

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.

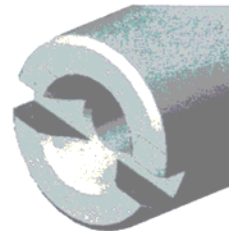
ZONE COMMUNE

	0.2	A-B
	0.02	A-B

C

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.

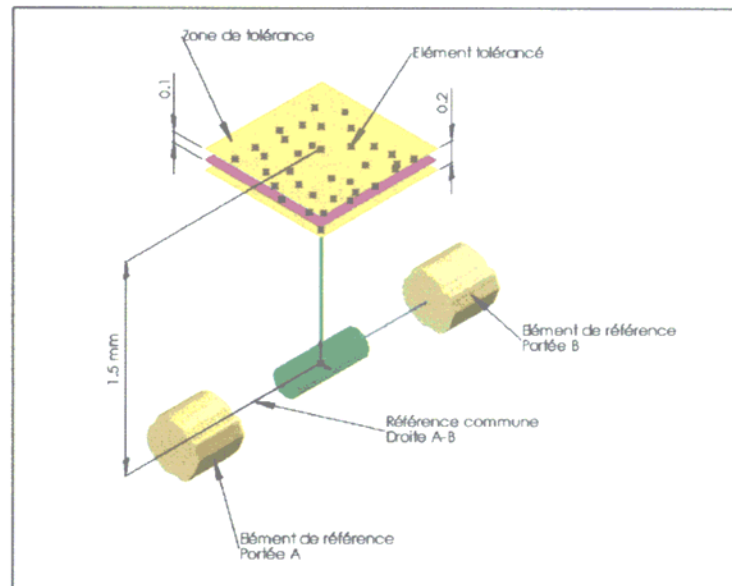


Spécification de localisation

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.

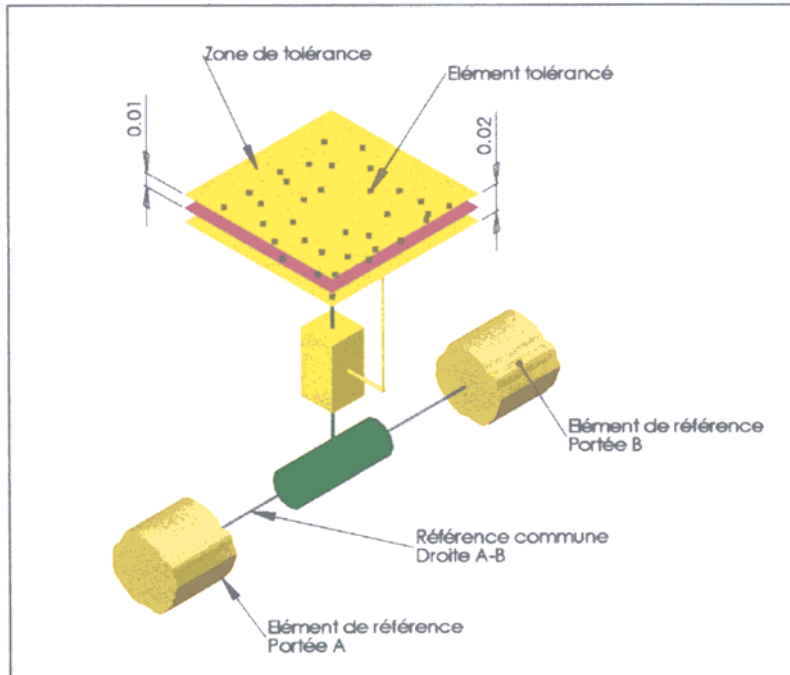


Spécification de parallélisme

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.

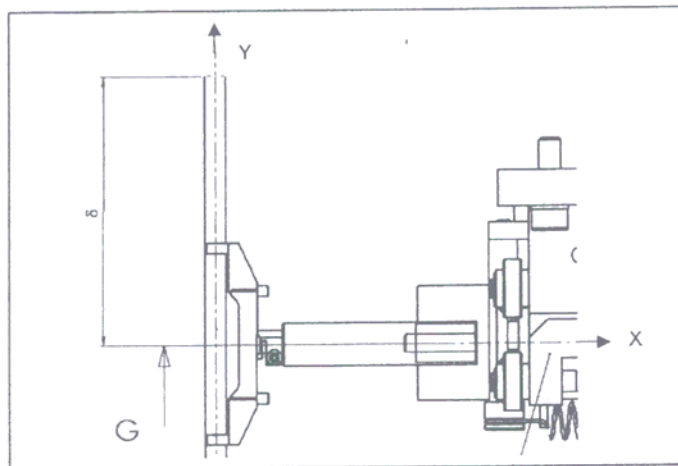
Critère de conformité : la spécification est respectée si l'élément tolérancé se trouve dans la zone de tolérance.

