

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 : $M = \rho A l \Rightarrow A^2 = \frac{M^2}{\rho^2 l^2}$

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.

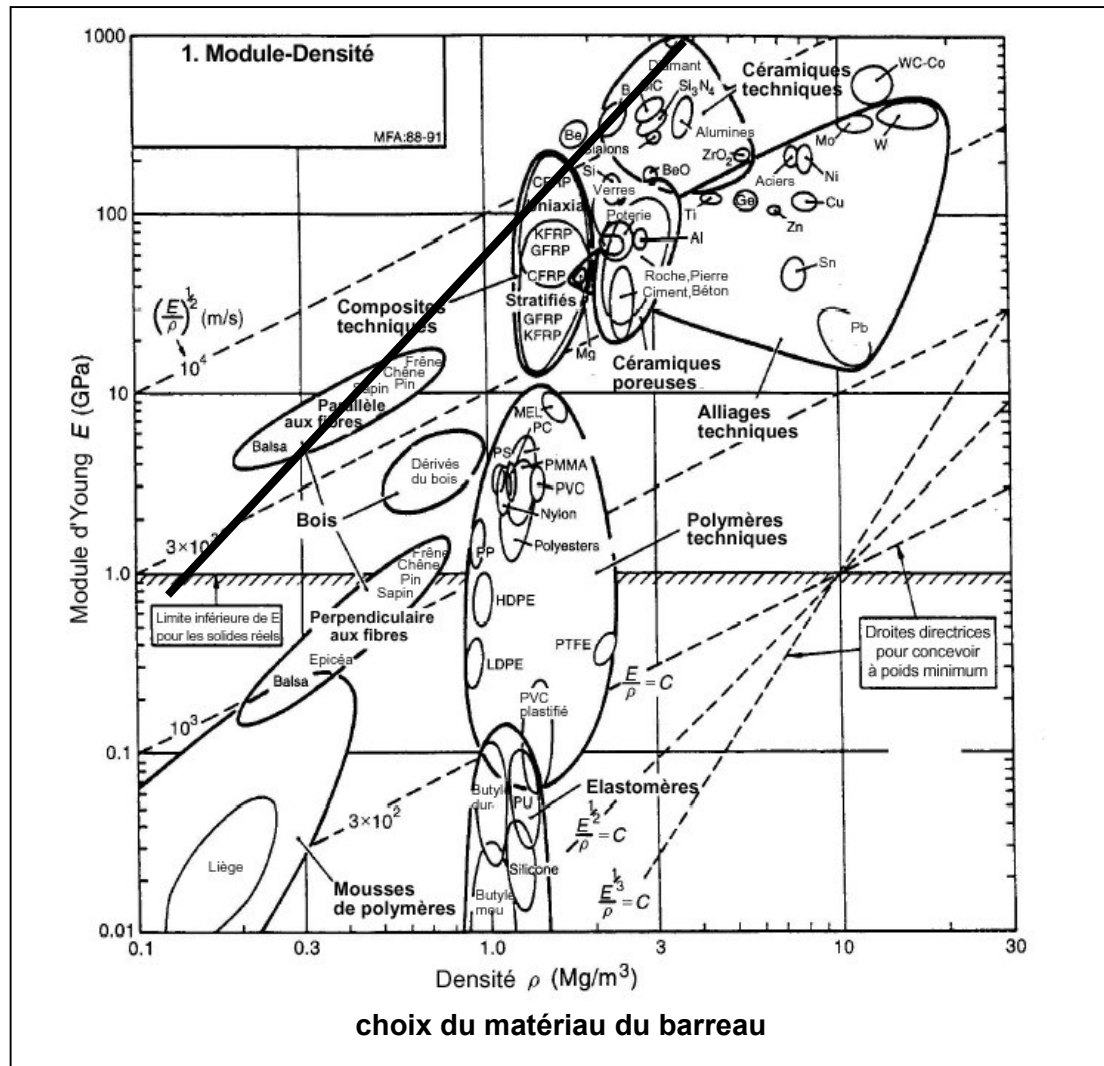
Dans le cas d'une poutre de longueur l connue soumise à un chargement C constant, la vérification du critère passe par une maximisation du rapport $\frac{E\phi_f^e}{\rho^2}$ ou $\frac{\sqrt{E\phi_f^e}}{\rho}$

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 palpage 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
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.

