

Calculatrice et documents autorisés, téléphones portables interdits même éteints.  
Réponses **justifiées** sur ce document.  
Rédaction prise en compte dans la notation.  
Toutes les questions sont indépendantes.

/47

**Le produit :**

Le produit étudié (voir dessin de définition DT1) est un porte-filtre appartenant à un système de filtration de carburant destiné à l'aéronautique.

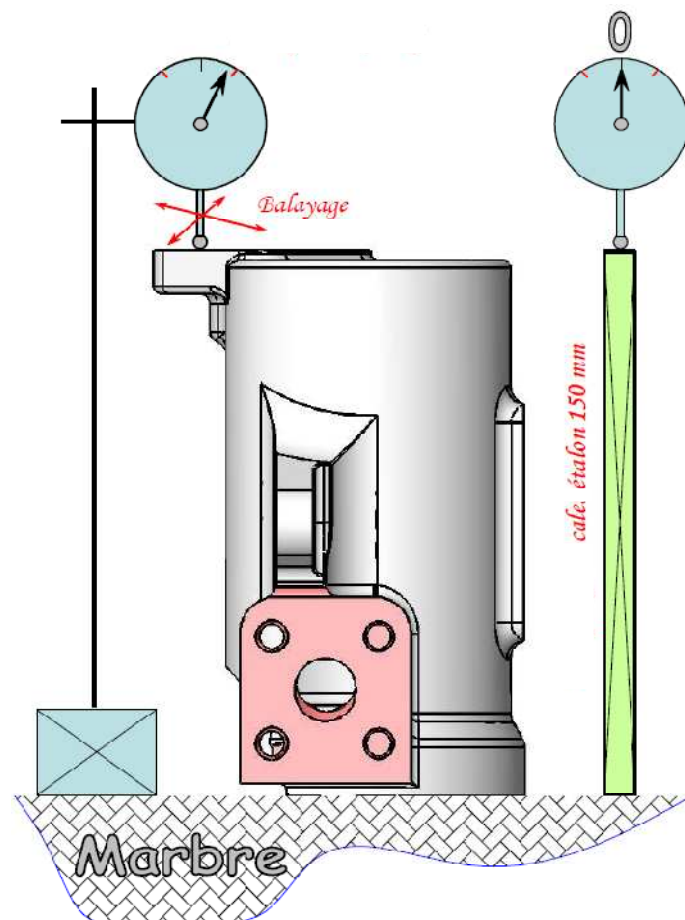


Les pièces brutes sont obtenues par moulage en cire perdue dans une fonderie spécialisée. Le matériau utilisé est un alliage d'aluminium.

**Travail demandé:**

1. Spécification de localisation  $150$   $\text{C}$  (en rouge sur le dessin de définition)

Procédure de mise en œuvre:



◇ La spécification de localisation est mesurée au marbre.  
La référence spécifiée  $\text{C}$  est simulée par le marbre.  
Le zéro du comparateur est pris sur une cale étalon de 150mm, puis la surface tolérancée est palpée en 8 points, les plus critiques.

On relève alors les écarts entre la hauteur des points palpés et la hauteur de la cale de 150mm.

Notations:

Longueur de la pièce à 20°C:  $L_{P,20^{\circ}C}$

Longueur de la pièce à  $\theta_P$ °C:  $L_{P,\theta P}$

Longueur de la cale étalon à 20°C:  $L_{E,20^{\circ}C}$

Longueur de la cale étalon à  $\theta_E$ °C:  $L_{E,\theta E}$

Ecart relevé pour une pièce à 20°C:  $e_{20^{\circ}C}$

Ecart relevé pour une pièce à  $\theta_P$ °C:  $e_{\theta P}$

Ecart de localisation:  $e_L$

Paramètres:

Caractéristique	Pièce	Etalon	Comparateur
Matériau	Aluminium	Acier	
Coefficient de dilation ( $^{\circ}C^{-1}$ )	$\alpha_P=(23,6\pm 1)\cdot 10^{-6}$	$\alpha_E=(11,5\pm 1)\cdot 10^{-6}$	
Justesse ( $k=2$ ) ( $\mu m$ )		$\pm(0,5+2\cdot 10^{-3}L)$ ( $L$ en mm)	$\pm 10$
Résolution ( $\mu m$ )			2
Température ( $^{\circ}C$ )	$\theta_P=(28\pm 3)$	$\theta_E=(20\pm 2)$	20

Relevé de mesures:

Mesure $e_{\theta P}$ (mm)	
1	0,102
2	0,100
3	0,100
4	0,102
5	0,100
6	0,098
7	0,102
8	0,100

**1.1. Condition de conformité de la spécification**

✍ Exprimer littéralement l'écart de localisation  $e_L$  en fonction des valeurs individuelles  $e_{20^{\circ}C}$ .