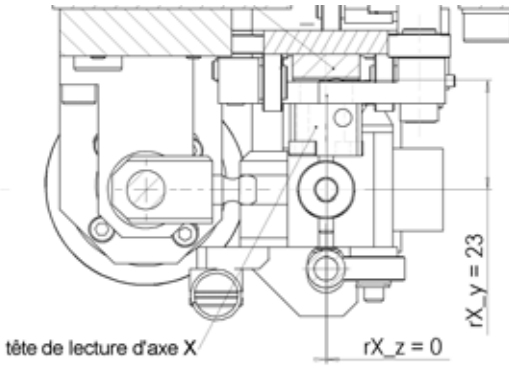
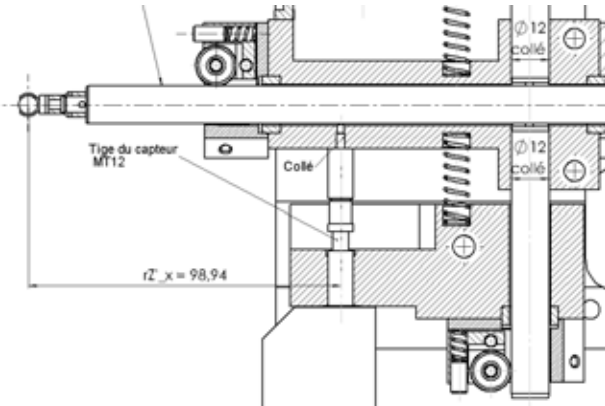
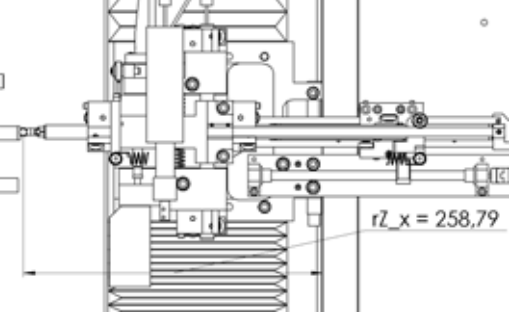



Q2 : Quels sont les axes qui respectent (ou ne respectent pas) le principe d'ABBE ? En prenant les mesures sur les documents 1 et 2, chiffrer l'offset d'ABBE pour les deux axes X et Z. Quelle est l'influence au niveau des performances de la machine ? Il est demandé une analyse qualitative permettant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



<p>Mesure de l'offset d'Abbe de l'axe X</p>  <p>tête de lecture d'axe X</p> <p>$rX_y = 23$ $rX_z = 0$</p> <p>$rX_y = 23 \pm \delta \text{ mm}$ et $rX_z = 0 \text{ mm}$</p>	<p>Mesure de l'offset d'Abbe de l'axe Z'</p>  <p>Tige du capteur M12</p> <p>Colé</p> <p>$r'Z'_x = 98,94$</p> <p>$rZ'_x = 99 \text{ mm}$ et $rZ'_y = 0 \pm \delta \text{ mm}$</p>
<p>Mesure de l'offset d'Abbe de l'axe Z</p>  <p>$rZ_x = 258,79$</p> <p>$rZ_x = 259 \text{ mm}$</p>	<p>Mesure de l'offset d'Abbe de l'axe Z</p>  <p>$rZ_y = 88$</p> <p>$rZ_y = 88 \pm \delta \text{ mm}$</p>

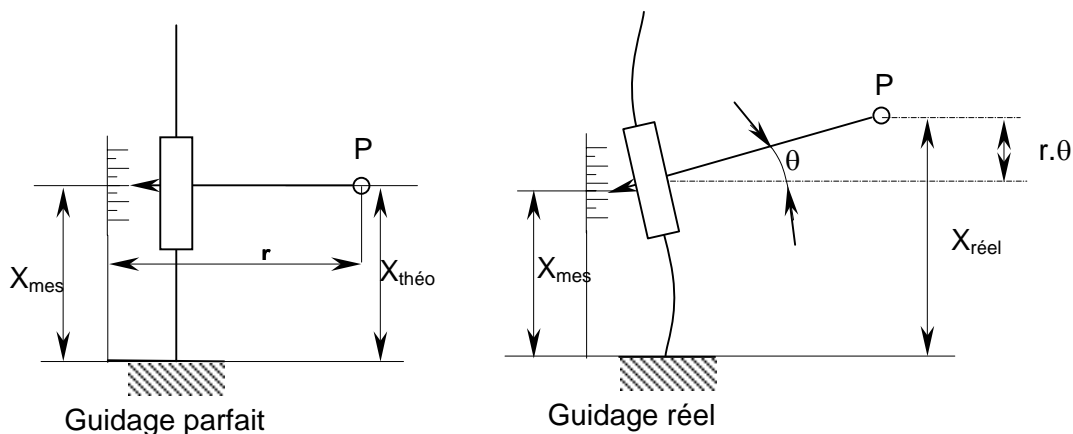
Nous pouvons en déduire un classement des axes respectant le principe d'Abbe (par offset croissant) : Axe X > axe Z' > axe Z.