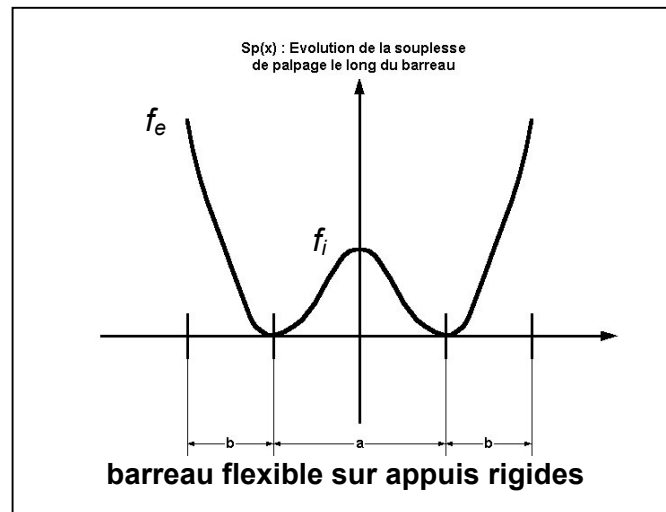
Tracer l'allure de l'évolution de la souplesse de palpation en fonction de la position du point de palpation.

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 :

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

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

On en déduit les expressions de :

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

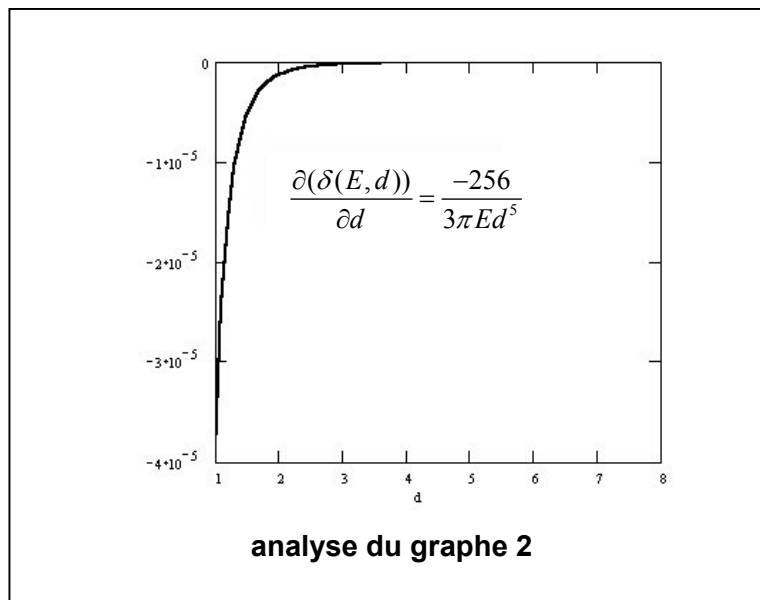
$$- Spi = \delta(E, d) \frac{l^3}{16(1+2\lambda^3)}$$

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

Analyse des graphes d'évolution des souplesses de palpement.

Objectif : choisir les paramètres de conception de manière à minimiser la souplesse de palpement 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 $d = 5\text{mm}$.

