe Z').

33 % des candidats n'ont pas traité cette question, 7% des candidats ont correctement répondu. Beaucoup de candidats sont imprécis dans la fonction jouée par les capteurs (mesure du déplacement de A par rapport à B).

Cette question avait pour but de synthétiser la fonction des capteurs découverte dans les questions précédentes.

Règle LS120	Mesure du déplacement relatif dans la direction X du point fonctionnel P par rapport au coulisseau d'axe Z.
Capteur MT12 d'axe X	Mesure du déplacement relatif dans la direction X du coulisseau d'axe Z par rapport au bâti de la machine.
Règle LS406	Mesure du déplacement dans la direction Z du coulisseau d'axe Z par rapport au bâti. Ce capteur n'intervient que pour des mesures dimensionnelles suivant l'axe Z.
Capteur MT12 d'axe Z'	Mesure du déplacement relatif dans la direction Z' du point fonctionnel P par rapport au coulisseau d'axe Z. Ce capteur intervient pour les mesures de spécifications géométriques axiales (défaut de forme ou construction de référence).
Codeur d'axe C	Mesure de la position angulaire de la broche par rapport au bâti.

Q12 : Sous forme de diagramme fonctionnel décrire les différentes étapes d'une séquence :

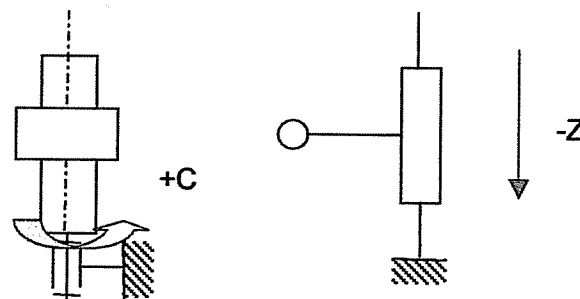
- de palpaxe axial ;
- de palpaxe radial.

65 % des candidats n'ont pas traité cette question, 10% des candidats ont correctement répondu.

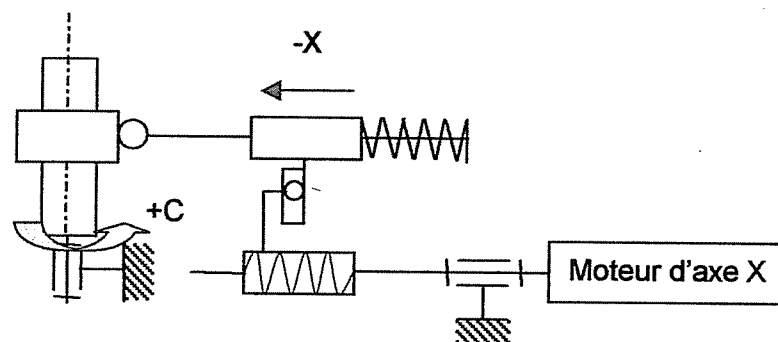
Séquence de palpaxe radial

1/ mise en rotation de l'axe C.

2/ déplacement de l'axe Z pour positionner le point fonctionnel dans le plan de la section à palper.



3/ déplacement de l'axe X pour positionner le point fonctionnel en contact avec la pièce à palper. Dans ce cas le moteur d'axe X se contente d'accompagner le déplacement, c'est le ressort d'axe X qui sert de moteur. En fin de cette phase d'accostage, il faut désolidariser l'écrou du doigt d'entraînement.



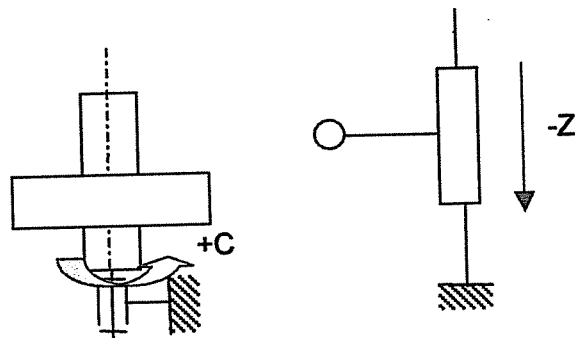
4/ acquisition des paramètres θ_i , R_i .

5/ exploitation des données.

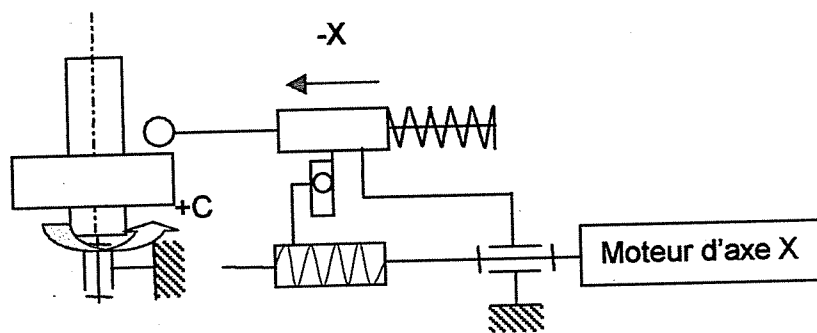
Séquence de palpage axial

1/ mise en rotation de l'axe C.

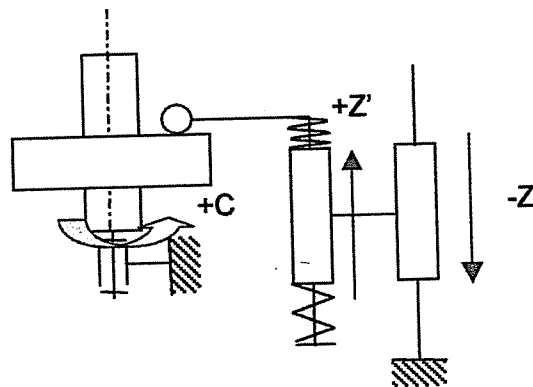
2/ déplacement de l'axe Z pour positionner le point fonctionnel au-dessus ou au-dessous du plan à palper.



3/ déplacement de l'axe X pour positionner le point fonctionnel au-dessus ou au-dessous du plan à palper.



4/ déplacement de l'axe Z pour positionner le point fonctionnel en contact avec le plan à palper (jusqu'à obtenir un déplacement de l'axe Z' mesuré par le capteur MT12).



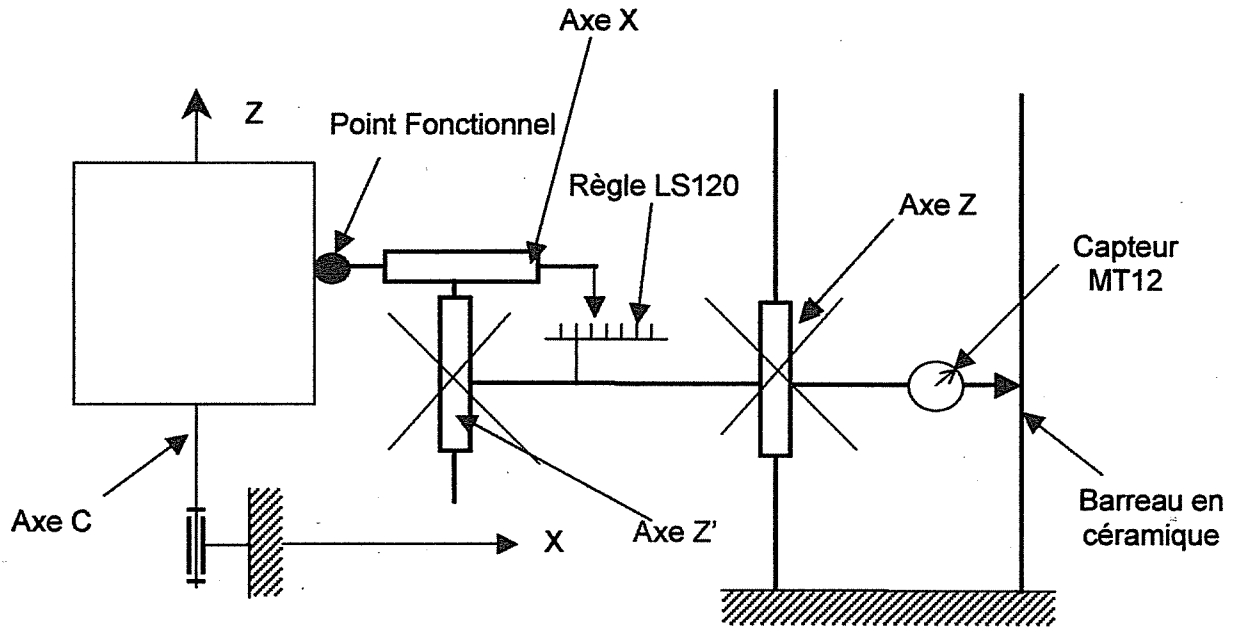
5/ acquisition des paramètres θ_i , Z'_i .

6/ déplacement éventuellement suivant X puis retour en 5.
7/ exploitation des données.

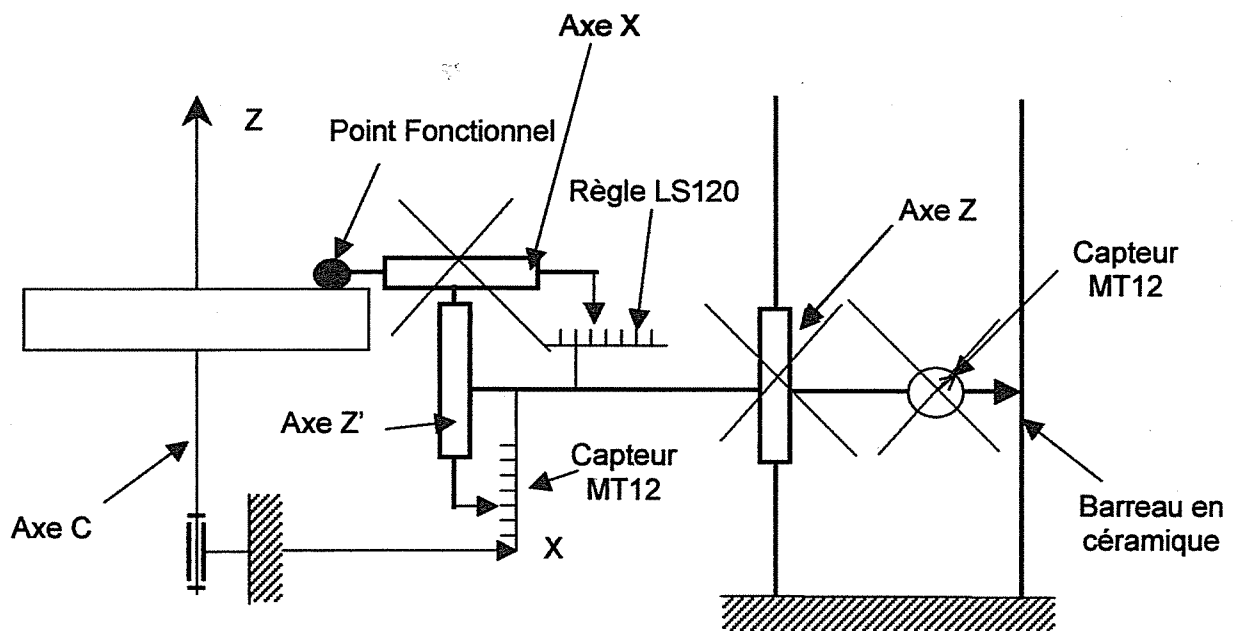
Q13 : effectuer le(s) schéma(s) cinématique(s) associé(s) à chacune de ces deux séquences en y référant les différents capteurs et les différents axes de la machine.

72 % des candidats n'ont pas traité cette question, 10% des candidats ont correctement répondu.

Séquence de palpage radial



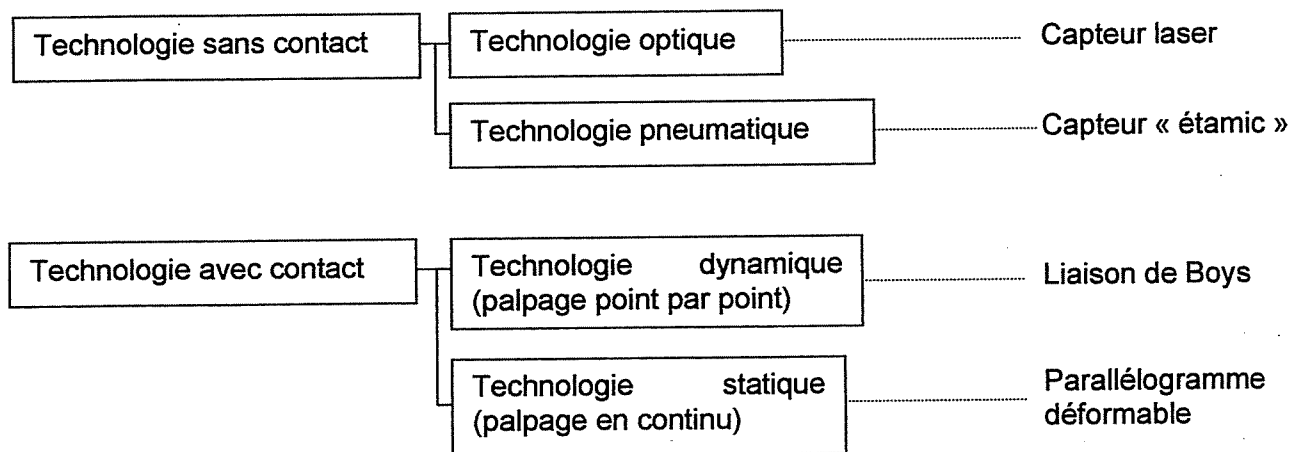
Séquence de palpage axial



Q14 : Quels types de solutions sont utilisés dans le domaine des palpeurs de métrologie pour remplir cette fonction ?

70 % des candidats n'ont pas traité cette question, 10% des candidats ont correctement répondu. La technologie du palpeur traditionnel (liaison de Boys) semble inconnue de la plupart des candidats.

Parmi les solutions les plus connues, on peut citer :



Q15 : Pour quelles raisons ces solutions ne peuvent pas être retenues dans notre contexte ?

87 % des candidats n'ont pas traité cette question, 10% des candidats ont correctement répondu.

Le capteur laser pour sa sensibilité aux conditions ambiantes et sa résolution.

Le capteur « étamic » pour la difficulté à palper dans deux directions X et Z. C'est la technologie actuellement utilisée par le constructeur sur des machines dédiées (contrôle de vilebrequins).

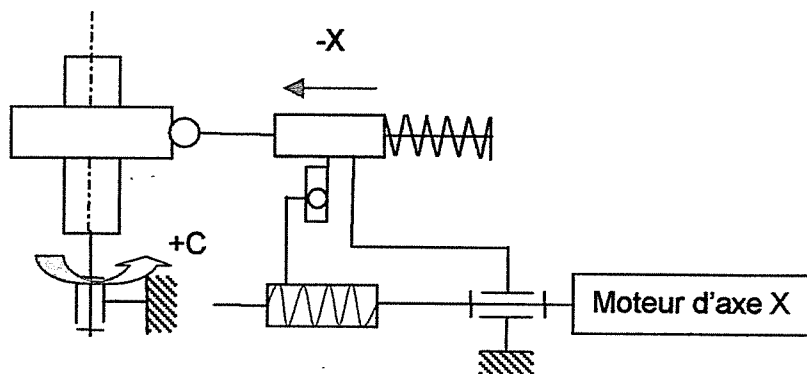
Le palpeur statique à liaison de Boys (contact de trois sphères sur trois vés disposés à 120°), un ressort permet de tarer l'effort de déclenchement du palpeur. Ce type de palpeur ne peut pas être utilisé dans ce contexte, il faudrait faire une acquisition point par point sur le rayon, donc piloter constamment l'axe X. Ceci augmenterait le temps de cycle ; de plus la machine permet d'acquérir autant de points qu'en possède le codeur.