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' : 0.5μ , Axe Z : 5μ

Nous constatons que le 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 au point fonctionnel des rotations du coulisseau.



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 plus une composante inconnue qui provient de la rotation θ du coulisseau. La valeur de cette composante est proportionnelle à l'Offset d'Abbe r .

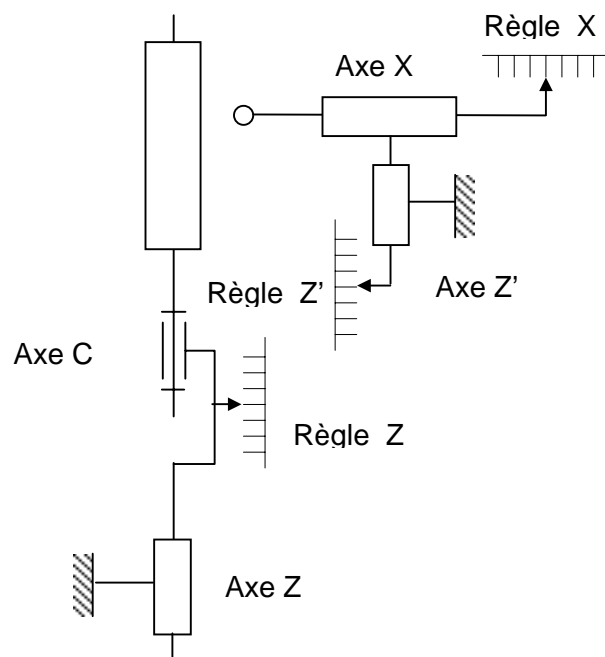
Q3 : Proposer d'autres architectures de machine pour la même morphologie de pièce. Effectuer une analyse critique au vu du respect du principe d'ABBE.

62 % des candidats n'ont pas traités cette question, 2% des candidats ont correctement répondu. Beaucoup de candidats ont inversés 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 où l'on réalise 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 embarqué sur le guidage Z (problème de rigidité) et encombrement maximal sur Z.

Pour plus d'informations sur des machines respectant au mieux le principe d'Abbe on pourra consulter l'article de J. Brian traduit par André Clément dans Technologie et Formation n° 19.

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

- SE_1 : axe Z vertical ;
- SE_2 : axe X radial et l'axe Z' (considérés comme un ensemble rigide) ;
- SE_3 : axe C,
- SE_4 : bâti.

23 % des candidats n'ont pas traités cette question, 5% des candidats ont correctement répondu. Beaucoup de candidats ont placés 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 0.5μ en compression pour un vilebrequin de 400 mm et de 36 kg).

Le sous ensemble SE_1 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 SE_2 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 SE_3 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 SE_4 est composé du bâti et sera défini à partir d'un repère complet plan PL_b , droite DR_b point PT_b .

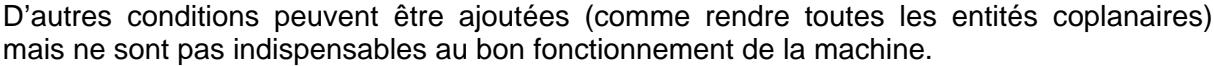
Le point fonctionnel est noté P (étude avec palpeur sphérique).

Il s'agit de définir les contraintes géométriques minimales pour garantir la mesure de pièces de révolutions 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 appartient à DR_C . De plus on peut prendre PT_C et PT_b coïncidents et DR_C et DR_b coïncidents et DR_b et PL_b coplanaires.

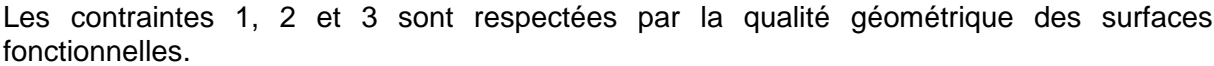
N°	Caractérisation	Contrainte
1	Respect de l'architecture machine (pas de d'effet de flexion dans la pièce)	DR_C verticale
2	Palpage d'un cylindre de référence d'axe DR_C sans générer un défaut de conicité	DR_C parallèle à DR_Z
3	Palpage d'un plan de référence perpendiculaire à l'axe DR_C en découplant 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 garanti 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 engendre une erreur systématique dans une mesure de diamètre. Cette erreur systématique est corrigée dans l'étalonnage de la machine. Cette condition est atténuée si l'on utilise un palpeur barreau cylindrique.



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

65 % des candidats n'ont pas traités cette question, 3% des candidats ont correctement répondu.



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 palpage commence alors par un palpage d'un

cercle sur la portée 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 traités cette question, 21% des candidats ont correctement répondu. Le torseur des petits déplacements semble encore pour certains un outils méconnu.