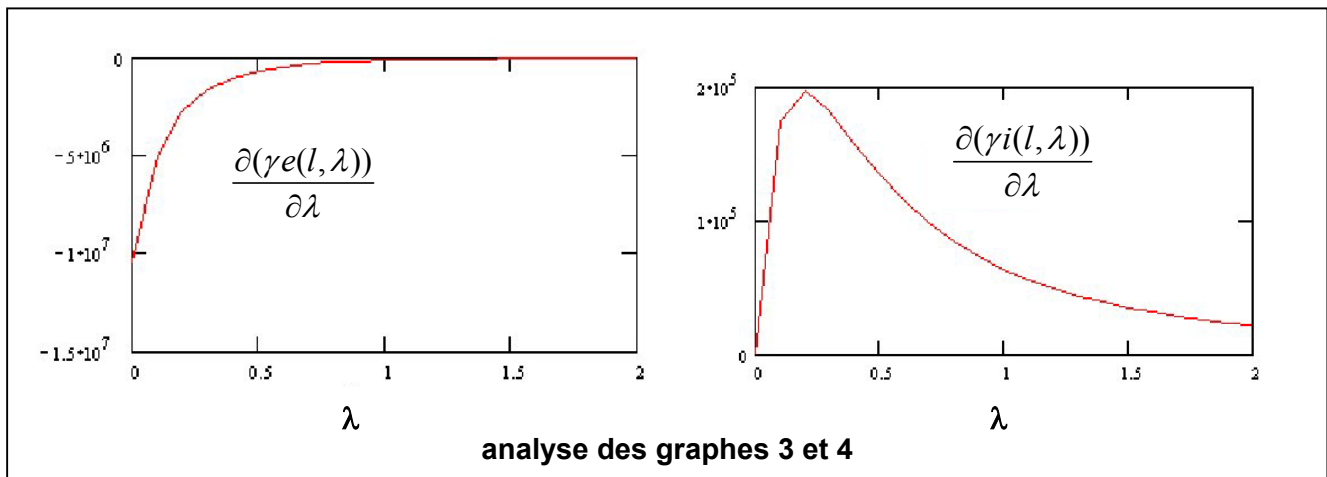


Un diamètre minimal de 6 mm est choisi pour le palpeur.

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 .



Conclusion : Paramètres de conception du barreau

Dmini = 6 mm

$\lambda = 1$

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

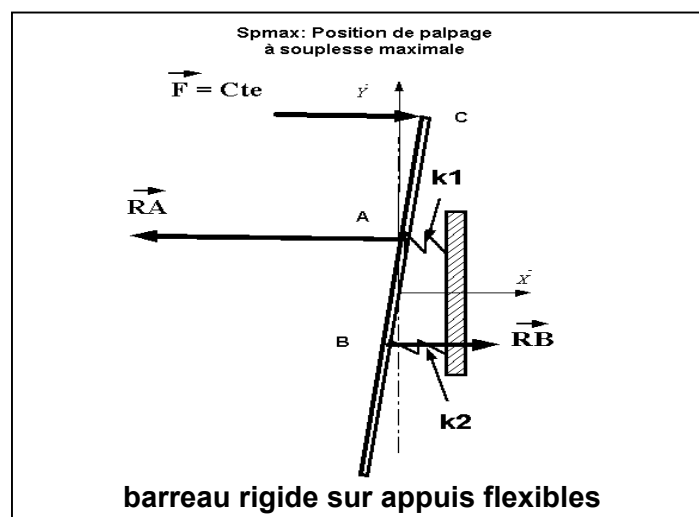
Q23 : Dans le cas d'un barreau rigide sur appuis élastiques

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.

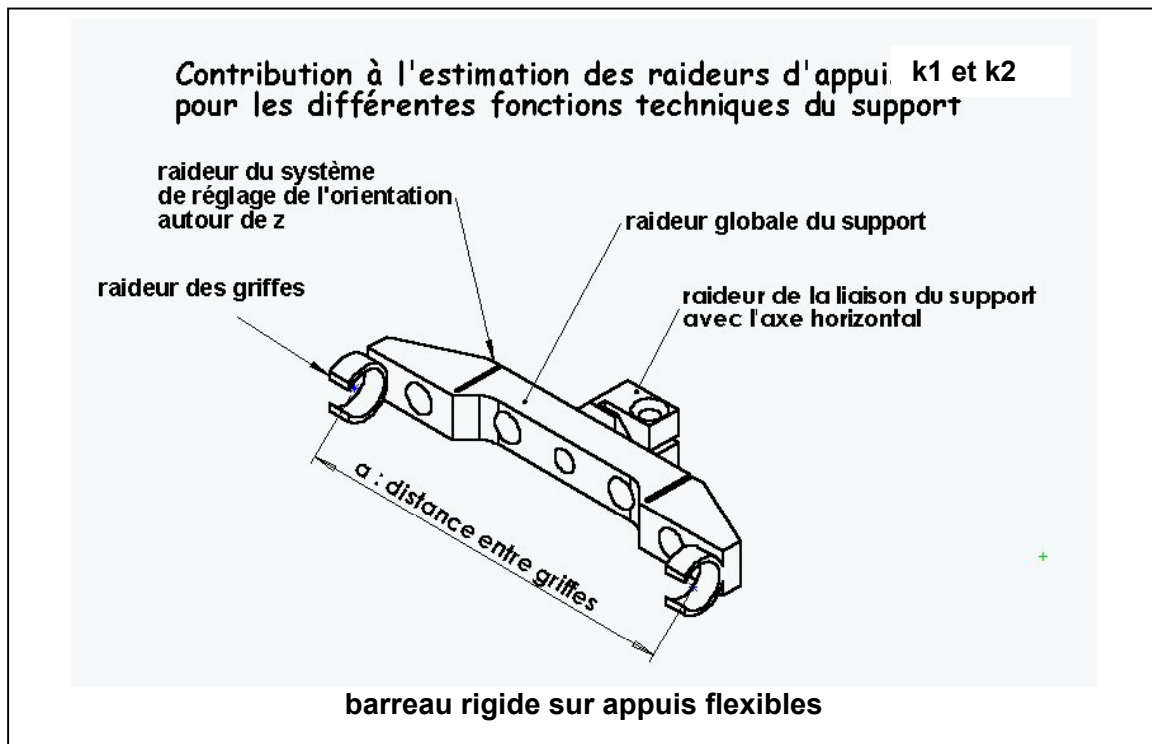
Selon la position de palpation les appuis A et B sont sollicités en traction ou compression.