Le palpeur dynamique à parallélogramme déformable (asservissement de l'effort de contact palpeur/pièce) pourrait être utilisé si l'on ne mesurait que des pièces de révolution ; par contre le cahier des charges de la machine précise bien qu'elle doit être capable de mesurer des arbres à cames et des manetons excentrés de vilebrequin. C'est cette caractéristique qui justifie les solutions retenues par l'industriel. Un capteur barreau à parallélogramme déformable dans les deux directions X et Z permettrait de simplifier l'architecture de la machine (direction à explorer).

Q16 : Décrire sous forme de schéma technologique la solution retenue pour appliquer l'effort suivant l'axe X (FT1422).

41 % des candidats n'ont pas traité cette question, 10% des candidats ont correctement répondu. Le contact unilatéral entre le doigt et l'écrou n'a pas été vu par beaucoup de candidats (le document 2 le définissait pourtant sans ambiguïté).

Le ressort est moteur dans le sens $-X$, l'écrou est suiveur. Dans le sens $+X$ l'écrou est moteur.



Sur le document 7, on mesure l'excentricité maximale de la came : 30 mm et de rayon des portées A ou B : 15 mm. Soit une variation de rayon de 15 mm.

La raideur du ressort d'axe X repère 181 est de 0.0083 N/mm.

La variation d'effort de palpation est donc de $15 \times 0.0083 = 0.12$ N.

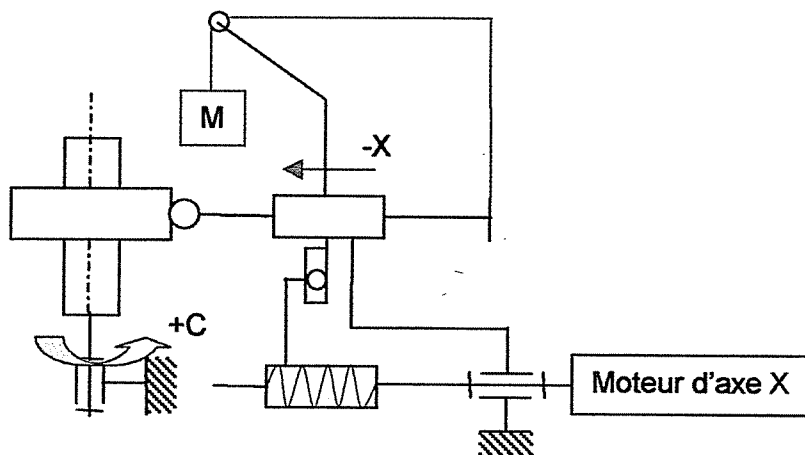
Pour la course du prototype qui est de 120 mm cette variation d'effort atteint 1N.

L'effort de palpation étant de l'ordre du Newton en moyenne sur la course de 15 mm, il y a ainsi risque de palper les petits diamètres avec un effort nul.

Q17 : Proposer, en la justifiant, une solution adaptée au mécanisme de palpation radial.

77 % des candidats n'ont pas traité cette question, 12% des candidats ont correctement répondu.

Un système « masse + poulie + câble » permettrait de travailler à effort constant sur toute la course de mesure. Pour cela on mesure l'effort à fournir pour vaincre les frottements suivant l'axe des X (module à galets, chariot à galets etc.), on ajoute un Newton, ce qui donne approximativement la valeur de la masse à installer, des essais permettent d'affiner ces résultats.



PARTIE 2

Q19 : On désire optimiser le choix des matériaux et formes des composants du chariot de palpation radial (barreau, support, axe horizontal, tête) de manière à minimiser leur masse et augmenter leur rigidité.

Justifier de manière qualitative le choix de ces critères de conception.

80% des candidats ont traité cette question, 50% des candidats ont fourni des réponses trop générales et déconnectées de la problématique posée.

Avantages d'un assemblage rigide :

L'objectif de la machine est de contrôler des pièces en environnement de production, afin de minimiser le temps de cycle global, il est intéressant d'augmenter les vitesses des mouvements associés aux différentes phases de la mesure à savoir :

- vitesse linéaire d'accostage ;
- vitesse angulaire de la broche en phase de mesure (limitée à 30 tr/min maxi) ;
- vitesse linéaire de rappel.

La prise en compte d'un critère de minimisation de la déformation et de la masse du système de palpation, en particulier de l'ensemble palpeur et porte-palpeur permet :

- une phase d'accostage rapide, sans perturbation à l'accostage du palpeur sur la pièce en rotation. Dans le cas de l'application d'un effort de palpation constant par un système de contre-poids, il n'est ainsi pas nécessaire d'asservir la motorisation du système vis-écrou qui assure une fonction d'accompagnement du mouvement en phase d'accostage et une fonction de rappel du système une fois la mesure effectuée ;
- une phase de mesure sans instabilités, une forte rigidité pour une faible masse permet de limiter les rebonds du palpeur sur la pièce et les phénomènes de résonance dus à des niveaux de fréquences propres du système de palpation proches des vitesses de rotation de la broche.

La prise en compte de ce critère permet de garantir la précision, la sensibilité et la répétabilité de la machine en phase de mesure.

Q20 : Montrer que pour choisir un couple matériau géométrie pour une poutre légère et rigide en flexion, le meilleur choix est celui qui maximise l'indice de performance M_1 suivant :

$$M_1 = \frac{(E\phi_f^e)^{\frac{1}{2}}}{\rho}$$

- E : module d'élasticité longitudinal du matériau.
- ρ : masse volumique du matériau.

- $\phi_f^e = \frac{4\pi I}{A^2}$: facteur de forme de la section qui est égal au rapport de la rigidité en flexion de la poutre et de la rigidité en flexion d'une poutre de section circulaire pleine d'aire identique A .

70 % des candidats ont traité cette question, 50% des candidats ont fourni des réponses acceptables.

Pour une poutre en flexion soumise à des chargements ponctuels, la raideur équivalente est proportionnelle à $\frac{E.I}{l^3}$.

E : module d'élasticité longitudinal du matériau.

I : moment quadratique d'inertie de la section de la poutre par rapport à l'axe de flexion.

l : longueur de la poutre.

En utilisant la définition du facteur de forme on déduit : $I = \frac{\phi_f^e A^2}{4\pi}$

D'où l'expression de la raideur : $k = CE \frac{\phi_f^e A^2}{4\pi l^3}$

(C : facteur de raideur qui dépend de l'architecture de chargement de la poutre)

La masse globale de la poutre s'écrit : $M = \rho Al \Rightarrow A^2 = \frac{M^2}{\rho^2 l^2}$

De ces expressions on déduit : $\frac{k}{M^2} = CE \frac{\phi_f^e}{4\pi \rho^2 l^5}$

Le critère de raideur maximale et masse minimale est vérifié si $\frac{k}{M^2}$ est maximum.

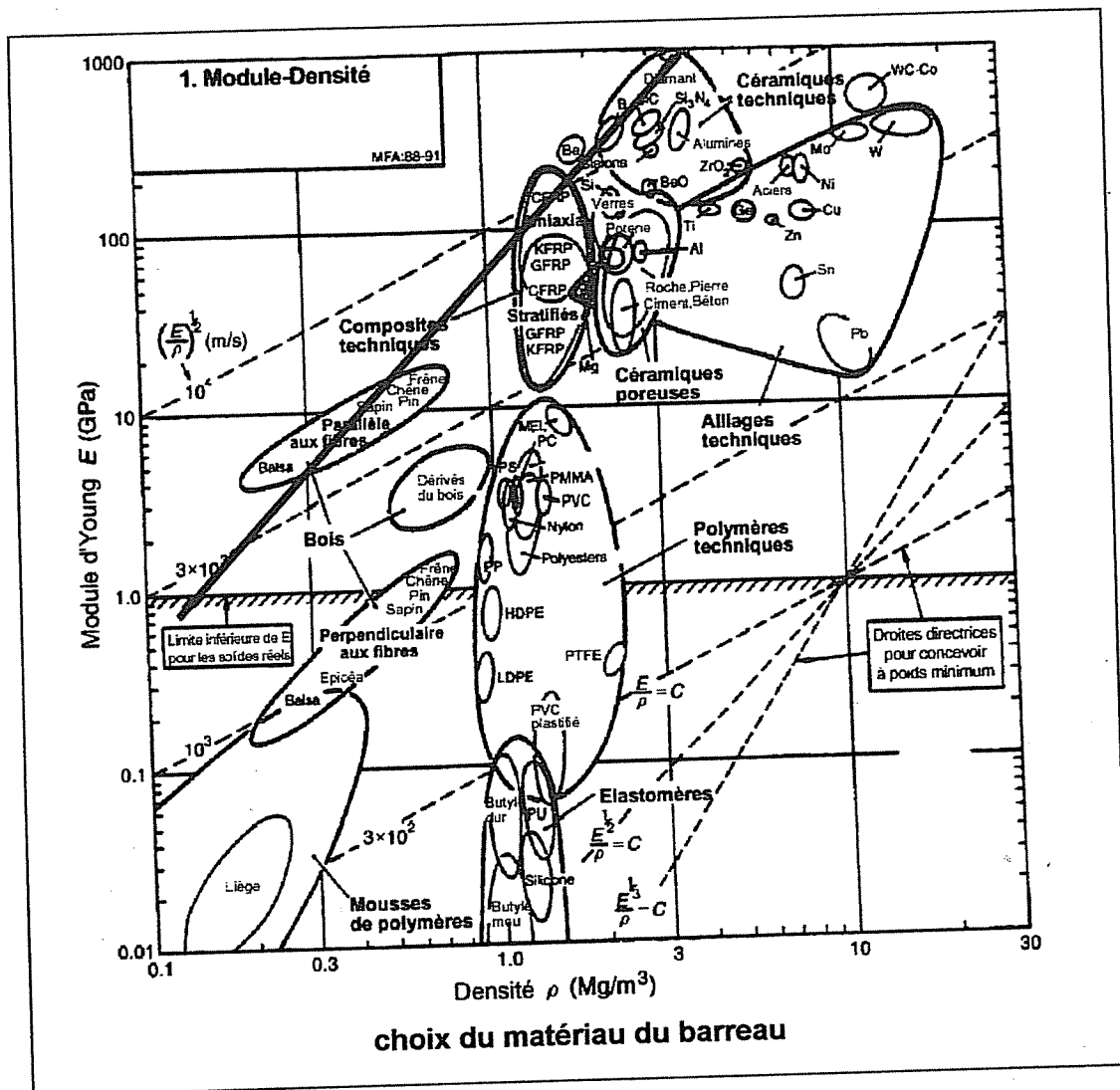
Dans le cas d'une poutre de longueur l connue soumise à un chargement C constant, la vérification du critère passe par une maximisation du rapport $\frac{E\phi_f^e}{\rho^2}$ ou $\frac{\sqrt{E\phi_f^e}}{\rho}$

Q21 : En utilisant le graphe1 du document 9 effectuer un choix de matériau pour le palpeur.

85 % des candidats ont traité cette question, 30% seulement des candidats ont fourni des réponses où les critères de sélection du matériau étaient clairement énoncés.

Le barreau est de forme cylindrique, $\phi_f^e = 1$

Sur le diagramme de Ashby, la plus haute droite d'équation $\frac{\sqrt{E}}{\rho} = Cte$ caractérise les classes de matériaux qui maximisent le rapport $\frac{\sqrt{E}}{\rho}$



Parmi les matériaux qui répondent à ce critère, on recense les bois, les composites techniques et les céramiques techniques.

Le palpage s'effectue sur une pièce tournante, ceci impose une prise en compte des phénomènes physiques présents lors du contact avec glissement relatif entre deux solides (frottement, échauffement, usure).

Ainsi il est nécessaire de mettre en place d'autres critères pour finaliser le choix du matériau du palpeur.

Les critères de résistance mécanique et de résistance aux chocs ne sont pas prépondérants pour les trois classes de matériaux retenues (les niveaux d'efforts subis par le système de palpation sont de l'ordre du Newton et le niveau de la vitesse d'accostage du palpeur sur la pièce est très faible).

Remarque : M1 : céramiques, M2 : composites techniques, M3 : bois
 Mi : critère très favorable au matériau i
 Mi : critère favorable au matériau i

Fonction	critère	Caractéristique physique	Valorisation	Matériaux	
Garantir la stabilité de la mesure en continu	Diminuer l'influence du frottement	Usure par friction	4	M1,M2	
		Rugosité	5	M1,M2	
	Résister aux efforts	Limite élastique	1	M1,M2,M3	
		Résilience	1	M1,M2,M3	
	Garantir la stabilité du contact	Dureté	5	M1	
	Comportement élastique homogène du barreau	Homogénéité	4	M1,M2	
	Garantir la répétabilité de la mesure	Stabilité thermique	Diffusivité	4	M1,M2,M3
			Dilatation	4	M1,M2,M3
Stabilité dans le temps		Fluage	3	M1,M2,M3	
		Modification de structure	3	M1,M2	
Insensibilité au milieu environnant		Absorption de fluides	5	M1,M2	
		Corrosion	5	M1,M2	

Critères liés au procédé de mise en œuvre

- mise en œuvre garantissant la géométrie nominale du palpeur (défaut de rectitude de la génératrice) ;
- mise en œuvre garantissant une rugosité de faible amplitude et homogène sur la surface cylindrique du palpeur ;
- mise en œuvre garantissant un comportement homogène de la pièce ;
- répétabilité du procédé de mise en œuvre (caractéristiques géométriques et propriétés du matériau) ;

Parmi ces critères les caractéristiques thermiques des trois familles de matériaux retenus sont du même ordre de grandeur, légèrement favorables aux céramiques techniques en particulier pour la dilatation.

Le critère de comportement à l'usure par frottement et à la dureté est favorable aux céramiques techniques.

Le critère de stabilité dans le temps est également favorable aux céramiques techniques.

Les critères de mise en œuvre, en particulier la garantie d'homogénéité du matériau, de géométrie nominale de la pièce et de rugosité mettent également en avant les céramiques techniques.

Conclusion : Le choix du matériau pour le barreau de palpation se porte sur les céramiques techniques.

Q22 : Dans le cas d'un barreau flexible sur appuis rigides.

Tracer l'allure de l'évolution de la souplesse de palpation en fonction de la position du point de palpation.