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

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

la glissière exprimé en O_2 dans le repère machine 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 le repère X_1, Y_1, Z_1 nous obtenons

$$D_P = \begin{Bmatrix} T_x + 0 \\ T_y - \lambda \cdot R_z \\ T_z + \lambda \cdot R_y \end{Bmatrix}$$

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

	barreau	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 $T_x(0)=0$, $T_x(L)=0$ 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 : $L = 600$ mm, $\lambda = 300$ mm et $\delta = 0.008$ mm pour $Z=L/4$

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

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 traités 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 : $T_x(Z) = cte$ pour $Z = cte$

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 références 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 le repère X, Y, Z de la machine 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 : $T_x(Z)$
$R_1(\theta=0) = R_{ref} + u$ $R_2(\theta=\pi/2) = R_{ref} + v$ $R_3(\theta=\pi) = R_{ref} - u$ $R_4(\theta=3\pi/2) = R_{ref} - v$	$R_1(\theta=0) = R_{ref} + u + T_x(Z)$ $R_2(\theta=\pi/2) = R_{ref} + v + T_x(Z)$ $R_3(\theta=\pi) = R_{ref} - u + T_x(Z)$ $R_4(\theta=3\pi/2) = R_{ref} - v + T_x(Z)$

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 : moindre carré 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

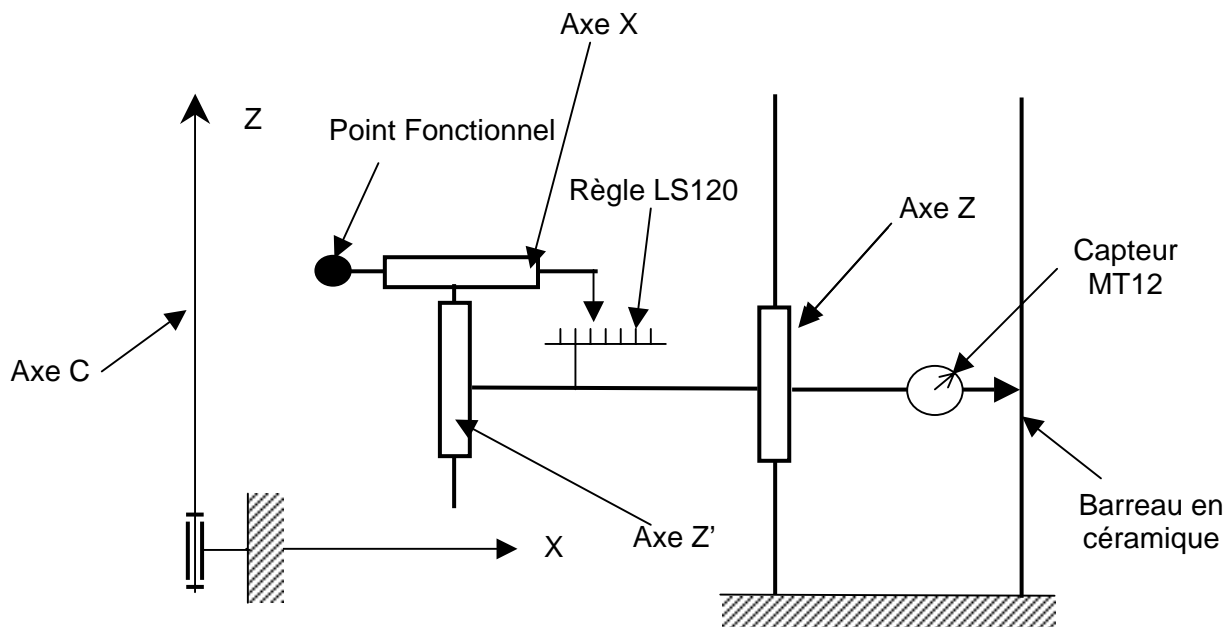
dans un rapport de 10. Ce qui n'est pas compatible avec le cahier des charges de la machine.

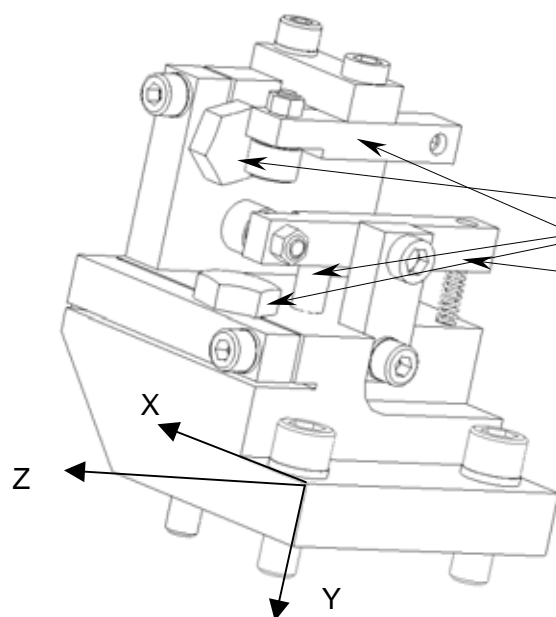
Q8 : Quels sont les défauts géométriques corrigeables par cette solution, proposer sous forme de schéma ou de dessin 2D, la liaison complète réglable et démontable entre le barreau céramique et la plaque support.