/2

✍ Ecrire la condition numérique de conformité de la spécification  $e_L$ :

$$e_L \leq$$

/2

**1.2. Modélisation mathématique du processus de mesure**

◇ La longueur de la pièce à  $\theta_P$  °C est:  $L_{P,\theta P} = L_{E,\theta E} + e_{\theta P}$

✍ Exprimer littéralement  $L_{P,20^{\circ}C}$  en fonction de  $L_{E,20^{\circ}C}$ ,  $e_{\theta P}$ ,  $\alpha_E$ ,  $\theta_E$ ,  $\alpha_P$  et  $\theta_P$ .

/1

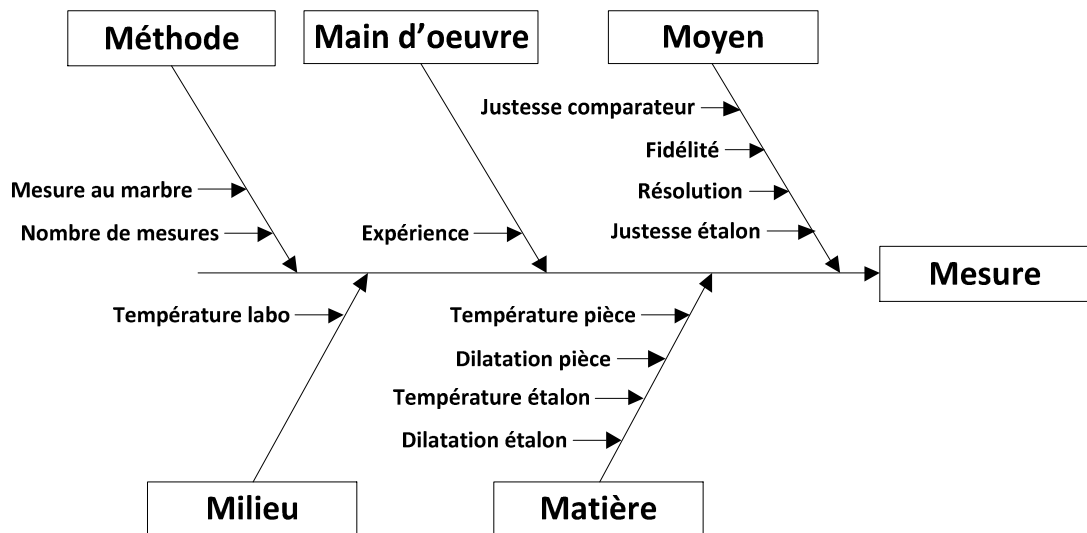
✎ En remarquant que  $L_{P,20^{\circ}C} = L_{E,20^{\circ}C} + e_{20^{\circ}C}$ , démontrer que le processus de mesure peut s'écrire:

$$e_{20^{\circ}C} = e_{\theta P} + L_{E,20^{\circ}C}(\alpha_E (\theta_E - 20^{\circ}C) - \alpha_P (\theta_P - 20^{\circ}C))$$

/2

### 1.3. Réalisation du budget d'incertitudes:

◇ Les causes d'erreurs retenues sont les suivantes:



Les incertitudes dues à la dilatation du comparateur sont négligées.

L'inexpérience de l'opérateur intervient une fois, elle est estimée =  $\pm 1 \mu\text{m}$  ( $k=3$ ).

### 1.4. Estimation des d'incertitudes:

✎ Compléter le tableau suivant, en rédigeant littéralement puis numériquement directement dans les cases.

Les calculs inutiles dans la dernière colonne (termes négligeables devant d'autres) n'ont pas besoin d'être réalisés.