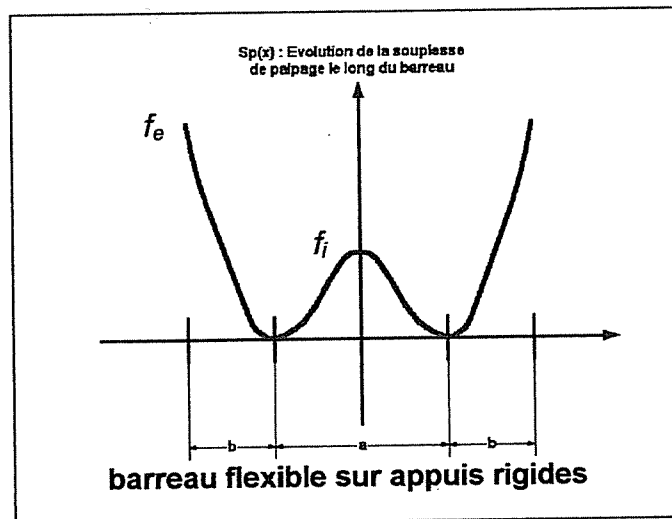
Montrer que les valeurs extrêmes de la souplesse de palpation s'écrivent sous la forme :

- $S_{pe} = \delta(E,d)\gamma_e(l,\lambda)$ pour un contact à l'extérieur des appuis.

- $S_{pi} = \delta(E,d)\gamma_i(l,\lambda)$ pour un contact entre les appuis.

En utilisant les graphes des documents 9 et 10 et les spécifications générales de la machine, choisir les différents paramètres de conception du barreau.

60 % des candidats ont traité cette question, 40% des candidats ont développé les calculs seulement 20% des candidats ont effectué les choix des paramètres de conception.



En utilisant le formulaire du document 8, les flèches maximales sous l'effort de palpation s'écrivent :

- $f_i = \frac{Fa^3}{48EI}$ dans le cas d'un palpation entre appuis ;

- $f_e = \frac{Fb^2}{3EI}(a+b)$ dans le cas d'un palpation à l'extérieur des appuis.

En posant $l = 2b + a$ et $\lambda = \frac{b}{a}$, on trouve :

$$- S_{pi} = \frac{1}{48EI} \frac{l^3}{(1+2\lambda)^3} \text{ dans le cas d'un palpagement entre appuis ;}$$

$$- S_{pe} = \frac{1}{3EI} \frac{l^3}{(1+2\lambda)^3} (\lambda^3 + \lambda^2) \text{ dans le cas d'un palpagement à l'extérieur des appuis ;}$$

On en déduit les expressions de :

$$- \delta(E, d) = \frac{64}{3\pi E d^4}$$

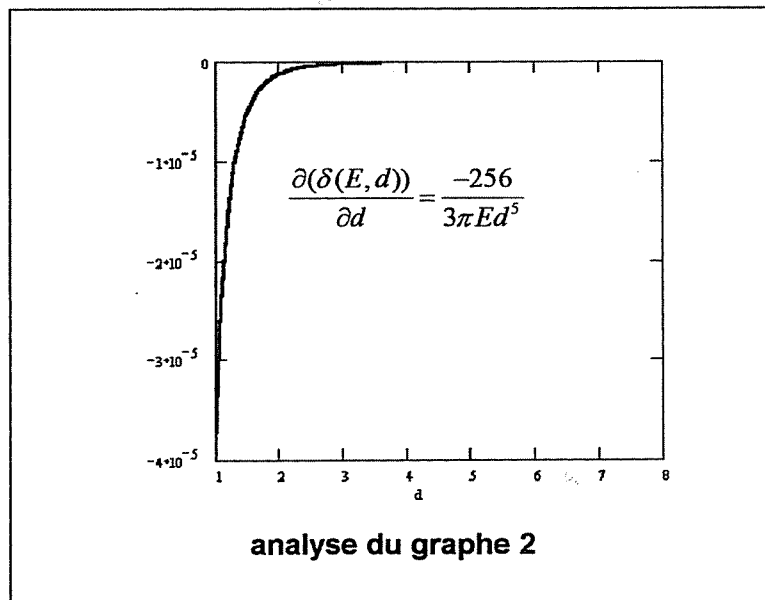
$$- S_{pi} = \delta(E, d) \frac{l^3}{16(1+2\lambda^3)}$$

$$- S_{pe} = \delta(E, d) \frac{l^3}{(1+2\lambda^3)} (\lambda^3 + \lambda^2)$$

Analyse des graphes d'évolution des souplesses de palpagement.

Objectif : choisir les paramètres de conception de manière à minimiser la souplesse de palpagement dans toutes les situations de mesure.

Le graphe 2 du document 9 montre que pour la majeure partie des matériaux, en particulier pour les céramiques techniques ($700 > E > 300$), la dérivée $\frac{\partial(\delta(E, d))}{\partial d} = \frac{-256}{3\pi E d^5}$ évolue peu à partir de $d = 5\text{mm}$.

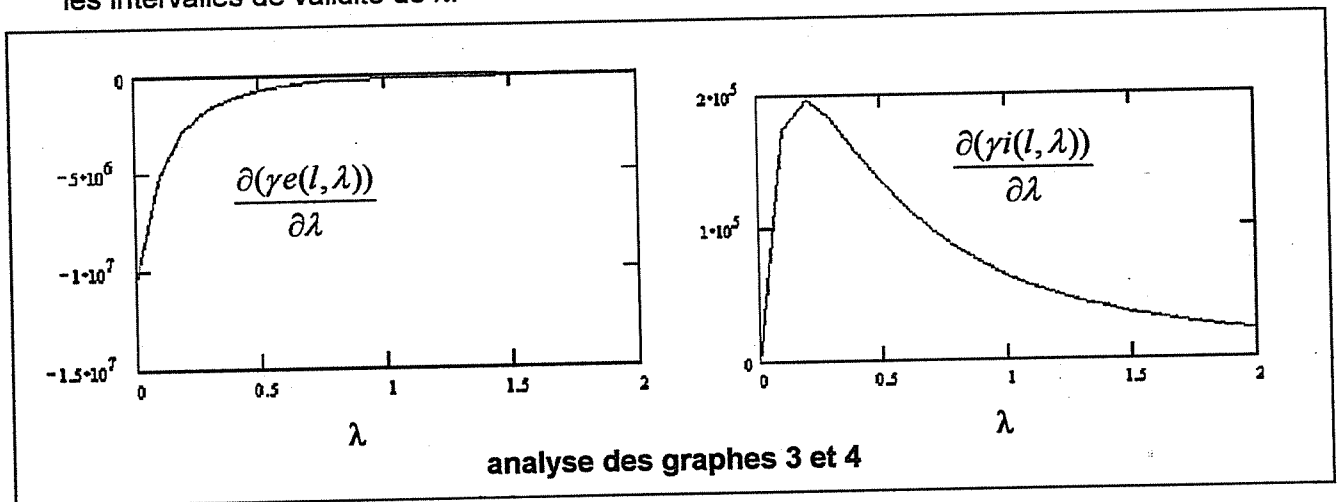


Un diamètre minimal de 6 mm est choisi pour le palpeur.

L'analyse des graphes 3 et 4 du document 10 montre que :

- la souplesse à l'extérieur des appuis prend des valeurs minimales et évolue peu pour $l < 125\text{mm}$ et $0.8 < \lambda < 1$;
- la souplesse à l'intérieur des appuis prend des valeurs minimales et évolue peu pour $\lambda > 1$.

Les tracés des dérivées $\frac{\partial(\gamma_e(l, \lambda))}{\partial \lambda}$ et $\frac{\partial(\gamma_i(l, \lambda))}{\partial \lambda}$ peuvent éventuellement aider à préciser les intervalles de validité de λ .



analyse des graphes 3 et 4

Conclusion : Paramètres de conception du barreau

$D_{\text{mini}} = 6 \text{ mm}$

$\lambda = 1$

$100 \text{ mm} < l < 125 \text{ mm}$

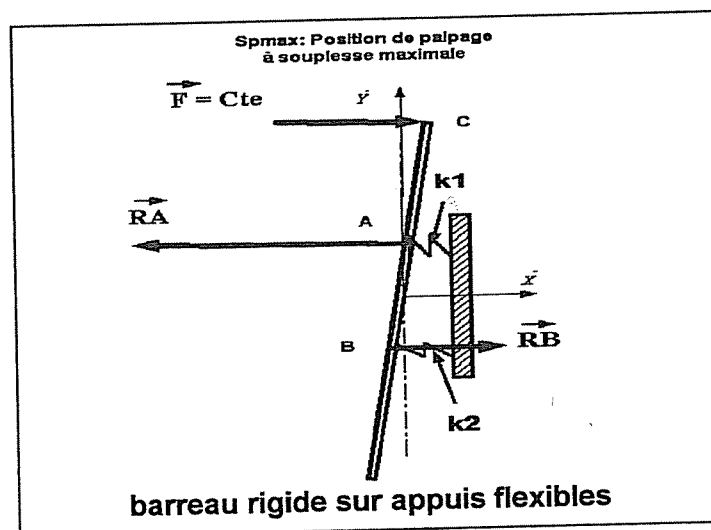
Q23 : Dans le cas d'un barreau rigide sur appuis élastiques

Effectuer le bilan des formes et liaisons du support de palpeur qui ont une influence significative dans l'évaluation de la raideur des ressorts.

Donner l'allure de l'évolution de la souplesse de palpation en fonction de la position du point de palpation.

70 % des candidats ont traité cette question, seulement 30% des candidats ont effectué un bilan complet.

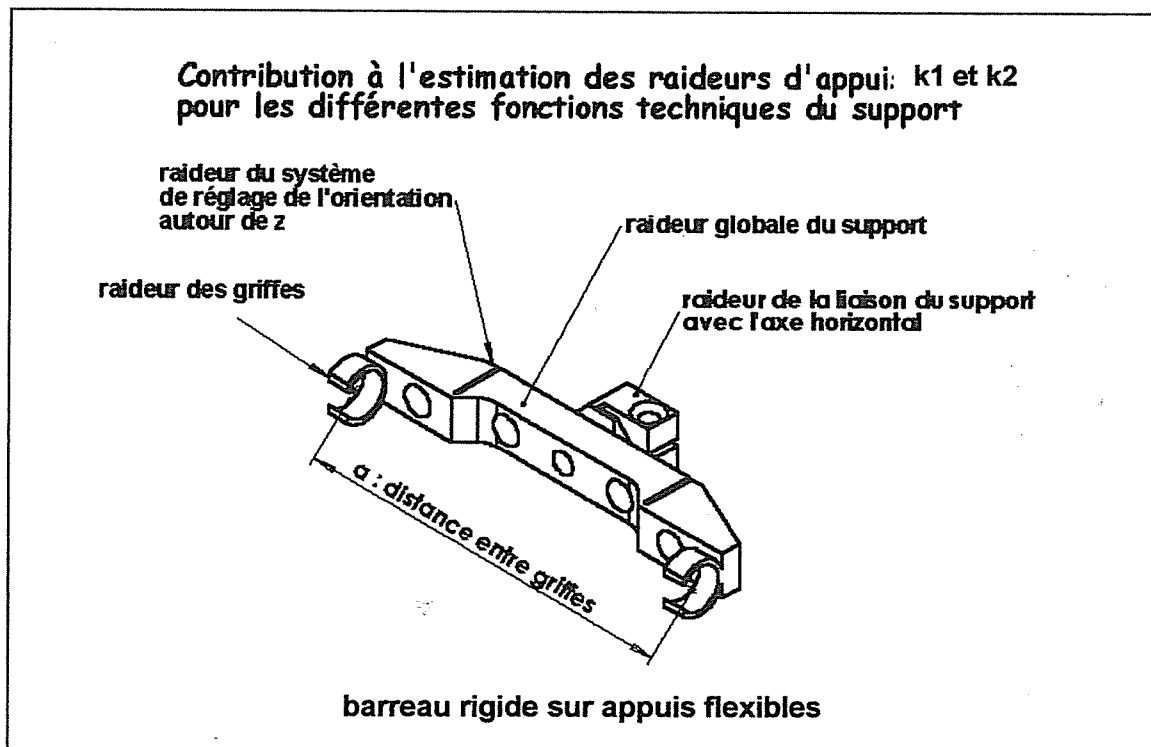
Selon la position de palpation les appuis A et B sont sollicités en traction ou compression.



L'estimation des raideurs d'appui k_1 et k_2 s'appuie sur l'analyse du comportement mécanique du support de palpeur, de l'axe horizontal et de leurs liaisons respectives.

Le comportement de l'ensemble de mesure peut globalement être modélisé comme un ensemble de ressorts montés en série, par exemple l'estimation de k_1 donne $\frac{1}{k_1} = \sum \frac{1}{k_i}$. (k_i correspondant à une raideur locale telle que la raideur des griffes).

Ainsi une raideur locale infinie ne contribuera pas à l'estimation des raideurs équivalente.



Contribution des fonctions du support de palpation à l'estimation des raideurs des appuis A et B, dans le cas d'une opération de palpation radial :

Raideurs indépendantes du sens de la réaction d'appui

- raideur globale du support (solicitation de flexion dominante) ;
- raideur de la liaison encastrement du support/axe horizontal.

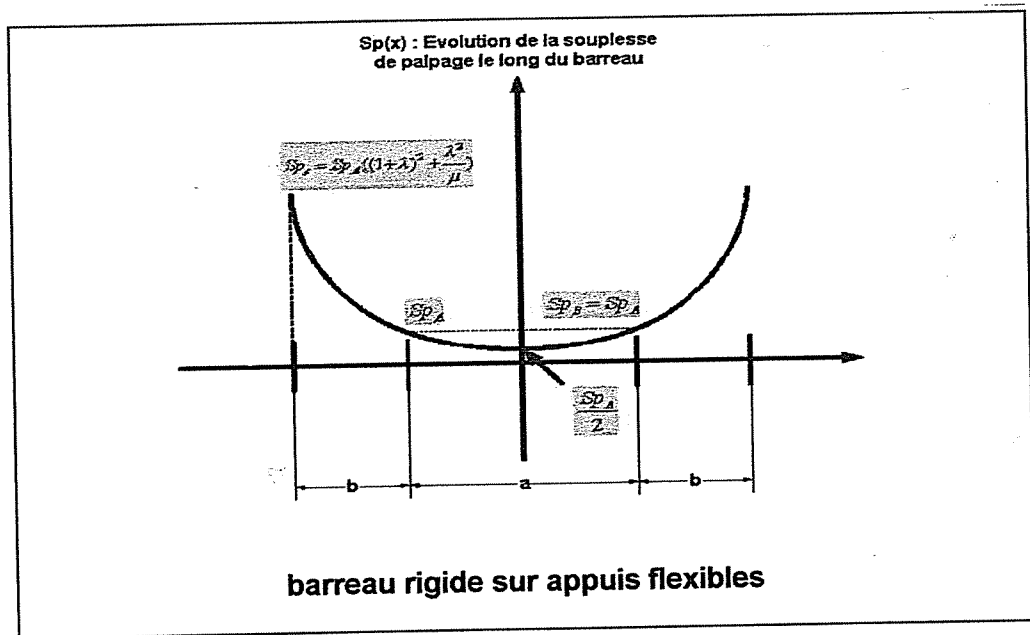
Raideurs dépendantes du sens de la réaction d'appui

- raideur des griffes de la liaison support/barreau ;
 - raideur infinie pour un appui élastique sollicité en compression ;
 - raideur définie par l'ouverture de la griffe sous charge pour un appui élastique sollicité en traction.
- raideur du système de réglage de l'orientation du barreau autour de z ;
 - raideur infinie pour un appui élastique sollicité en compression ;
 - raideur définie par l'ouverture du système pour un appui élastique sollicité en traction.