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 palpé à l'estimation des raideurs des appuis A et B, dans le cas d'une opération de palpé 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.

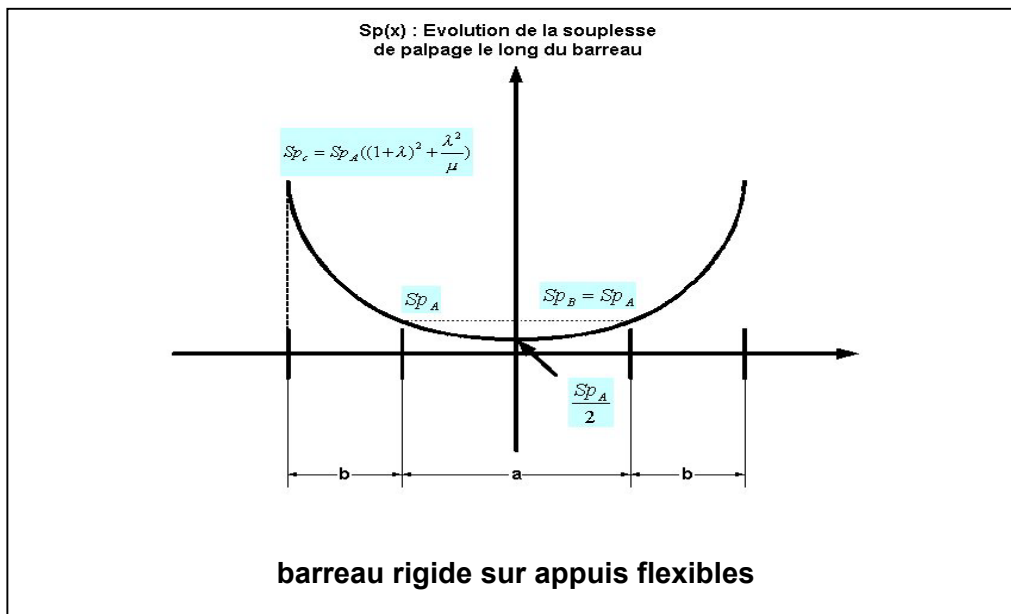
Raideurs dépendantes du sens de la réaction d'appui

- 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 tôle) 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.

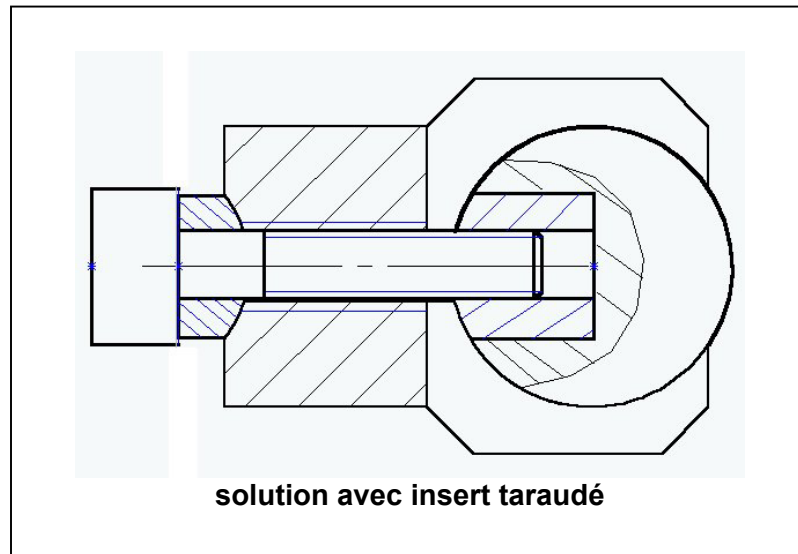
- Augmenter la rigidité des griffes et limiter voire annuler les possibilités d'ouverture.