/9

Incertitude	Loi de distribution	Type de Méthode	Amplitude $a_i$ ou incertitude élargie $U_i$	Coefficient de sensibilité $s_i$	Incertitude type $u_i$	Variance type pondérée $s_i^2 u_i^2$
Fidélité		A	4 $\mu\text{m}$	1		
Justesse comparateur	Normale $k=2$	B	10 $\mu\text{m}$	1		
Résolution comparateur		B	2 $\mu\text{m}$	1		
Justesse étalon	Normale $k=2$	B		$\alpha_p (\theta_p - 20^\circ\text{C}) = 8.23,6 \cdot 10^{-6} = 1,89 \cdot 10^{-4}$		
Inexpérience opérateur	Normale $k=3$	B	1 $\mu\text{m}$	1		
Ecart de température pièce	Normale $k=3$	B	3 $^\circ\text{C}$		1 $^\circ\text{C}$	
Ecart de température Etalon	Dérivée arcsin	B	2 $^\circ\text{C}$			
Coef. de dilatation Pièce	Normale $k=3$	B	$1 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$			
Coef. de dilatation Etalon	Normale $k=3$	B	$1 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$			

/1

L'incertitude composée est :  $u_c =$

/1

L'incertitude élargie ( $k=2$ ) est égale à :  $U =$

◇ Quel que soit le résultat de l'incertitude calculée, prendre pour la suite  $U = 14,2 \mu\text{m}$  ( $k=2$ )

### 1.5. Expression du résultat de mesure:

/4

Ecrire le résultat de la mesure, corrigé en température :  $e_L =$

/3

Calculer la capabilité du moyen de mesure  $C_{mm}$

/2

Déclarer ou non la conformité de la spécification

## 2. Spécification de localisation $\text{⌀} \phi 0.20 \text{ A } | \text{K-L } | \text{H}$ (en bleu sur le dessin de définition)

◇ La spécification est mesurée sur MMT selon la procédure suivante:

① palpées des références et dégauchissage de la pièce (création d'un repère lié à la pièce):

✓  $\vec{x} \perp \langle A \rangle$

✓  $\vec{y} \perp \langle K - L \rangle$  inclus dans le plan  $\langle A \rangle$

✓  $\vec{z} \perp (\vec{x}, \vec{y})$  inclus dans le plan  $\langle A \rangle$  et passant par l'axe du cylindre  $\langle H \rangle$

② palpage des 4 trous tolérancés afin d'obtenir les axes de ces 4 cylindres

③ palpage du plan de fond de perçage Pf

④ construction des points d'intersection des axes des 4 cylindres avec le plan Pf et avec le plan  $\langle A \rangle$  (seuls ces 4 derniers points seront traités).

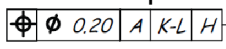
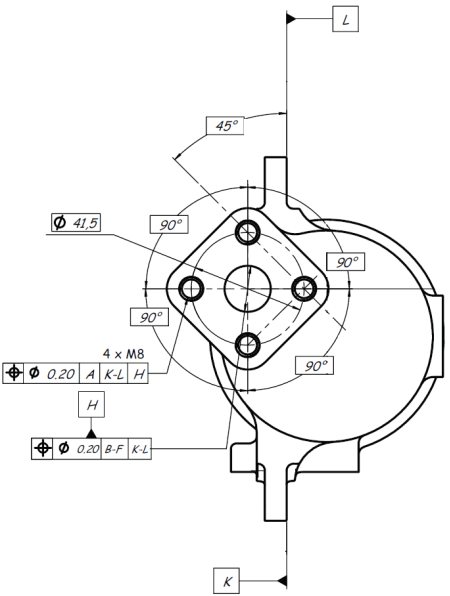
Cette étape permet d'obtenir les coordonnées de ces 4 points dans le repère  $(H, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ :

Point n°	Coordonnées mesurées	
	y	z
a1	20,732	0,075
a2	-0,047	20,768
a3	-20,744	-0,087
a4	0,089	-20,843