Conclusion :

On peut estimer que :

- lors d'une opération de palpage entre appuis, les raideurs k_1 et k_2 sont égales. La raideur maximale équivalente k (souplesse minimale) correspond à la position de palpage au milieu de la poutre ($k = k_1 + k_2$).
- lors du palpage à l'extérieur des appuis la raideur de l'appui sollicité en compression est plus importante que celle de l'appui sollicité en traction (contribution dans ce cas de l'ouverture des griffes et du système de réglage de l'orientation du barreau autour de Z). Dans ce cas la souplesse de palpage maximale est obtenue pour un palpage à l'extrémité du barreau.



Q24 : Montrer que la valeur extrême de la souplesse de palpage s'écrit sous la forme :

- $S_p = S_{p1} \gamma(\lambda, \mu)$ où $S_{p1} = 1/k_1$ est la souplesse de l'appui sollicité en compression dans la position de la figure 11.

En utilisant les graphes des documents 9 et 10, les spécifications générales de la machine et le graphe précédemment tracé, effectuer une analyse critique des formes du support et des solutions techniques adoptées pour la réalisation des liaisons avec le palpeur.

50 % des candidats ont traité cette question, 30% des candidats ont développé les calculs, seulement 15% des candidats ont effectués les choix des paramètres de conception.

Calcul de la souplesse de palpage à l'extrémité C du barreau

Dans le cas d'un barreau indéformable sur appuis flexibles la condition de rigidité du barreau s'écrit $\frac{y_B - y_C}{a+b} = \frac{y_A - y_C}{b}$ y_C correspond à la flèche sous la force F_c appliquée à l'extrémité C du barreau

y_A et y_B sont obtenus à partir de l'équilibre de la poutre : $y_A = \frac{-F(a+b)}{k_1 a}$ et $y_B = \frac{Fb}{k_2 a}$

Les définitions des paramètres adimensionnels permettent de poser :

- $a = \frac{l}{1+2\lambda}$ et $b = \frac{l\lambda}{1+2\lambda}$
- $k_2 = \mu k_1$

On en déduit la souplesse de palpation en C extrémité du barreau :

$$Sp = Sp_1 \left((1+\lambda)^2 + \frac{\lambda^2}{\mu} \right)$$

Estimation du coefficient μ .

Le graphe 5 du document 10 montre que la souplesse de palpation sera minimale si $\mu = 1$ donc $Sp_1 = Sp_2$.

Conclusion :

La re-conception du support de palpeur devra prendre en compte les critères suivants :

- Augmenter la rigidité globale du support en minimisant sa masse.

Les formes générales du support (évidements, chanfreins) montrent que ce critère a déjà été pris en compte.

La série de production du support quasi unitaire, la précision et la complexité des formes du support de palpeur (faibles épaisseurs de toile) impose de choisir comme matériau du support un acier et des procédés d'usinage conventionnels.

De plus les aciers répondent bien aux critères de stabilité, de raideur et de masse énoncés précédemment.

- Augmenter la rigidité de la liaison du support par rapport à l'axe horizontal ;

Ce critère sera traité dans les questions suivantes.

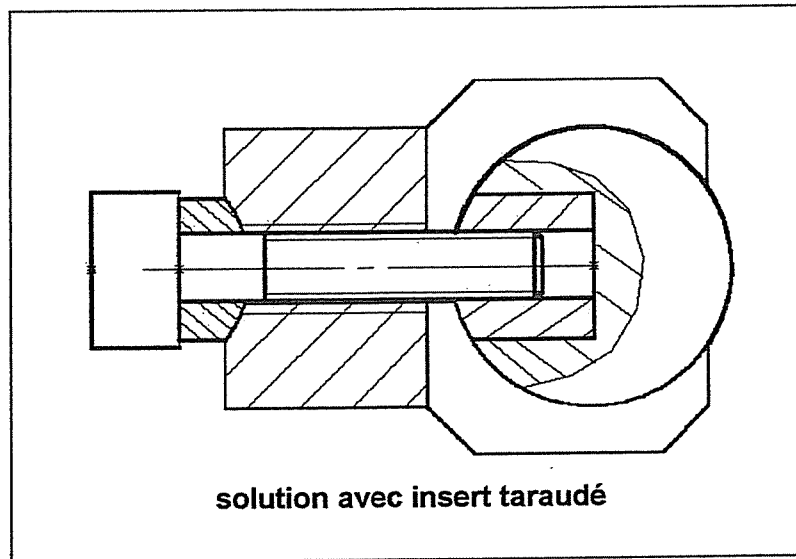
- Augmenter la rigidité des griffes et limiter voire annuler les possibilités d'ouverture.

Les griffes ne peuvent être totalement fermées, pour permettre le palpation en continu sur toute la longueur du barreau.

Une solution consiste à mettre en place une liaison bilatérale du barreau avec le support en fond de griffe :

- Collage du barreau directement sur les griffes, dans ce cas le barreau et le support sont à modifier, les griffes devant être démontables, afin de garantir la fonction d'orientation du palpeur autour de z (voir questions suivantes).

- Collage d'un insert taraudé dans le barreau de céramique, dans ce cas le support doit être modifié légèrement (perçage et lamage pour recevoir la vis de maintien).



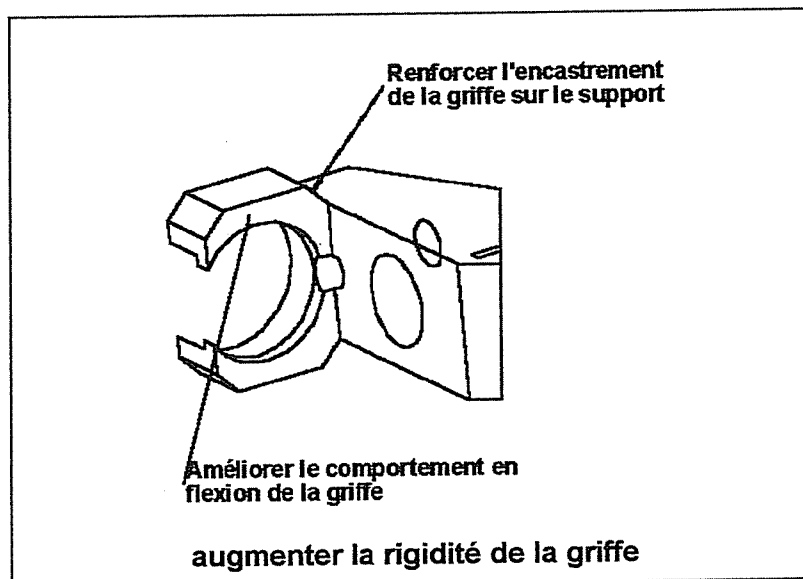
La vis doit être desserrée lors de l'opération de réglage de l'orientation du palpeur autour de z de manière à garantir les mobilités nécessaires (voir question suivante).

Attention à vérifier la compatibilité des modifications avec les procédés d'obtention des deux pièces en particulier pour la pose de l'insert.

Ces deux solutions sont délicates à mettre en œuvre et pénalisent la robustesse de l'opération de réglage de l'orientation du palpeur autour de z. Elles n'ont pas été adoptées pour l'architecture modifiée du support de palpeur.

Une autre consiste à augmenter progressivement l'épaisseur des griffes de manière à augmenter leur raideur en flexion et traction.

Dans ce cas seul le support est à modifier.



Q25 : A partir de l'analyse du dessin d'ensemble de la machine (document 2).
Effectuer le bilan et l'analyse critique des solutions technologiques et conditions fonctionnelles qui définissent la liaison du support de palpeur avec l'axe horizontal.

80 % des candidats ont traité cette question, 60% des candidats ont effectué une analyse correcte de la liaison.

Liaison réalisée par pincement du support sur l'axe horizontal.

Mise en position :

Uy, Uz, Ry, Rz (assemblage cylindrique l/d ~1.2)

- alésage déformable du support, surface cylindrique partielle (120°) ;
- portée cylindrique complète et rigide sur l'axe horizontal.

Ux (contact ponctuel)

- fond du support ;
- épaulement sur l'axe horizontal.

Rx (contact ponctuel)

- rainure horizontale dans le support ;
- ergot d'orientation implanté radialement sur l'axe horizontal.

Maintien en position :

Uy, Uz, Ry, Rz

Adhérence et obstacle garantis par le pincement de l'alésage déformable du support sur la portée cylindrique de l'axe horizontal.

Ux

Adhérence garantie par le pincement.

Rx

Contact bilatéral de la rainure du support et de l'ergot d'orientation et adhérence garantie par le pincement.

Liaison par pincement

Alésage fendu et déformation garantie par la vis à tête fraisée FBS M3-8.

Analyse critique de la liaison

Avantages :

- Montage et démontage aisés du support de palpeur.

Inconvénients :

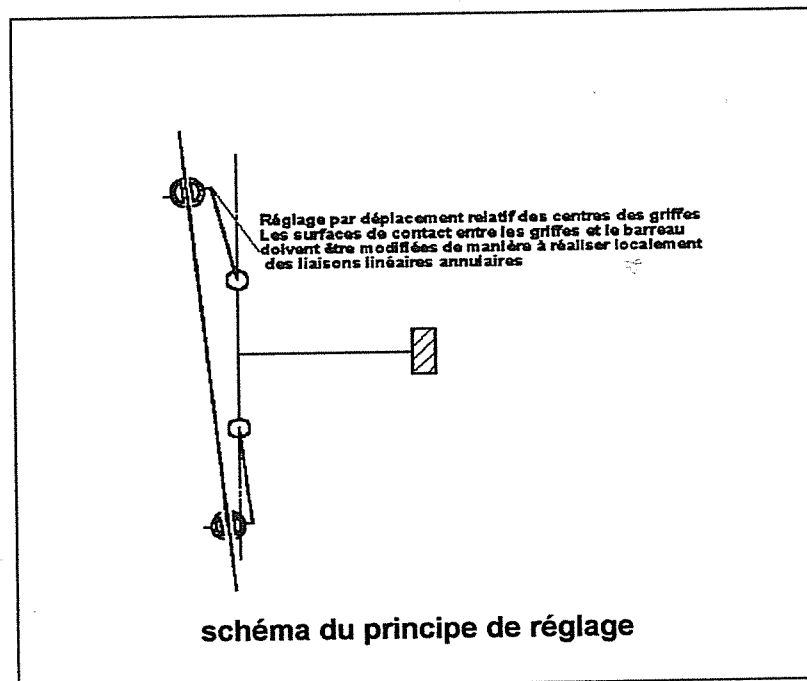
- Souplesse de la liaison due au positionnement sur un centrage relativement court et au maintien par pincement.
- Difficulté pour garantir l'orientation du support autour de X, due au jeu entre l'ergot et la rainure.
- Difficulté de fabrication pour garantir l'implantation radiale de l'ergot.

Q26 : Expliquer le principe utilisé pour orienter le barreau autour de l'axe Z.

90 % des candidats ont traité cette question, 60% des candidats ont fourni des réponses complètes.

Réglage par action de la vis pointeau (HC M3-10) sur la portée conique du support. Cette action permet un mouvement de rotation élastique de la partie extrême du support par rapport à sa partie centrale. Cette rotation est facilitée par la fente pratiquée dans le support à l'extrémité de la portée conique.

Chaque branche du support étant équipée d'un mécanisme de réglage, la rotation imposée au centre de chaque griffe un déplacement dans le plan XY, le déplacement cumulé des deux griffes permet de modifier l'orientation du barreau autour de Z.



Q27 : Justifier le choix de cette géométrie (modèle d'analyse du comportement du support).

70 % des candidats ont traité cette question, 50% des candidats ont fourni des éléments de réponse corrects, 10% seulement des candidats ont fourni des réponses complètes.

Le modèle de simulation numérique destiné à caractériser le comportement du barreau s'appuie sur une géométrie représentant le quart du support.

Ce choix est justifié par :

- la symétrie géométrique du support par rapport aux plans XZ et XY (à l'exception des formes de la liaison du support par rapport à l'axe horizontal et du taraudage recevant la vis de réglage que l'on supposera symétriques, leur influence sur le problème posé étant minime) ;
- l'homogénéité et l'isotropie du matériau du support ;
- la symétrie possible par rapport aux plans XZ et XY des conditions limites à imposer pour simuler l'opération.

Q28 : Choisir un type d'élément pour réaliser le maillage de ce modèle et définir une discrétisation globale et locale afin d'obtenir une précision raisonnable pour le calcul des champs de déplacements et de contraintes.

40 % des candidats ont traité cette question, 10% des candidats ont fourni des réponses correctes.

Topologie globale du support de palpeur

Géométrie complexe, massive, évidée par endroits.

Objectif de la simulation

Caractériser globalement le comportement du support pendant la phase de réglage de l'orientation.

La caractérisation détaillée des états de contraintes au contact du support avec la vis de réglage (portée conique et filets de la vis) n'est pas à prendre en compte dans ce modèle.

Choix du modèle

- milieu continu élastique linéaire tridimensionnel ;
- petites perturbations ;
- pas de prise en compte des problèmes de contact ;
- maillage du support par des éléments tétraédriques à 10 nœuds.

Simplification de la géométrie

- quart de la géométrie du support ;
- suppression des formes locales (chanfreins, raccords, filets) qui ont peu d'influence sur le comportement global ;
- suppression des filets du taraudage recevant la vis de réglage (voir justification à la question suivante).

Densité du maillage

Les tétraèdres à 10 nœuds sont des éléments volumiques à trois degrés de liberté par nœud, ces éléments sont de degré 2.

Le champ de déplacement dans un élément de degré 2 est établi à partir de fonctions d'interpolation quadratiques, le champ de déformation donc de contrainte dans l'élément est de ce fait linéaire.

Dans les zones à fort gradient de contrainte il est recommandé afin de garantir la précision de mailler la structure de manière à avoir l'équivalent de deux couches d'éléments dans l'épaisseur de la pièce.

Cette règle peut être appliquée au niveau de la fente de réglage afin de caractériser la concentration de contrainte due à l'écartement de la partie extrême du support par rapport à la partie médiane.

Q29 : En utilisant les figures du document 11, mettre en place les conditions limites qui permettent de :

- caractériser l'effet de l'extrémité de la vis sur le support de palpeur ;
- caractériser l'effet des filets de la vis sur le support de palpeur ;
- prendre en compte la spécificité de la géométrie choisie pour ce modèle.

30 % des candidats ont traité cette question, 15% des candidats ont fourni des réponses correctes, 5% des candidats ont fourni des réponses complètes.

L'objectif de la simulation est de modéliser le comportement global du support de palpation en phase de réglage.