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).



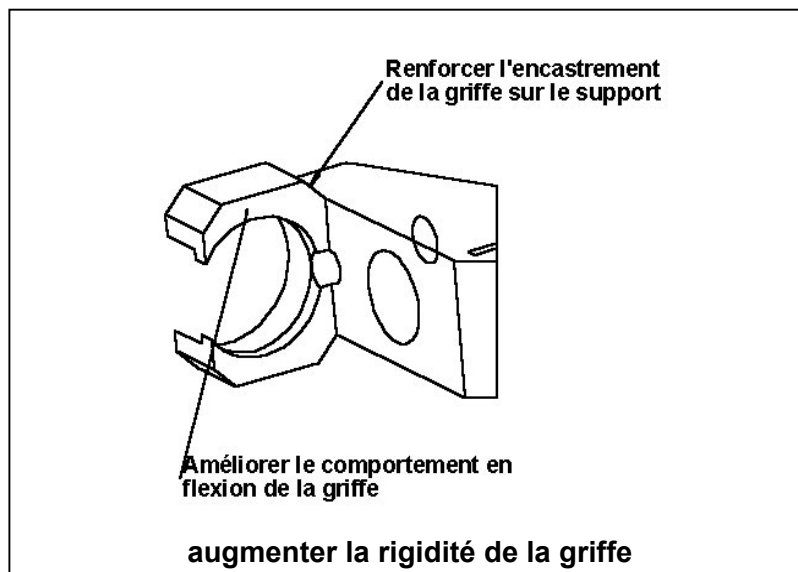
La vis doit être desserrée lors de l'opération de réglage de l'orientation du palpeur autour de z de manière à garantir les mobilités nécessaires (voir question suivante).

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 :

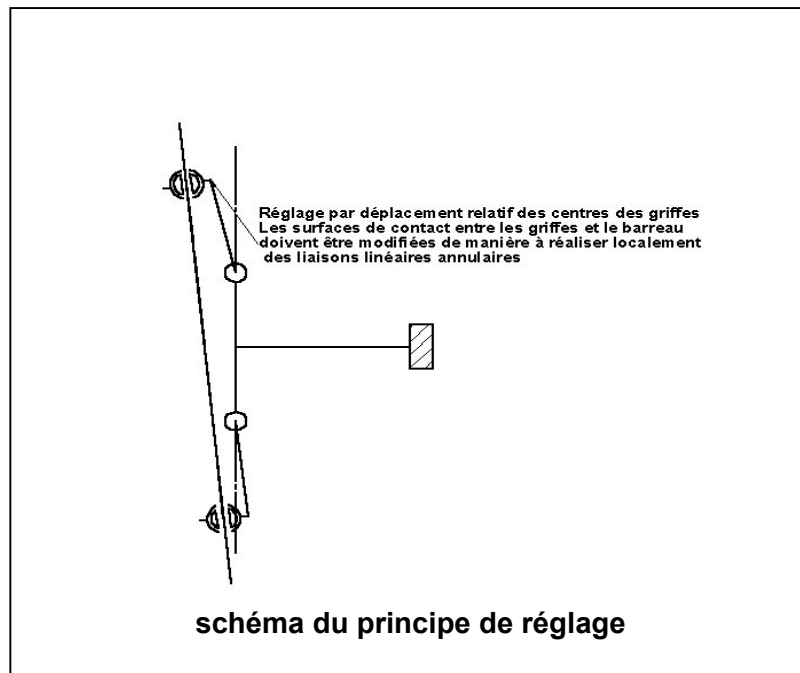
- Souplesse de la liaison due au positionnement sur un centrage relativement court et au maintien par pincement.
- Difficulté pour garantir l'orientation du support autour de **X**, due au jeu entre l'ergot et la rainure.
- Difficulté de fabrication pour garantir l'implantation radiale de l'ergot.

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 impose 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.