### 2.1. Analyse de la spécification

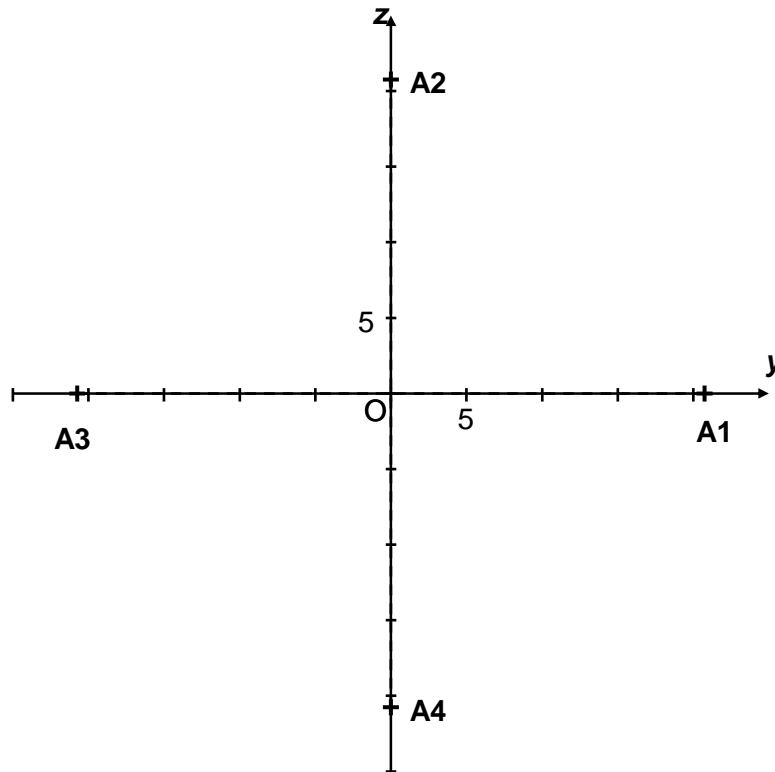
/4

Analyser la spécification de localisation en complétant la fiche de la page suivante.

TOLERANCEMENT NORMALISE ISO	Fiche de décodage d'une spécification géométrique par zone de tolérance				
Symbole de la spécification   Nom de la spécification :  Type de spécification : Forme                      Orientation Position                    Battement  Schéma : (extrait du dessin de définition)  	<b>Éléments non Idéaux</b>		<b>Éléments Idéaux</b>		
	Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
				Nature géométrique et dimension(s) intrinsèques	Contraintes d'orientation et/ou de position par rapport à la référence spécifiée
unique - groupe	unique- multiple	simple commune système			
			Condition de conformité :		

**2.2. Etude de la conformité de la spécification**

✍ Représenter (sans respecter les échelles) sur le schéma suivant les 4 zones de tolérances, la position grossière des points palpés a1 à a4, et les écarts de localisation.



/4

✍ Exprimer littéralement l'écart de localisation  $e_L$  entre le point théorique A de coordonnées (Y,Z) et le point palpé a de coordonnées (y,z).

/2


✍ Compléter le tableau suivant

Point n°	Coordonnées théorique points A <sub>i</sub>		Coordonnées mesurées points a <sub>i</sub>		Ecart de localisation
	Y	Z	y	z	
1	20,75	0	20,732	0,075	
2	0	20,75	-0,047	20,768	
3	-20,75	0	-20,744	-0,087	
4	0	-20,75	0,089	-20,843	

/2

✍ Conclure sur la conformité de la spécification de localisation

/2

**3. Spécification d'état de surface**  (en vert sur le dessin de définition)

✎ Indiquer la valeur de la longueur de base  $\lambda_C$  retenue pour réaliser la première mesure :

/3

✎ Indiquer la longueur d'évaluation  $l_n$  retenue pour réaliser la première mesure :

/3

**4. Pour aller plus loin... calcul de la dureté** (question hors barème)

◇ Afin de résister aux efforts de frottement, on demande une dureté Vickers minimum de 25N/mm<sup>2</sup>.

L'essai de dureté consiste à appliquer un effort "connu" par l'intermédiaire d'un pénétrateur pyramidal sur la pièce.

On mesure sur l'empreinte laissée par le pénétrateur les diagonales  $d_1$  et  $d_2$ .