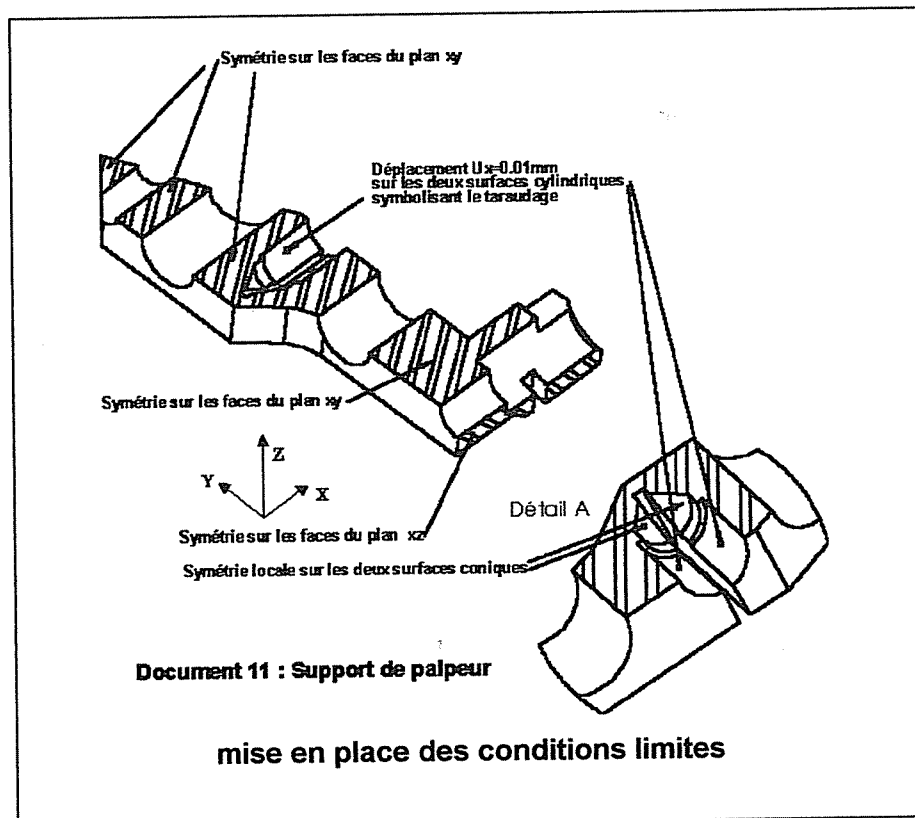
Dans le modèle choisi la vis fictive est supposée fixe.

L'action des filets de la vis sur le taraudage est modélisée en imposant, sur les surfaces représentant le taraudage, un déplacement axial (dans la direction X) positif de la valeur du déplacement relatif de la vis par rapport au support (ici $U_x = 0.01\text{mm}$).

L'action de la vis au niveau de la portée conique est modélisée par la mise en place d'une symétrie locale (blocage des déplacements dans la direction normale à la surface conique) sur les nœuds de la surface conique du support par l'application, selon le code de calcul utilisé, d'une condition de symétrie sur les surfaces ou l'établissement d'une équation de couplage entre les degrés de liberté des nœuds des surfaces.

Les actions locales au niveau des filets telles que la pression de contact et le frottement, ne sont pas prises en compte dans ce modèle.

Les autres conditions limites traduisent uniquement les conditions de symétries par rapport aux plans XY et XZ.



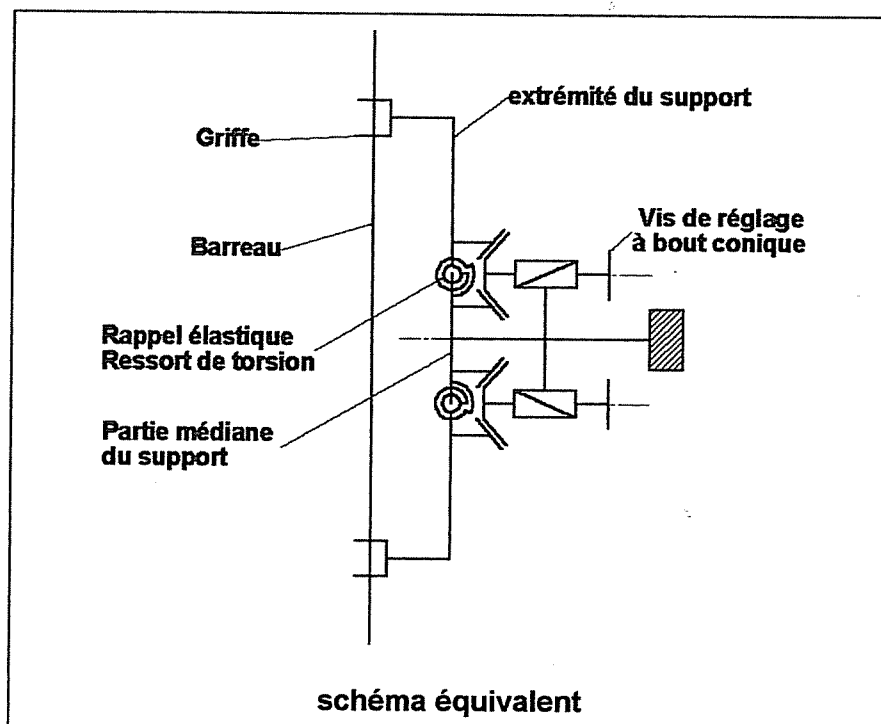
Q30 : A partir de l'analyse du champ de déplacement du document 12 :

- proposer un schéma cinématique équivalent au mécanisme d'orientation ;
- définir sous forme de schéma, une nouvelle architecture du mécanisme d'orientation, de manière à améliorer le comportement du support de palpeur sans pénaliser la précision et la stabilité de l'opération de contrôle.

60 % des candidats ont traité cette question, 30% des candidats ont fourni des réponses correctes.

Du fait de la mise en place du déplacement absolu $U_x = 0.01\text{mm}$ sur le taraudage du support, le champ de déplacement réel du support est obtenu en retranchant vectoriellement ce déplacement au champ issu de la simulation.

Le mouvement de la partie extrême du support par rapport à la partie médiane peut ainsi être modélisé par une rotation élastique autour de l'extrémité de la fente prolongeant la portée conique.



La correction des questions 31 et 32 est fournie sur les documents intitulés re-conception du support de palpation qui représentent un modèle d'évolution possible du support de palpation pour répondre aux critères de fiabilisation du comportement de l'ensemble de palpation développés dans les questions précédentes.

Il n'était en aucun cas demandé aux candidats de fournir une réponse graphique aussi détaillée que celle présentée sur les deux documents précités, l'objectif de ces questions était de caractériser les différentes solutions techniques en s'exprimant par :

- des schémas technologiques ;
- des vues projectives et/ou des coupes partielles ;
- des perspectives.

Dans ces documents apparaissent les modifications suivantes :

- maintien en position du système de réglage de l'orientation du palpeur autour de l'axe Z (Réponse au critère d'égalité des raideurs k_1 et k_2).
Ce maintien est garanti par l'ajout d'une vis transversale qui garanti la bilatéralité du contact du support avec la vis à bout conique, quelque soit le sens des actions du barreau sur les griffes.
- liaison du support de palpeur avec l'axe horizontal.
La raideur et la robustesse de la liaison sont améliorées par les solutions techniques suivantes :
 - augmentation du diamètre de portée de l'axe horizontal ;
 - augmentation du rapport l/d du positionnement cylindrique du support par rapport à l'axe horizontal ;
 - séparation plus marquées des fonctions mise en position et maintien en position par pincement. (deux solutions proposées pour assurer la flexibilité nécessaire au pincement) ;
 - modification de la solution technique associée à la fonction d'orientation autour de X du support par rapport au palpeur (rainure en bout d'axe horizontal et goupille dans le support) ;
- intégration de la sphère de palpation axiale (pièce rapportée sur le support) ;
- amélioration de la raideur globale des griffes de liaison du support avec le palpeur ;
- limitation de la portée des surfaces de contact palpeur/support au niveau des griffes.

Q31 : Le palpation axiale (axe Z) s'effectue à l'aide d'un support spécifique constitué d'un embout sphérique.

Cette solution nécessite le changement manuel du support et ne permet pas le contrôle en continu de toutes les spécifications fonctionnelles.

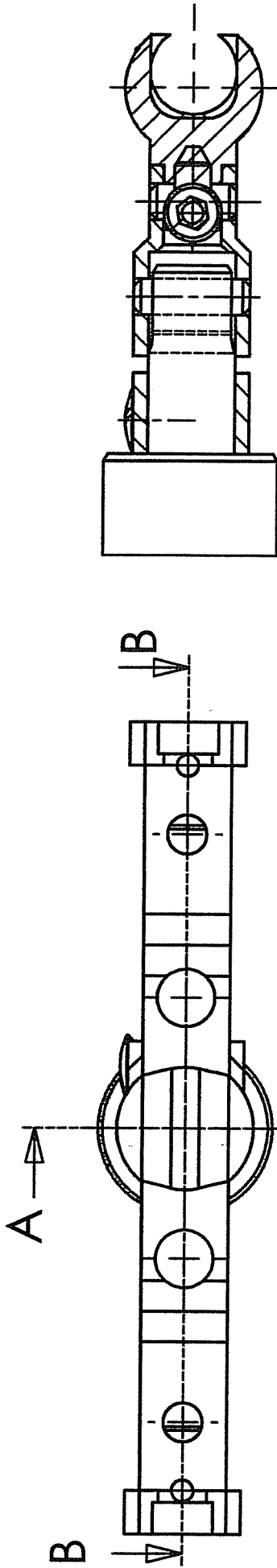
Proposer sous forme de schéma une modification du support de palpeur de manière à intégrer cette fonction dans le dispositif de contrôle radial précédent.

30 % des candidats ont traité cette question, 15% des candidats ont fourni des réponses cohérentes, 5% des candidats ont fourni des réponses complètes.

Q32 : Sur le document réponse calque DR1, représenter aux instruments ou à main levée, par des croquis perspectifs et/ou des schémas et/ou un dessin d'ensemble à l'échelle 2, une solution technologique du nouveau système de palpation (limité au palpeur et à son support) en y intégrant :

- les modifications nécessaires à l'optimisation de la raideur de l'ensemble (dimensions du barreau, liaisons barreau/support, dimensions et formes du support) ;
- les fonctions qui garantissent la liaison du support avec l'axe horizontal ;
- le réglage de l'orientation du barreau autour de l'axe Y ;
- la prise de cotes axiales.

20 % des candidats ont traité cette question, 10% des candidats ont fourni des éléments de réponse corrects.



A-A (2.5 : 1)

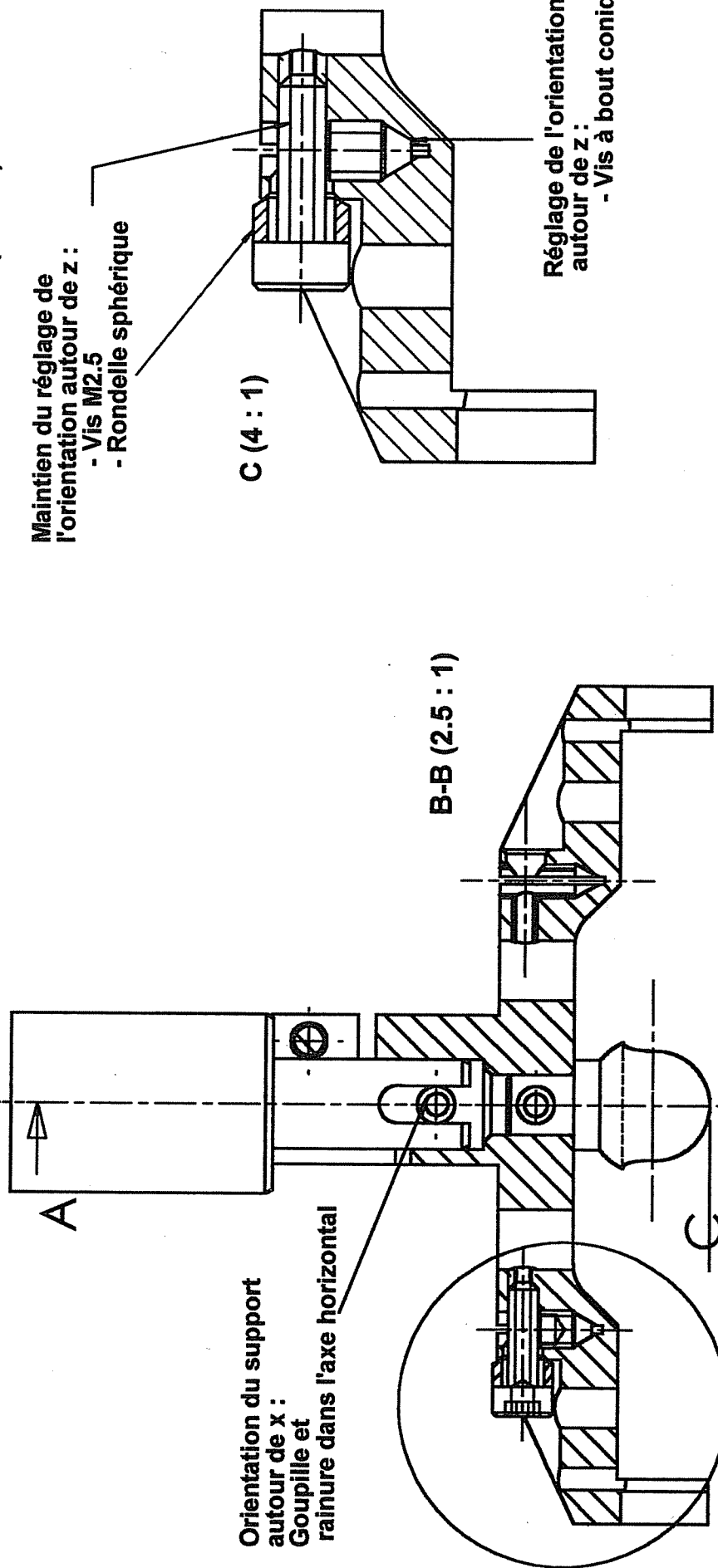
Maintien du réglage de l'orientation autour de z :
 - Vis M2.5
 - Rondelle sphérique

Orientation du support autour de x :
 Goupille et rainure dans l'axe horizontal

B-B (2.5 : 1)