72 % des candidats n'ont pas traités 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.



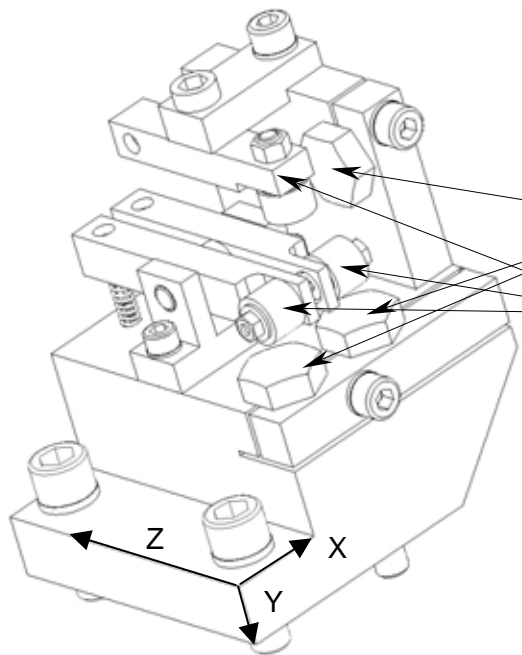


Support bas (sans le barreau céramique)

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.



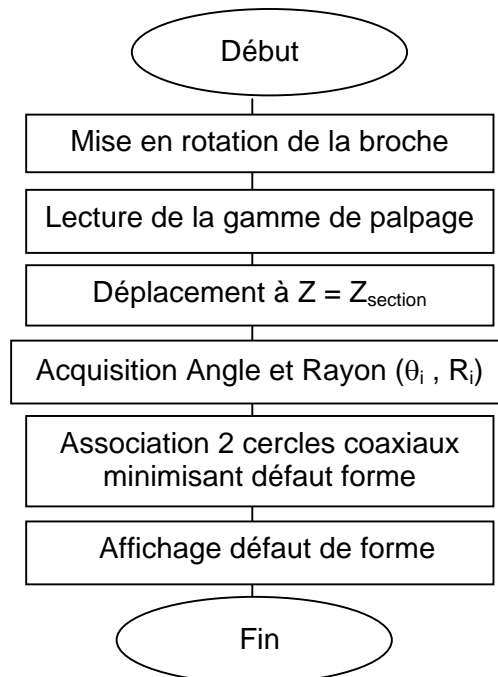
Support haut (sans le barreau céramique)

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.

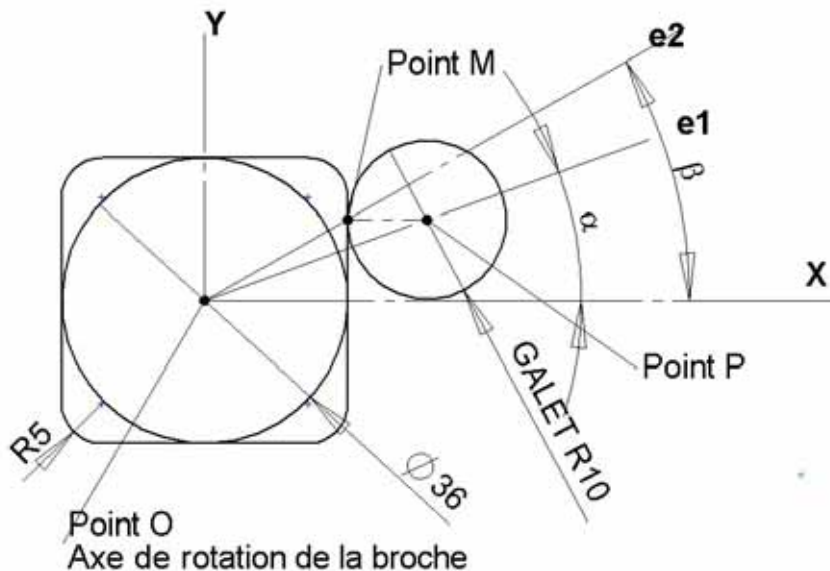
74 % des candidats n'ont pas traités cette question, 20% des candidats ont correctement répondu. L'expression des critères d'association n'est pas toujours explicite.



Si la section circulaire n'est pas coaxiale avec l'axe de rotation, alors un palpation d'une section haute et 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 paramètre.

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



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

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

Fermeture géométrique OMP.