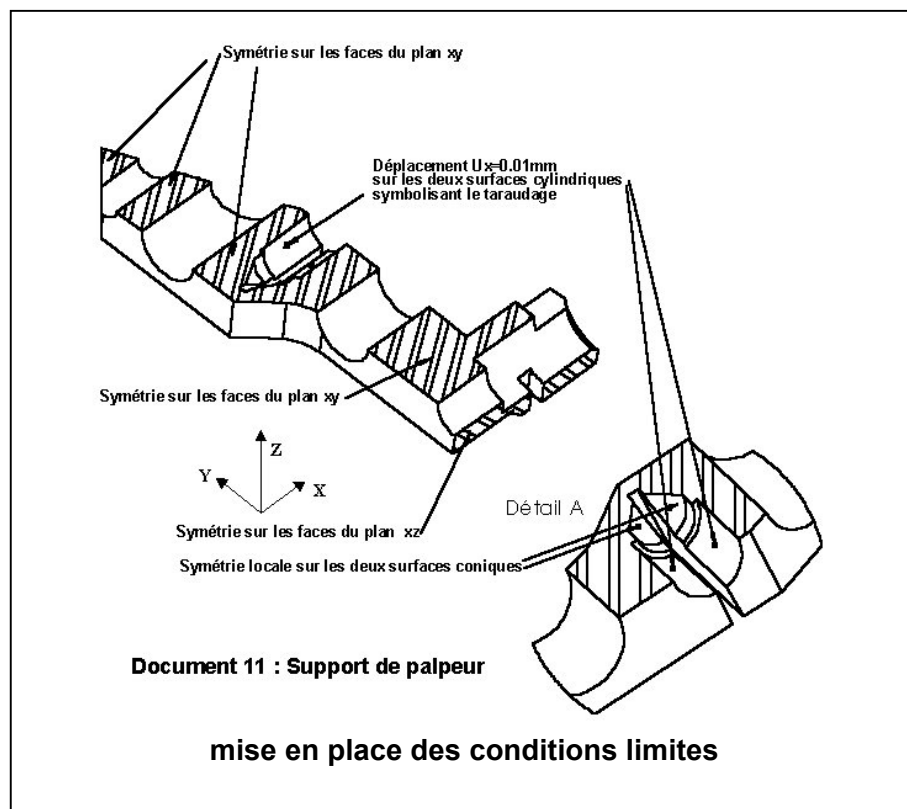
Dans le modèle choisi la vis fictive est supposée fixe.

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**.



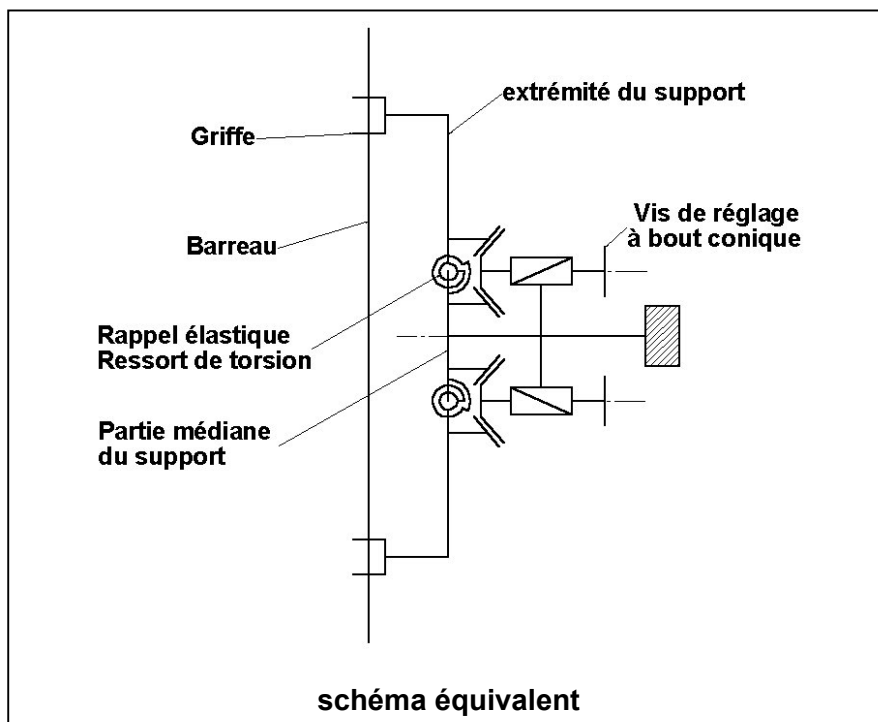
Q30 : A partir de l'analyse du champ de déplacement du document 12 :

- 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.