La dureté est donnée par la relation

$$\text{Dureté Vickers} = 0,1891 \frac{F}{d^2}$$

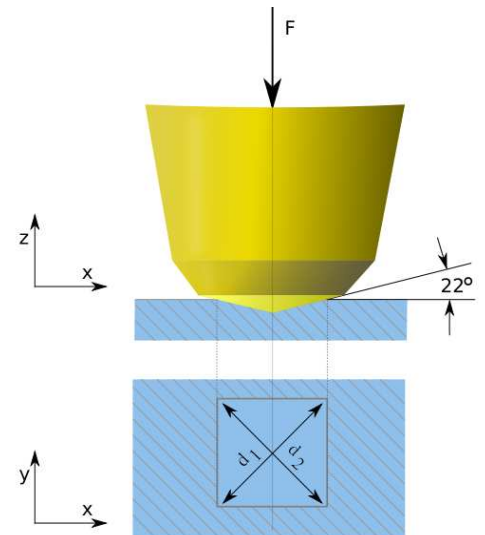
où  $d$  désigne la moyenne de  $d_1$  et  $d_2$ .

◇ Les conditions et résultats d'essais sont:

$F=200\text{N}$  avec  $u_F=7\text{N}$

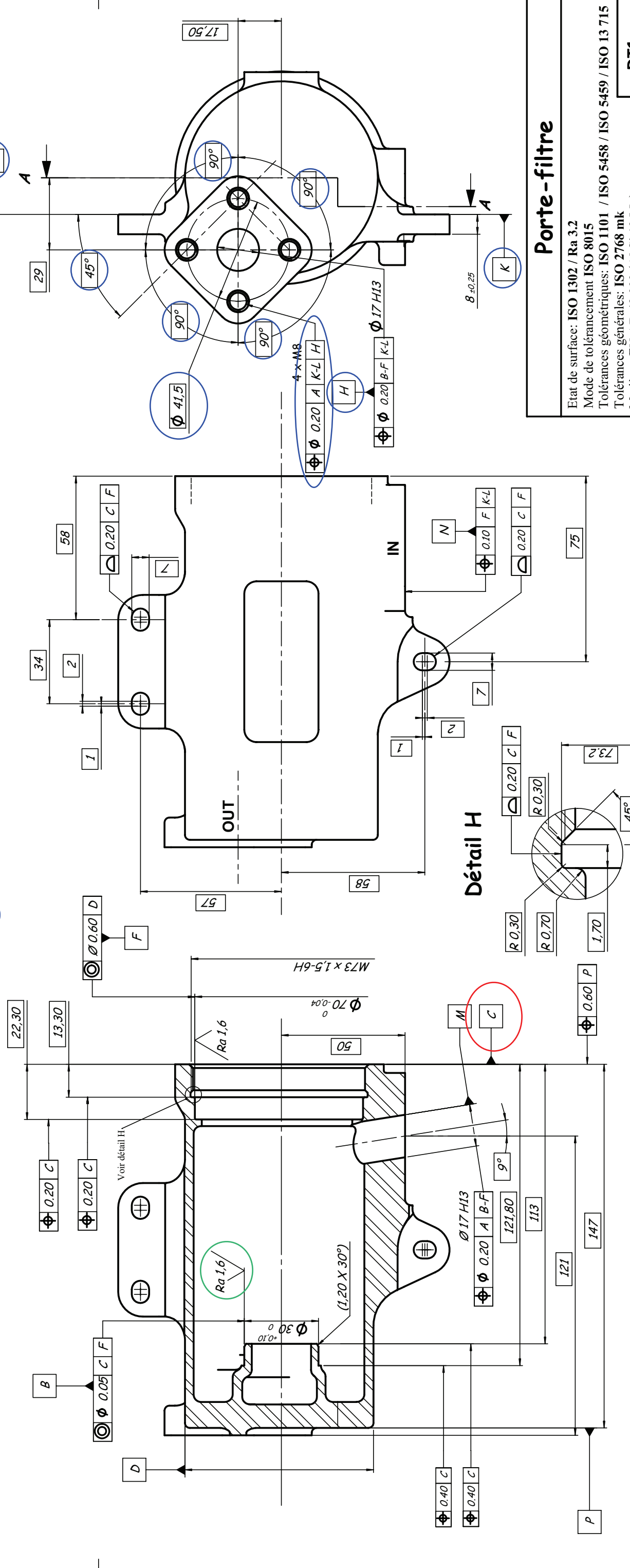
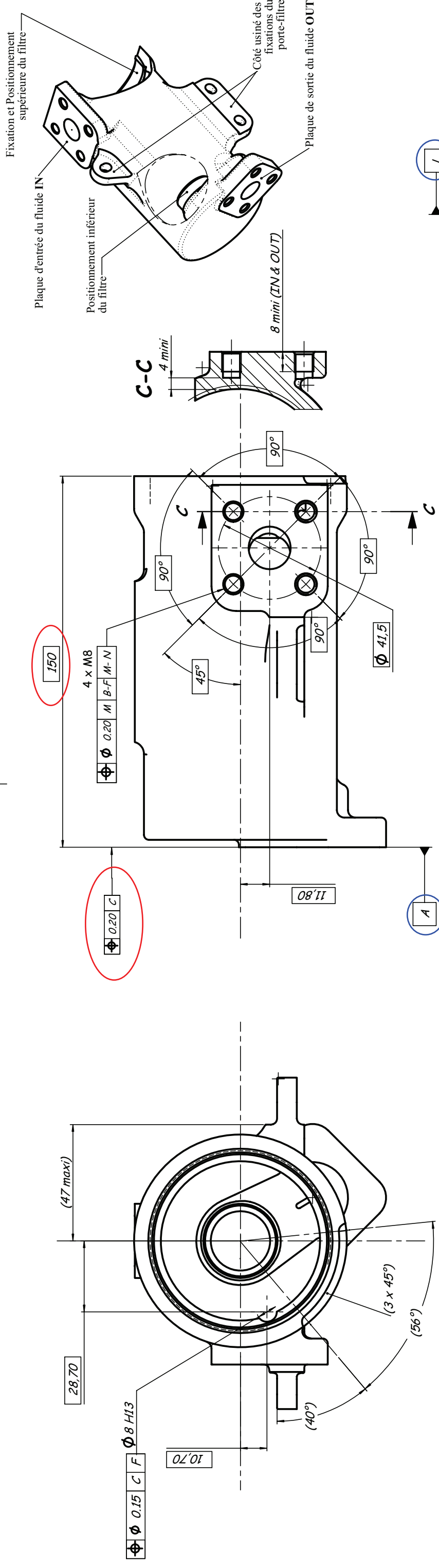
$d=1,127\text{mm}$  avec  $u_d=0,032\text{mm}$