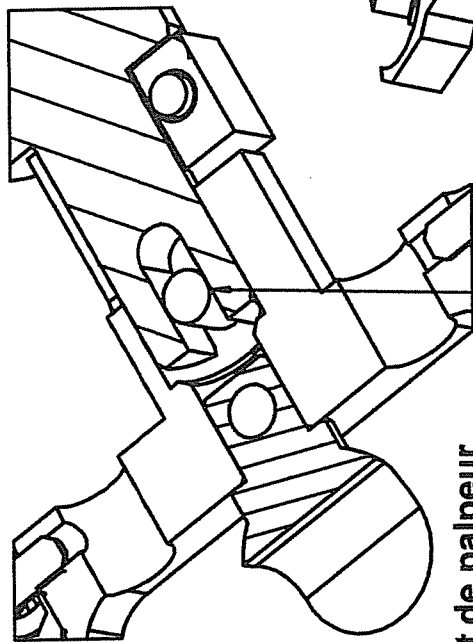
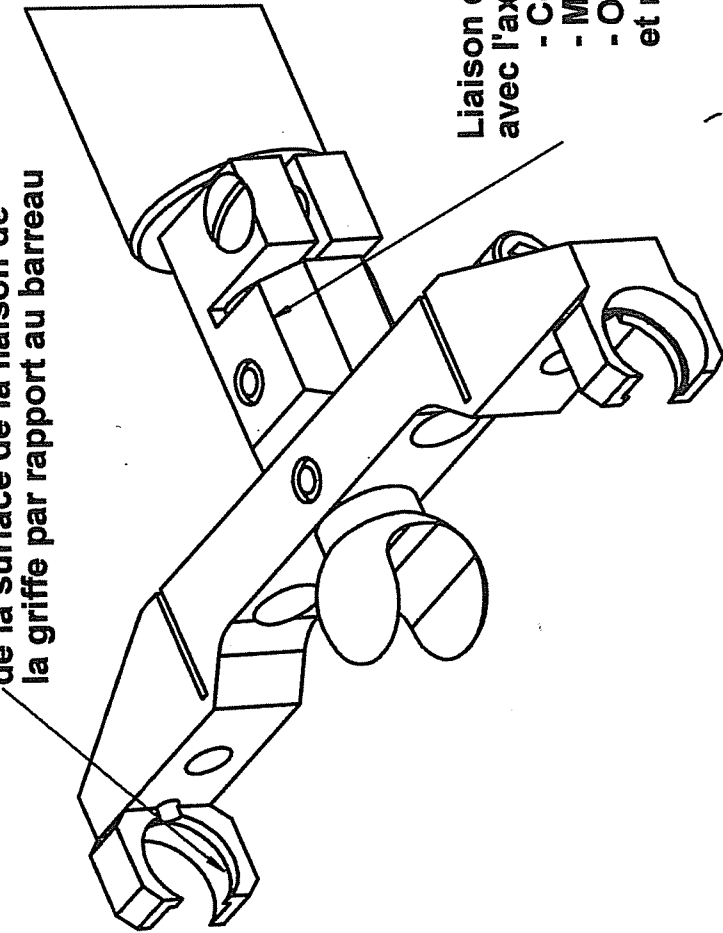
C (4 : 1)

Réglage de l'orientation autour de z :
 - Vis à bout conique



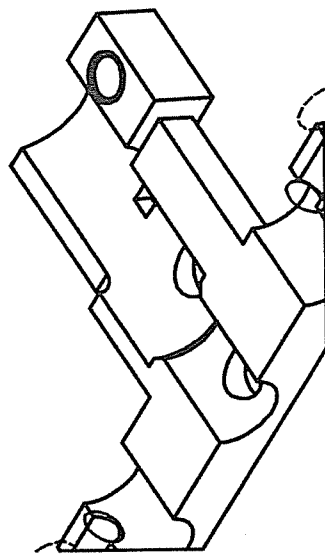
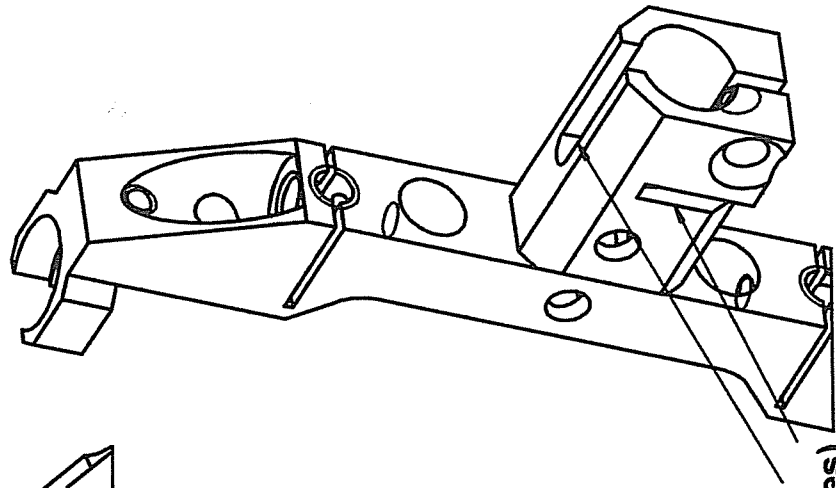
Q32 : Re-conception de l'ensemble support de palp

Limitation de la portée
de la surface de la liaison de
la griffe par rapport au barreau

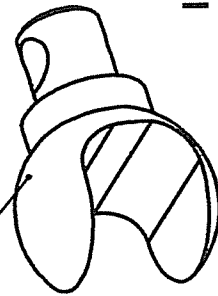


Liaison du support de palpeur
avec l'axe horizontal :

- Centrage long
- Maintien par pincement
- Orientation autour de x par goupille
et rainure dans l'axe.



Sphère de palpation axial
Matériau : Acier



la souplesse nécessaire au pincement
est assurée par la fente et/ou la rainure
(la solution présente les deux versions possibles)

PARTIE 3

1. Etude des solutions constructives de l'ensemble de palpape

La version proposée document 2 représente l'état actuel du prototype de la machine à mesurer.

L'ensemble broche – contre pointe ainsi que l'unité de translation verticale et la règle de référence donnant entière satisfaction, leur structure n'est pas remise en cause.

Dans la première version de l'ensemble de palpape, les deux guidages en translation étaient réalisés à l'aide de douilles à billes.

Les essais ont montré que sans charge radiale suffisante les billes ne roulent pas régulièrement et que le contrôle de l'effort de palpape dans ces conditions n'est pas bon.

Il a donc été décidé de remplacer chaque douille à billes par un module à galets dont le dessin est fourni document 2 (cadre "Module à galets : Ech 1:1")

1.1. Exigences géométriques sur le corps du module

Q33 : Quelle modélisation cinématique peut-on associer à un module complet, en admettant que sa géométrie soit parfaite? (justification en 15 mots maximum)

Liaison équivalente : linéaire annulaire de centre l'intersection du plan contenant les axes des galets et d'axe celui du tube de guidage.

Justification : normales aux contacts avec le tube de guidage coplanaires donc concourantes sur l'axe de celui-ci.

Q34 : En prenant le chariot comme bâti, faire un schéma technologique, en perspective et à main levée, de l'ensemble des pièces assurant les guidages associés aux mouvements des axes X et Z'.

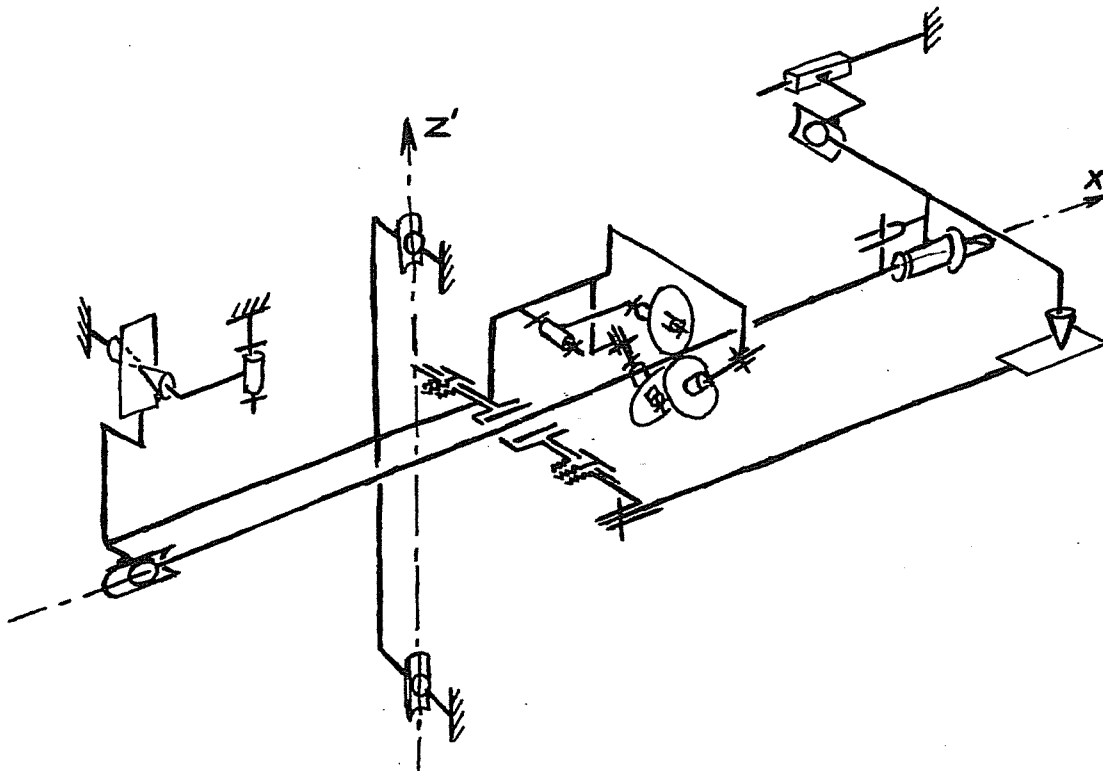
Ne pas représenter les différents ressorts ni le système de contre poids.

Dans ce schéma, un seul module à galets sera détaillé afin d'en montrer sa structure, les trois autres seront représentés par la liaison choisie en Q33.

Ce schéma doit faire apparaître clairement les composants qui constituent ce sous ensemble fonctionnel, y compris les éléments de positionnement et d'assemblage.

Aucune symbolique normalisée n'est imposée, chaque galet sera représenté par une ellipse les autres pièces seront symbolisées par un tracé de type filaire en trait fort. Seules la clarté et la qualité d'expression de ce schéma seront évaluées.

Il suffisait de s'inspirer de la perspective de la figure 9



Q35 : Une pièce réelle comporte nécessairement des écarts géométriques par rapport à son modèle.

Proposer une cotation fonctionnelle (sans chiffrer les valeurs des tolérances) du boîtier à galets garantissant :

- un fonctionnement du module conforme au modèle défini en Q33 ;
- une maîtrise de la position relative de deux modules associés dans le même guidage en translation.

On pourra soit faire des croquis à main levée, soit utiliser les silhouettes fournies document 13 (boîtier à galets) en leur appliquant la technique "couper coller" manuellement.

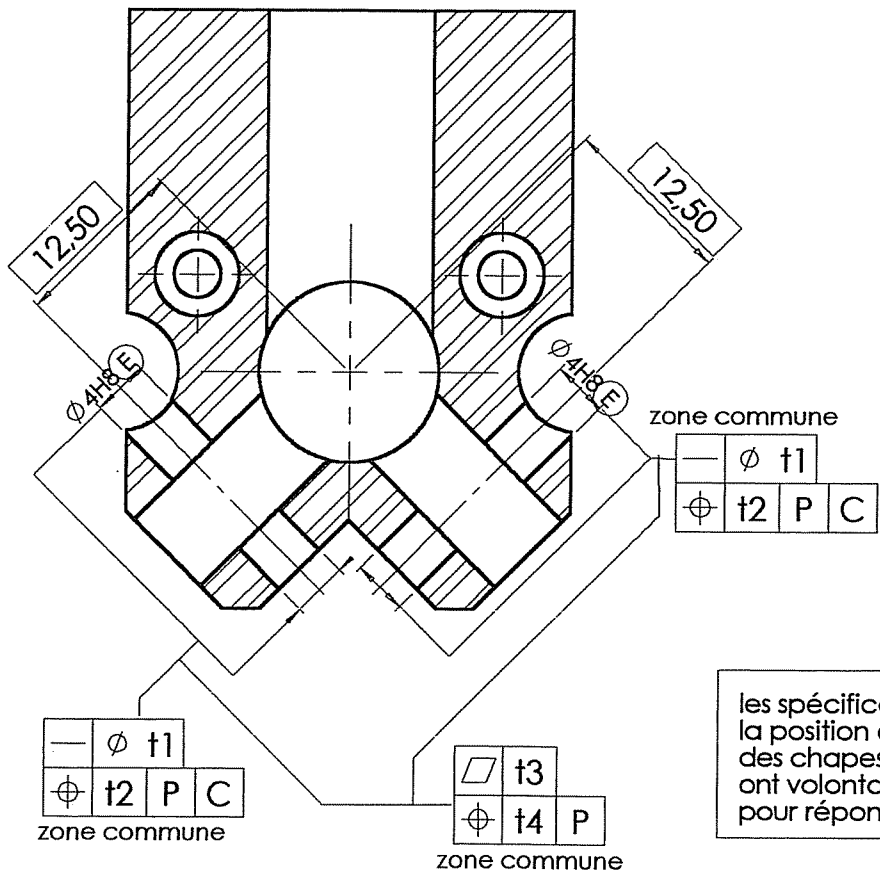
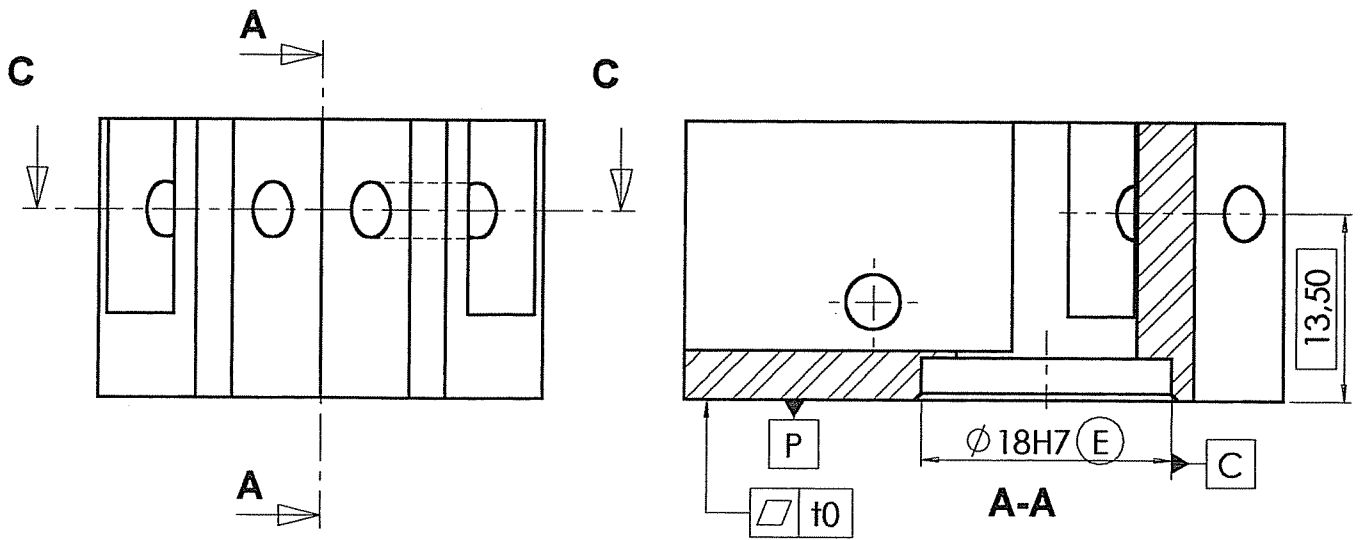
Les axes des deux galets « fixes » doivent être coplanaires et dans un plan perpendiculaire à l'axe de la tige support de palpeur.