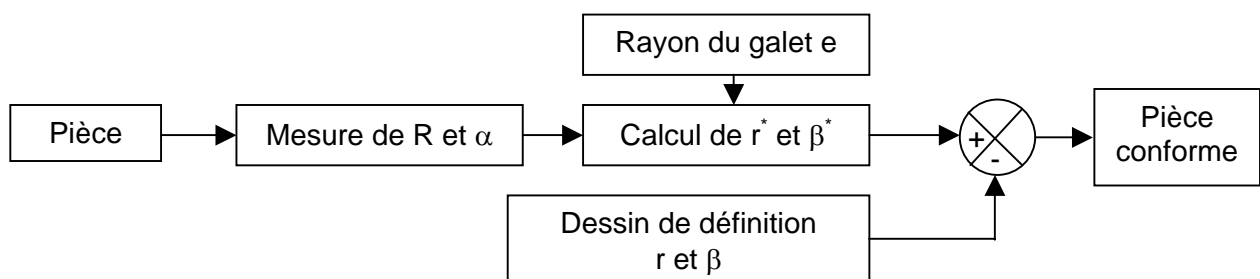
$$\begin{aligned} \mathbf{OM} &= r(\beta) \cdot \mathbf{e}_2 \\ \mathbf{OP} &= R(\alpha) \cdot \mathbf{e}_1 \end{aligned}$$

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

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

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

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



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

33 % des candidats n'ont pas traités cette question, 7% des candidats ont correctement répondu. Beaucoup de candidats sont imprécis dans la fonction joué par tel ou tel capteur (mesure du déplacement de quoi par rapport à quoi).

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 le 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 :

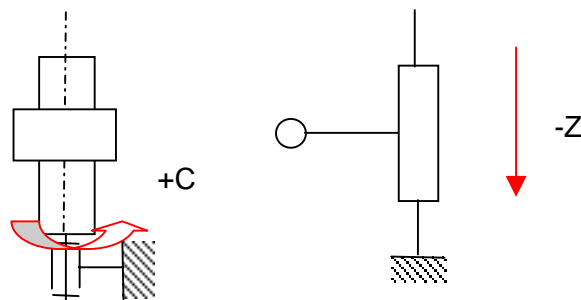
- de palpaxe axial ;
- de palpaxe radial.

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

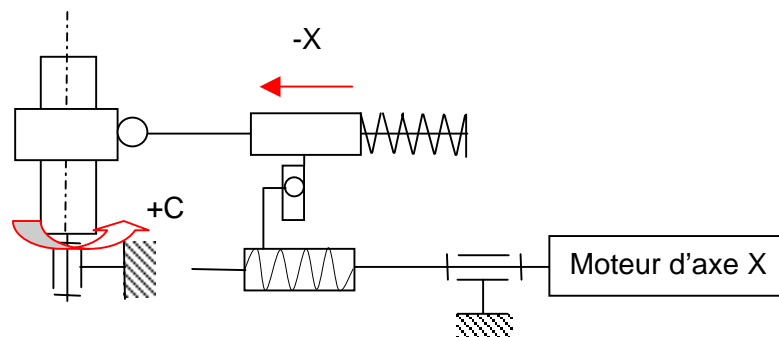
Séquence de palpaxe Radial

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.



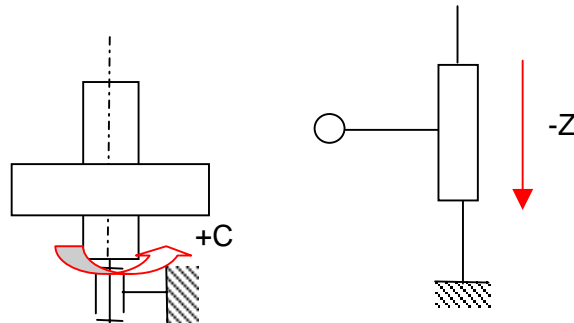
4/ acquisition des paramètres θ_i , R_i .

5/ exploitation des données.

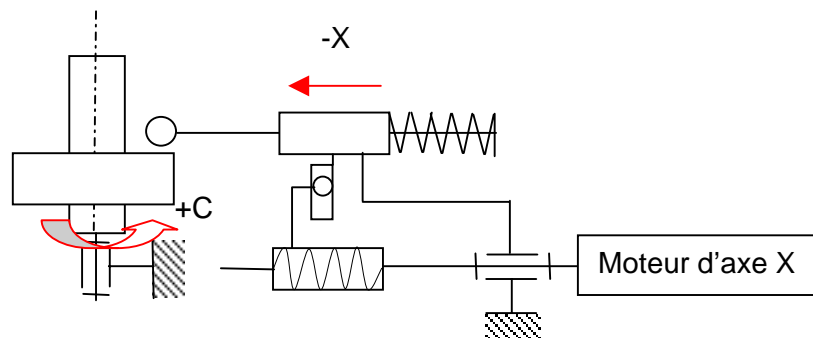
Séquence de palpaxe axial

1/ mise en rotation de l'axe C.