✎ Calculer la dureté de la pièce en indiquant l'incertitude élargie ( $k=2$ ) sur le résultat.



/6





**Porte-filtre**

Etat de surface: ISO 1302 / Ra 3.2  
 Mode de tolérancement ISO 8015  
 Tolérances géométriques: ISO 1101 / ISO 5458 / ISO 5459 / ISO 13 715  
 Tolérances générales: ISO 2768 mk  
 Matière : EN AB-43 000 (Al Si 10 Mg)

DT1

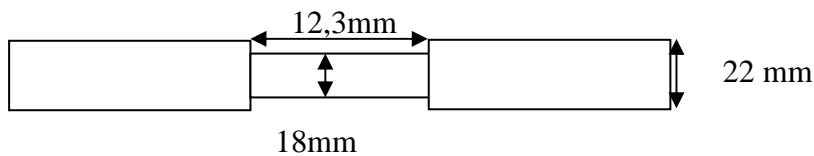
## CND Exercice 1 : Analyse de l'accident de F1 ayant entraîné la mort de A. SENNA.

D'après des extraits des comptes rendus d'audiences du procès.

« Senna demanda à plusieurs reprises la modification de la colonne de direction car elle le gênait. La colonne de direction originale datait du 3 février 1994 et mesurait 905 mm. Comme Senna demanda des modifications, la longueur de la colonne passa à 917,3 mm et deux nouveaux éléments ont été introduits. L'assemblage comprenait 9 composants chacun construit simultanément par des différents départements de Williams. Cependant les soudures furent faites avec un métal de qualité inférieure et le diamètre différent (18mm au lieu de 22mm), c'est à cet endroit précis que la colonne a cédé.