L'interfaçage du module avec les autres pièces se fait par appui sur le plan P et centrage avec une douille dans le cylindre C. Le plan P doit assurer un appui de qualité d'où une tolérance de planéité le concernant. On construit une référence ordonnée sur ces deux surfaces (P assure l'orientation compte tenu des proportions et du vissage à travers P).

Chaque axe étant monté en chape, on utilise une rectitude en zone commune pour chacun (condition de montage de l'axe du roulement concerné).

Les deux axes doivent être coplanaires, on utilise une planéité des quatre portées en zone commune, et ce plan doit être parallèle au plan d'appui du module (parallélisme ou localisation avec P seulement).

Si la maîtrise de l'entraxe de deux modules (distance entre les linéaires annulaires équivalentes) est importante on ajoutera une localisation par rapport à P avec une tolérance adaptée.



les spécifications concernant les trous de fixation, la position de l'axe du galet d'appui, l'orientation des chapes par rapport à la forme extérieure, ont volontairement été omises car non prioritaires pour répondre à la question posée.

C-C

Une localisation radiale assez précise des axes est nécessaire pour que le corps du palier intermédiaire soit globalement parallèle au plan (X, Z) de la machine. La référence de cette localisation est la référence ordonnée P,C (axe perpendiculaire à P, passant par la trace dans P du plus gros cylindre perpendiculaire à P contenu dans C).

Une localisation grossière du plan médian de chaque chape suffit à garantir le contact des bagues extérieures des roulements sur la tige du palpeur (les bagues extérieures ayant une largeur de 5 mm cette localisation est optionnelle ici).

L'angle du Vé formé par les axes des deux galets et son orientation par rapport au module n'ont pas d'incidence sur le comportement de la liaison. Ces valeurs sont laissées à l'appréciation de la fabrication.

L'exigence de l'enveloppe sera indiquée sur les diamètres des alésages du centrage C et des axes de montage des galets, afin de limiter leurs défauts de forme.

Le galet de précharge n'intervient pas dans la qualité géométrique. Pour minimiser la déformation de flexion circulaire de la tige entre deux modules à galets, on peut localiser l'axe d'articulation du galet presseur pour que la normale au contact de ce galet soit dans le plan des deux autres normales. Les spécifications correspondantes n'ont été prises en compte que comme bonus à cette question.

Il est anormal, que pour la majorité des candidats ayant abordé cette question, le système de référence soit construit sur les faces extérieures du brut parallélépipédique... ces surfaces n'étant pas en contact avec le corps du palier intermédiaire...

Relation produit procédé

Les machines d'usinage à commande numérique et les outils coupants modernes permettent de réaliser, dans des conditions économiques intéressantes, des pièces complexes en petite série garantissant une qualité inégalable par des moyens traditionnels.

On envisage de fusionner sur un même bloc les boîtiers des quatre modules à galets ainsi que le palier intermédiaire. Une architecture possible pour cette pièce est représentée sur le document 14 (nouveau palier intermédiaire).

Q36 : Lister les avantages et les inconvénients que présente cette solution (nouveau palier intermédiaire) par rapport à la solution initiale.

Avantages	Inconvénients
<p>Suppression des assemblages des modules à galets soit suppression de :</p> <ul style="list-style-type: none">- 4 bagues de centrage ;- 8 vis et leurs rondelles frein ;- 4 bruts de modules à galets ;- 8 plans précis ;- 8 alésages de centrage précis ;- 8 taraudages délicats (M4) en moins.	<p>Nécessite un centre d'usinage à broche horizontale et table pivotante (4 axes) plus un diviseur à commande numérique, ou une machine plus sophistiquée (5 axes dont deux rotations sur la table, ou une 5 axes à tête orientable et axe W sur la tête pour les opérations axiales)</p>
<p>Colonne de guidage d'axe Z' monobloc (une pièce de moins à approvisionner et meilleure qualité de rectitude du guidage), cette nouvelle colonne est encastrée directement sur la platine du chariot avec une simplification importante des paliers supérieur et inférieur initiaux.</p>	<p>Décalage des colonnes de guidage X et Z' qui ne sont plus coplanaires.</p>
<p>Gain en qualité sur les positions relatives des surfaces fonctionnelles. Celles-ci étant garanties par la qualité géométrique de la machine-outil.</p>	<p>Décalage de l'axe anti-roulis du guidage X pour pouvoir réaliser les deux trous taraudés des vis de pression de blocage du tube sans démonter la pièce. Ces deux trous M4 se trouvent à l'origine du côté de la face de posage de la pièce sur la table du diviseur.</p>
<p>Gain de temps sur les opérations de finition.</p>	<p>Nécessite deux trous supplémentaires pour fixer le brut ébauché sur la table du diviseur.</p>
<p>Réduction du coût d'outillage par rapport au nombre d'opérations élémentaires nécessitées par le nombre de pièces de la solution initiale.</p>	<p>Poids de copeaux important, bloc capable brut (150 mm x 130 mm x 50 mm) 2,7 kg environ, brut avant finition 0,825 kg et pièce finie 0,530 kg, soit environ 80% de copeaux (inacceptable si grande série évidemment).</p>
<p>Léger gain de masse globale de la nouvelle partie mobile.</p>	

Quelques remarques à propos du coût de la nouvelle solution, que beaucoup de candidats ont estimé trop élevé par rapport à la solution initiale :

1 - Le coût d'usinage d'une pièce est directement proportionnel au temps que cette pièce passe dans l'atelier d'usinage, il n'est pas forcément lié à la complexité des formes. En l'occurrence sur cette pièce les programmes d'usinage sont très simples (un seul programme pour contourner les chapes et des opérations axiales basiques : perçage, alésage, taraudage), les machines à commande numérique et leur

environnement (outils, attachements, bancs de préréglage, M.M.T., informatique de programmation ...) ont remplacé depuis longtemps et définitivement les machines conventionnelles dans tous les ateliers d'usinage qui produisent des pièces de qualité. En première approximation un coût de l'ordre de 1,5 € par minute est tout à fait réaliste pour ce genre de machine, et le temps de finition d'une telle pièce sur une machine actuelle (changement d'outils et évolutions table rapides) ne dépassera pas 10 minutes...

2 - Le coût matière de cette pièce, compte tenu de la taille initiale du bloc de duralumin, est de l'ordre de 70 €, en prenant une nuance de qualité spéciale Aéronautique à usinage amélioré.

3 - La disparition de la possibilité de régler la position relative des deux glissières est un faux argument puisque cette possibilité n'existe pas au départ. La position relative des deux glissières est le résultat de l'empilage de précision de toutes les pièces du « puzzle » initial. La fusion de toutes les fonctions sur la même pièce est la meilleure solution pour garantir l'orthogonalité des deux glissières.

4 - La « non modularité » du nouveau palier imposant le remplacement d'une pièce coûteuse en cas d'usure n'est pas recevable. Il n'y a aucun contact glissant sur aucune des surfaces de cette pièce (les galets ne la touchent que par leurs bagues intérieures) donc l'usure éventuelle de la machine à mesurer ne se situe pas sur cette pièce ! En cas d'avarie grave (choc, cataclysme...) il n'est pas plus choquant de procéder au remplacement de tout le palier intermédiaire, que de changer le calculateur d'injection d'un moteur automobile moderne lorsque l'un de ses composants élémentaires à « claqué ».

5 - Le « grand nombre de phases d'usinage » de la nouvelle pièce se limite à trois : deux phases d'ébauche (car on ne peut pas tout faire en un seul posage) et une phase de finition, à comparer au nombre cumulé de toutes celles nécessaires pour l'ensemble des pièces initiales.

La possibilité, de visser directement le bloc brut sur la table ou sur une rehausse intermédiaire, permet généralement d'usiner un maximum de surfaces dans la même phase.

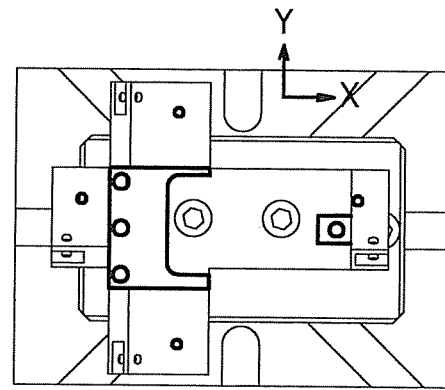
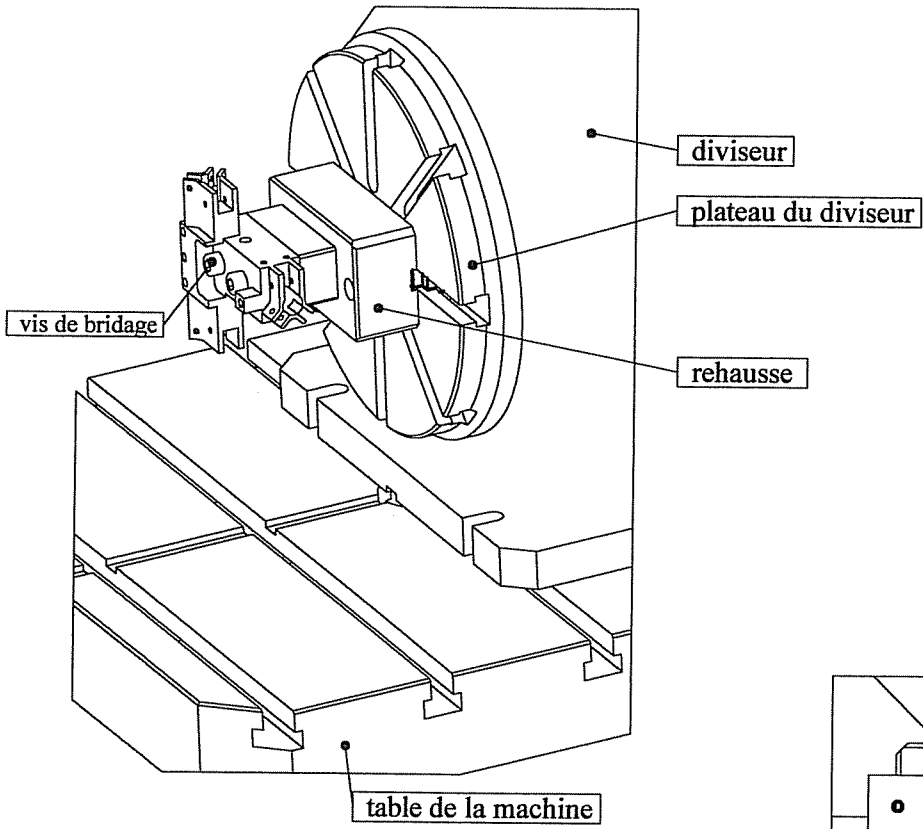
Q37 : A l'aide des silhouettes fournies pour le nouveau palier intermédiaire (document 15), montrer que pour cette pièce particulière il est possible d'utiliser la face 1 comme face de posage unique.

Préciser sur chaque figure :

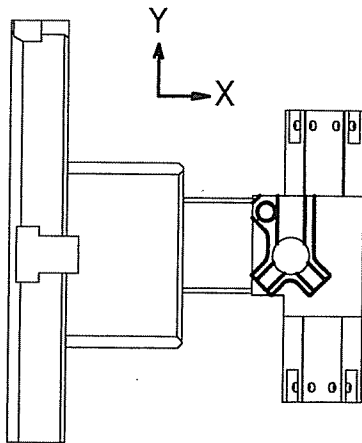
- les axes X, Y, Z de la machine-outil (l'axe Z étant l'axe de la broche) ;
- l'orientation de la pièce par rapport à la broche (valeurs des angles B et U) ;
- la liste des surfaces réalisées (les repérer par coloriage et/ou surlignage).

La face 1 est terminée après la phase d'ébauche et toutes les autres surfaces se trouvent du même côté par rapport à 1. La modification de la position de l'alésage de fixation du tube anti-roulis et des deux trous taraudés M4 des deux vis de pression qui assurent son maintien permet de prendre cette surface comme face de posage sur une rehausse. A partir de là on peut présenter perpendiculairement à l'axe Z de la machine toutes les autres faces en utilisant les deux rotations U et B.

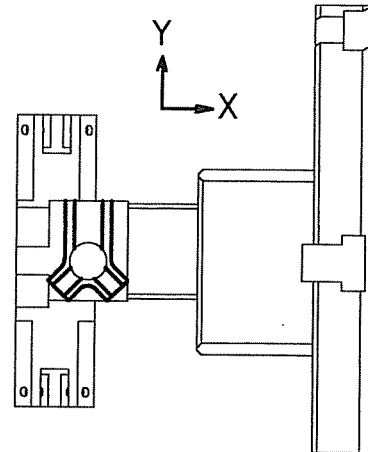
La qualité du résultat en terme de position relative des axes fabriqués est liée à la maîtrise des différents maillons de la chaîne caractéristique de mise en position du point générateur de chaque outil dans l'espace de la pièce. Parmi ces maillons deux sont essentiels, la



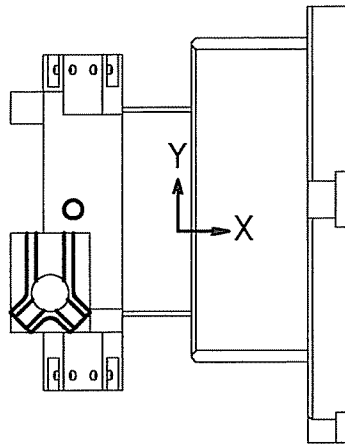
B = 0 U = 0



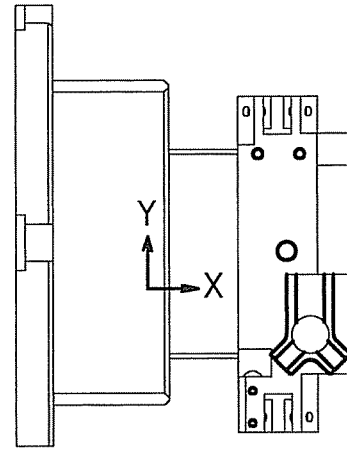
B = - 90 U = 0



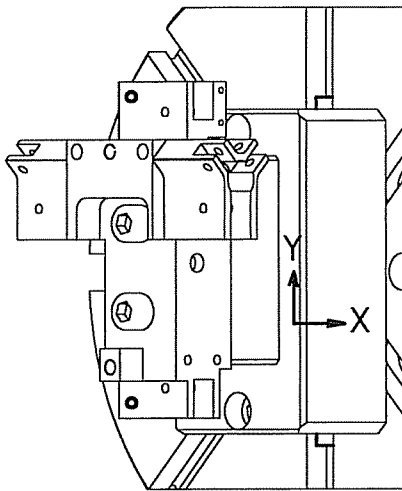
B = 90 U = 0



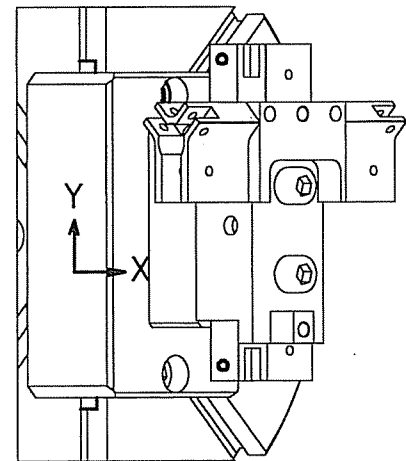
B = 90 U = -90



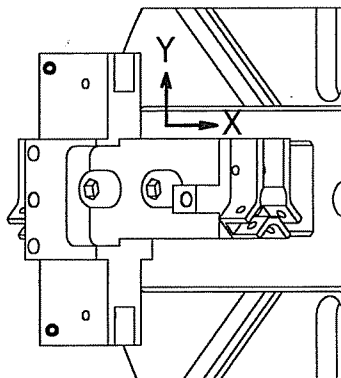
B = -90 U = -90



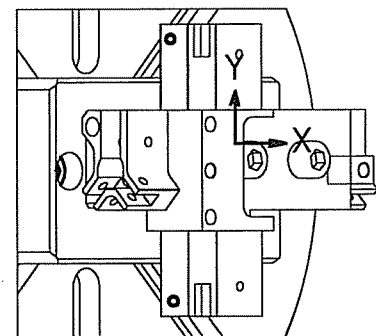
B = 45 U = 90



B = -45 U = 90



B = 45 U = 0



B = -45 U = 0

position de l'axe de rotation de la table et celle de l'axe de rotation du diviseur dans le repère machine.