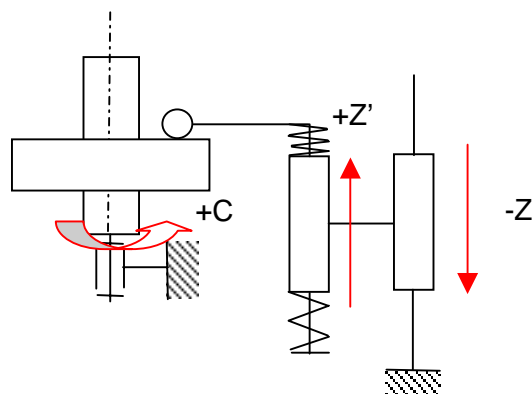
2/ déplacement de l'axe Z pour positionner le point fonctionnel au-dessus ou au-dessous du plan à palper.



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/ acquisitions des paramètres θ_i , Z'_i .

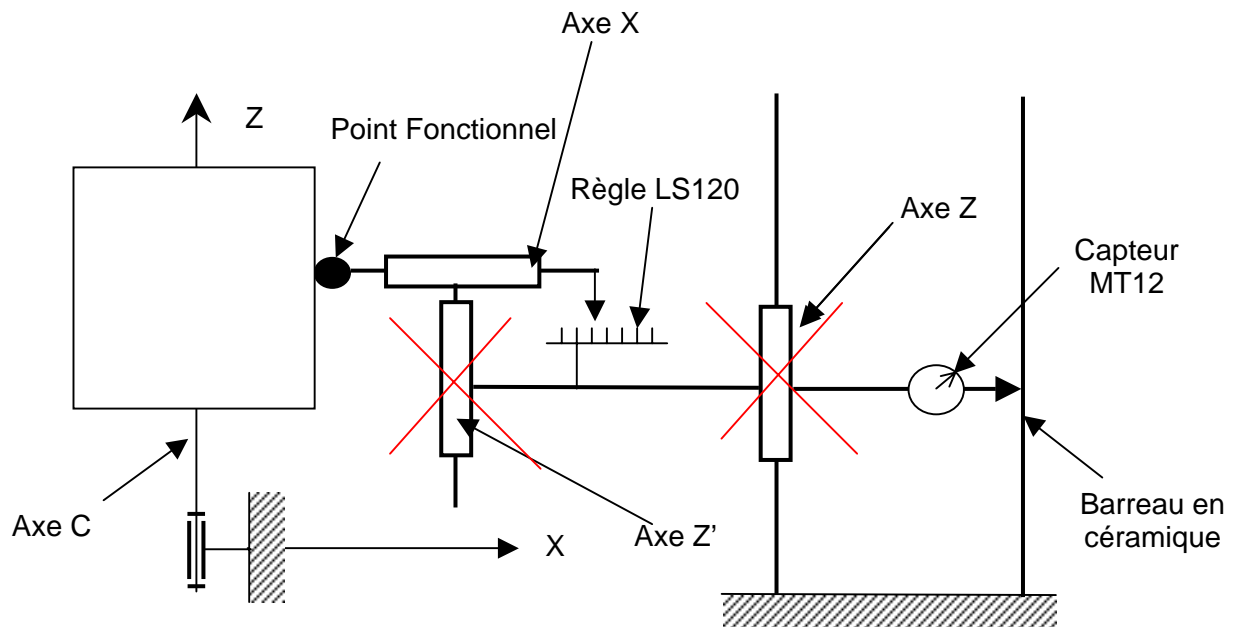
6/ déplacement suivant X éventuellement puis retour en 5

7/ exploitation des données.

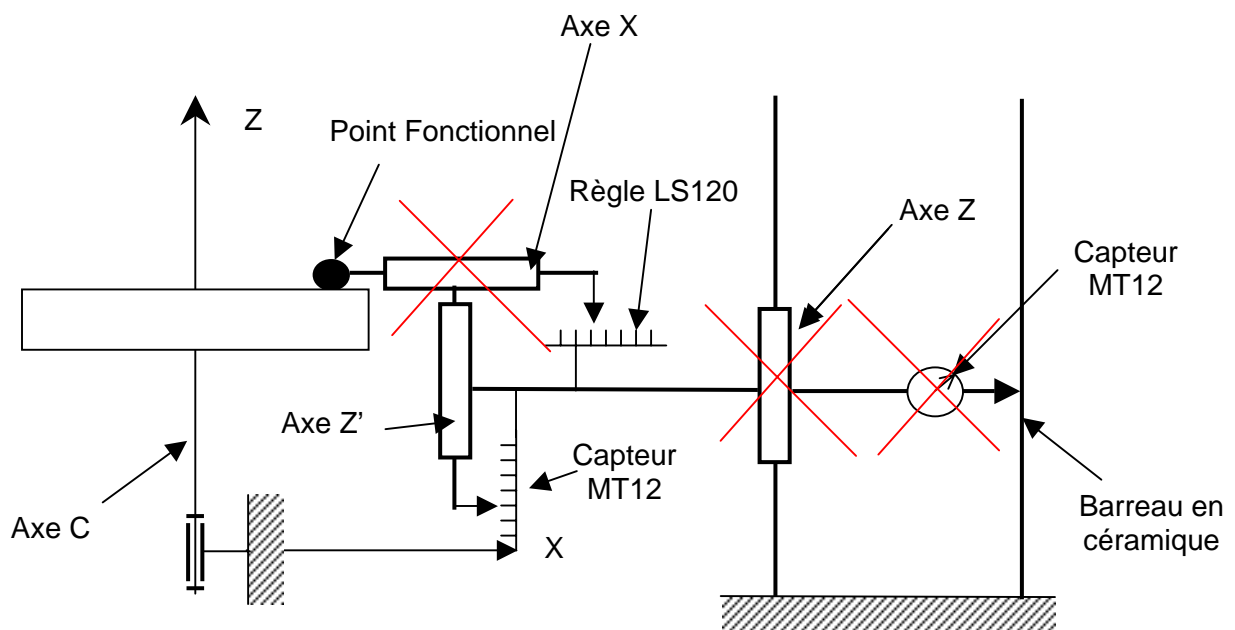
Q13 : effectuer le(s) schéma(s) cinématique(s) associé(s) à chacune de ces deux séquences en y référençant les différents capteurs et les différents axes de la machine.