Les figures suivantes donnent une vue d'ensemble du porte-pièce, et les neuf orientations nécessaires pour effectuer toutes les opérations de finition du nouveau palier intermédiaire. Chacune de ces figures est vue depuis la broche de la machine (axe Z normal au plan de la vue), les surfaces usinées pour l'orientation correspondante sont représentées en trait fort. Les valeurs des angles B (rotation de la table) et U (rotation du diviseur) sont comptées positivement dans la base (X,Y,Z) liée à la machine en considérant que c'est la broche qui se déplace pour arriver à la position correspondante.

Orientation B = 0, U = 0

Finition des formes de liaison avec la platine :

- surfaçage finition du plan d'appui,
- alésage des logements des deux pions de positionnement,
- taraudage des deux trous de fixation.

Alésage des axes d'articulation des galets d'appui de chaque module.

Orientation B = -90, U = 0

Contournage de la chape porte-galets située côté avant.

Alésage du logement du tube anti-roulis.

Orientation B = 90, U = 0

Contournage de la chape porte-galets opposée.

Orientation B = 90, U = -90

Contournage de la chape porte-galets du palier inférieur.

Lamage du logement du ressort inférieur d'équilibrage de l'axe Z'.

Orientation B = -90, U = -90

Contournage de la chape porte-galets du palier supérieur.

Lamage du logement du ressort supérieur d'équilibrage de l'axe Z'.

Taraudage des deux trous de blocage du tube anti-roulis dont la position doit être changée sinon ils sont inaccessibles avec ce posage.

Orientation B = 45, U = -90

Alésage des axes des galets obliques des chapes avant et arrière.

Orientation B = -45, U = -90

Alésage des axes des deux autres galets obliques des chapes avant et arrière.

Orientation B = 45, U = 0

Alésage des axes des galets obliques des chapes inférieures et supérieures.

Orientation B = -45, U = 0

Alésage des axes des deux autres galets obliques des chapes inférieures et supérieures.

Les opérations de contournage des chapes

Q38 : Sur le document réponse DR1, représenter aux instruments ou à main levée, par des croquis perspectifs et/ou des schémas et/ou un dessin d'ensemble à l'échelle 1, une solution technologique de la nouvelle tête de mesure en X avec tous ses composants.

On devra y définir sans ambiguïté :

- la liaison du support avant avec l'axe horizontal ;

- le sous ensemble fonctionnel assurant l'appui bilatéral (sans jeu) avec le tube de guidage ;
- le dispositif de réglage d'orientation (rotation autour de l'axe des X) ;
- les nouvelles formes de l'écrou du dispositif de motorisation et sa liaison avec le support avant ;
- la liaison entre la tête de lecture et le support avant.

Si la solution ne comporte pas de dessin à l'échelle 1, il est exigé de fournir sur les croquis :

- les géométries de référence (points, axes, plans) permettant de structurer le traitement de l'ensemble (composants et assemblages) avec un outil CAO ;
- le paramétrage fonctionnel des différentes pièces.

Dans tous les cas les pièces et les sous-ensembles fonctionnels seront repérés par leur désignation, la structure du montage sera décrite sous la forme d'un graphe d'assemblage hiérarchisé.

La modification demandée vise à améliorer le comportement de l'ensemble de palpation en réduisant la complexité. La solution technique associée à cette modification doit être réalisée en réutilisant au maximum les éléments de la solution précédente qui donnaient satisfaction. Seuls l'écrou et le support avant sont à redéfinir, avec des formes usinables facilement.

Le nouvel écrou étant en appui ponctuel de normale parallèle à la vis, doit être arrêté en rotation par rapport à la platine qui tient lieu de bâti pour l'ensemble de palpation. Ceci impose de prévoir un doigt qui coulisse dans une rainure fraisée dans la platine et une chape usinée dans la masse de l'écrou pour y monter le galet d'appui de l'écrou sur le support avant (on exige un appui ponctuel unilatéral sans frottement de normale parallèle à l'axe de palpation)

L'appui roulant bilatéral du support avec le tube de guidage se fait simplement avec un roulement monté sur un axe excentrique qui permettra de régler son « roulis » au montage. Pour maintenir le contact sur le tube de guidage il suffit de réutiliser le galet d'appui des modules à galets.

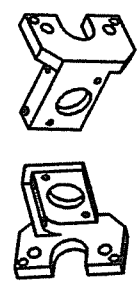
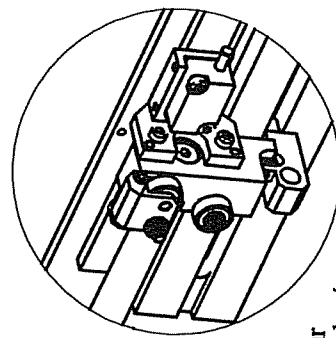
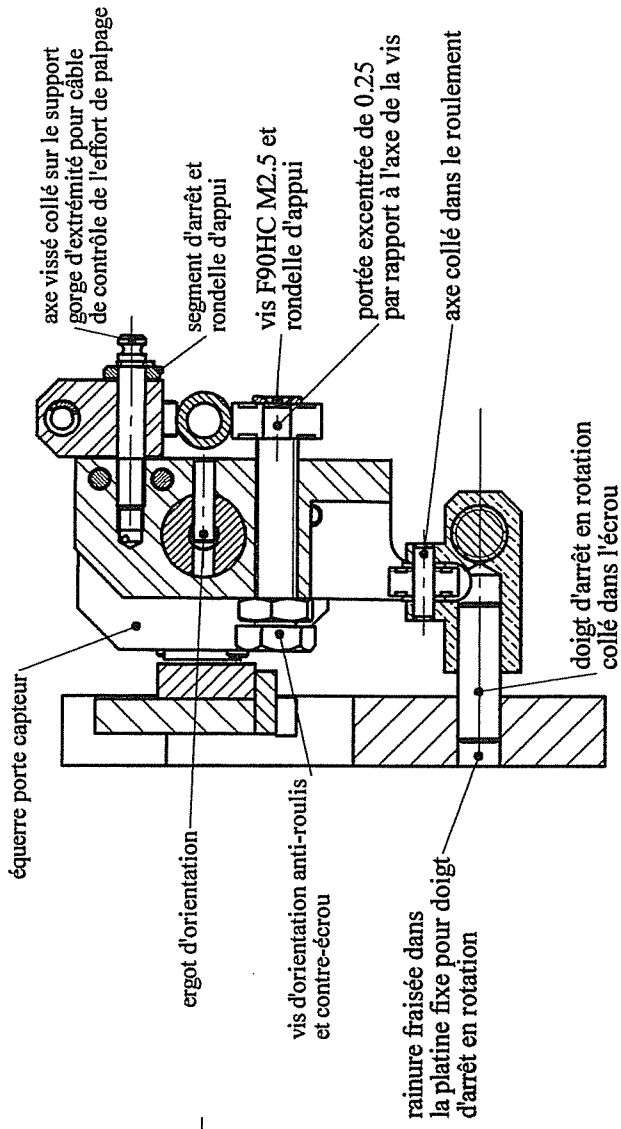
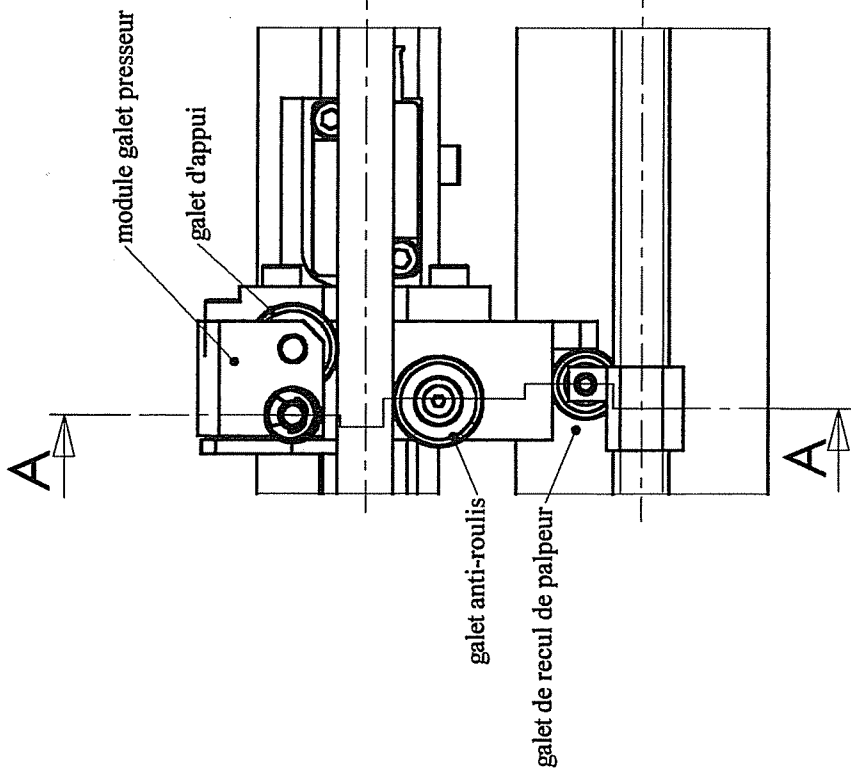
La tête de lecture doit être encastrée sur le support avant par appui plan et vissage. Il faut la situer en face de la règle et ne pas gêner le passage des connexions.

L'application d'un effort de palpation constant sur toute la course de palpation se fait très simplement avec un contre-poids de masse bien choisie, dont le câble est accroché à l'extrémité de l'axe du galet anti-roulis et passe sur une poulie de renvoi fixée au palier intermédiaire.

Le support avant sert de bâti reliant tous ces éléments et doit être encastré sur l'axe horizontal. Comme il doit être orienté autour de l'axe horizontal on peut reprendre la structure d'encastrement du porte palpeur sur l'axe horizontal.

Seuls trois candidats ont pensé à l'arrêt en rotation du nouvel écrou...

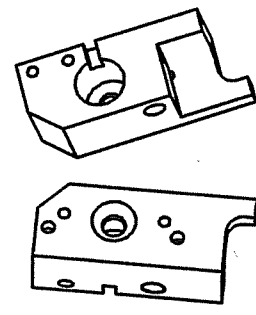
Certains candidats qui ont estimé à la question 36 que l'usinage avec une machine à commande numérique augmentait le coût d'une pièce, ont proposé un encastrement du support avant sur la tige de palpation à l'aide d'un profil « polygon » conique !!! (du même type que les attachements d'outils « Capto » de Sandvik ®).



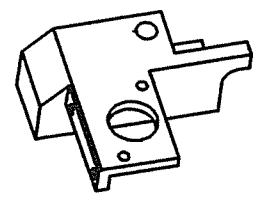
équerre porte capteur



nouvel écrou équipé



support de tête



support de tête
(variante avec équerre monobloc)

question 38
Éléments de solution

Commentaires des correcteurs de l'épreuve « Conception des systèmes »

Les auteurs du sujet remercient la société MECALIX-EURALTECH pour leur accueil chaleureux et les précieux renseignements qui leur ont été communiqués.

Le sujet de cette épreuve s'intéressait à une machine de contrôle de pièces de révolution en environnement de production.

Les éléments de correction proposés sont volontairement très détaillés, ce qui n'était pas demandé aux candidats dans une épreuve en temps limité.

La première partie concernait la compréhension et la justification de l'architecture de la machine.

Cette partie obligeait le candidat à synthétiser les différents documents fournis (cahier des charges, analyse fonctionnelle, nomenclature, dessin d'ensemble) et à réaliser une analyse fine d'une solution en réponse à un cahier des charges. Le thème directeur de cette partie était d'utiliser un principe de métrologie « le principe d'Abbe » pour justifier une architecture machine tout en restant dans la réalité technico-économique imposée par les grands constructeurs automobiles (conception à coût objectif).

Les candidats ont eu des difficultés à faire le lien entre le cahier des charges, l'architecture choisie (choix des axes et implantation des capteurs) et la solution constructive retenue par le constructeur. Cette partie ne comportait aucun calcul long ou complexe, mais nécessitait une culture technologique minimale. Seules les questions 9 et 14 nécessitaient une culture dans le domaine de la métrologie.

La deuxième partie concernait la caractérisation du comportement mécanique de l'ensemble support de palpation et la re-conception du porte palpateur.

La majeure partie des candidats a traité correctement les parties analytiques, certains allant même jusqu'à re-démontrer les formules de flèche qui étaient fournies dans les documents annexes, ce qui n'était pas demandé.

Seulement 30% des candidats ont effectué correctement la sélection des matériaux et paramètres de conception en s'appuyant sur une démarche relativement structurée (passage du modèle au réel).

La mise en place des modèles de simulation et l'analyse des résultats ont été traitées correctement par moins de 5% des candidats (passage du réel au modèle).

En ce qui concerne la re-conception du porte-palpeur, la majeure partie des candidats a correctement effectué la description des solutions techniques existantes ; par contre moins de 10% des candidats ont proposé des solutions technologiques cohérentes associées à un niveau d'expression graphique et schématique de qualité.

40% des candidats ont rendu copie blanche pour la partie expression graphique d'une solution technique. Le sujet était certes long, mais il s'agit d'un concours d'agrégation destiné à recruter des enseignants de sciences de l'ingénieur dont certains seront amenés à former des techniciens, techniciens supérieurs et ingénieurs en conception des produits industriels. Cette activité est fondamentale dans la pratique pédagogique quotidienne de ces enseignants. Son efficacité repose sur une culture minimale des solutions techniques de base actuelles.

L'indigence des solutions produites par la majorité des candidats concernant :

- les choix et l'organisation spatiale des fonctions techniques,
- le choix des composants et leur implantation,
- la définition explicite de formes réalisables,
- l'utilisation des outils de la communication technique (graphes, schémas, perspectives, vues géométrales, coupes, vues partielles de détails, etc...).

est inadmissible à ce niveau.