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

Séquence de palpage Radial



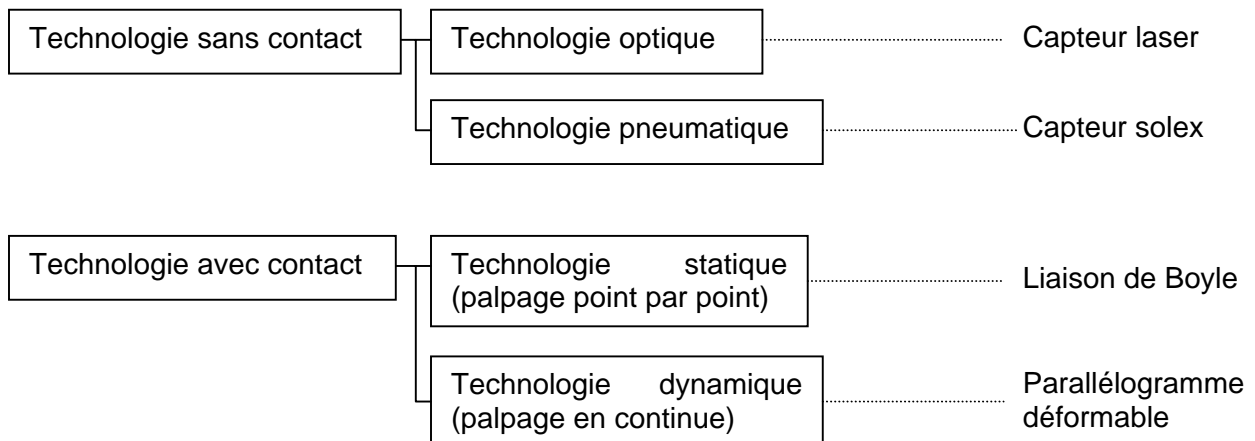
Séquence de palpage Axial



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

70 % des candidats n'ont pas traités cette question, 10% des candidats ont correctement répondu. La technologie du palpeur traditionnel (liaison de Boyle) semble inconnu 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 traités cette question, 10% des candidats ont correctement répondu.

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

Le capteur Solex 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).

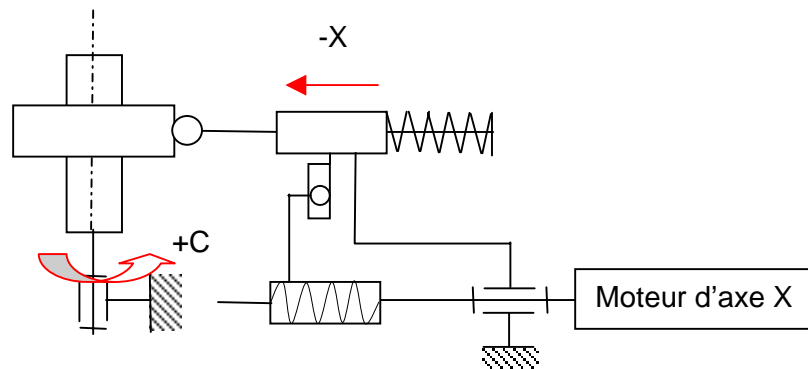
Le palpeur statique à liaison de boyle (contact de trois sphères sur trois vés disposés à 120°, un ressort permet de tarer l'effort de déclenchement du palpeur. Ce type de palpeur ne peut pas être utiliser dans ce contexte, il faudrait faire une acquisition point par point sur le rayon donc piloter constamment 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 utiliser si l'on ne mesure 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, 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 traités 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'excentration maximale de la came : 30 mm et de rayon des portées A ou B : 15 mm. Soit une variation de rayon de 15mm.

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

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

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 15mm, il y a donc risque de palper avec un effort nul les petits diamètres.

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

77 % des candidats n'ont pas traités 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.