Tommaso Carletti, ancien ingénieur en chef de chez Ferrari, déclara : « Les causes de la rupture de la colonne sont double : La qualité grossière du travail de modification de la colonne et un diamètre trop petit du raccord entre les trois dernières sections de la colonne. »

1- En considérant la géométrie suivante au niveau du raccord (Fig 1), quelle(s) technique(s) de CND auriez vous pu préconiser pour contrôler l'assemblage ? (justifier votre réponse)

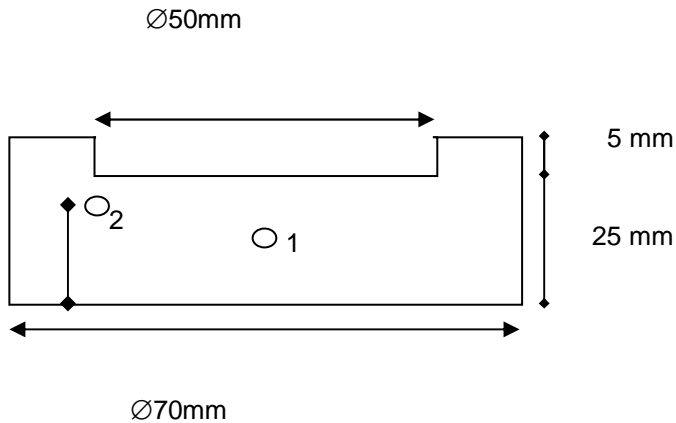


Gary Woodward, l'un de ces ingénieurs, déclara que la colonne fut inspectée avant la course. « Après chaque Grand prix les voitures sont soumises à des tests d'usure. Un liquide est utilisé pour trouver les éventuelles fractures des suspensions ou de la colonne de direction. La colonne est remplacée régulièrement durant la saison. Les tests passés après le Grand Prix du Pacifique n'ont détecté aucun défaut sur la voiture de Senna ».

2- A quelle(s) technique(s) de CND peut-il faire référence ? Vous semble-t-elle(s) adaptée(s) (argumentez)? Que pouvez vous alors dire des défauts présents?

CND Exercice 2 :

Une entreprise fabrique des pièces en acier par Métallurgie des poudres (Frittage de poudre). Les pièces réalisées sont des disques avec découpe sur une face. (Fig. 2). Lors du frittage, une mauvaise compaction ou hétérogénéité de température peut provoquer des porosités ou fissures que l'on souhaite contrôler.



A: Contrôle par Ultra son

1- Compte tenu de la géométrie de la pièce et des défauts attendus et du matériel disponible, quel capteur utiliseriez-vous pour effectuer ce contrôle? Où positionneriez-vous le capteur pour optimiser votre contrôle? Justifier votre choix.

	Diamètre pastille	Fréquence	angle
Capteur 1	10 mm	5 MHz	
Capteur 2	5 mm	5 MHz	
Capteur 3	10 mm	10 MHz	
Capteur 4	10 mm	5 MHz	$60^\circ$

On prendra pour l'acier  $C_L = 5920\text{ m/s}$  et  $C_T = 3200\text{m/s}$

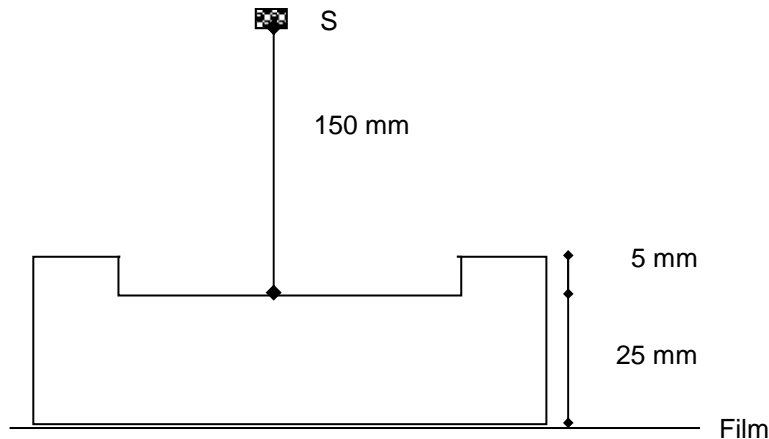
2- Si un défaut se situe exactement au milieu de la pièce (1), tracer les échos correspondants à l'écran. Pourra-t-on le localiser avec précision?

3- Si un défaut est en position (2) à  $20\text{mm}$  du bas de la pièce, schématiser son apparition au maximum d'intensité sur l'écran de contrôle?

## B- Contrôle par rayonnements ionisants

1- La demande du client stipule la présence d'un cliché RX/Ionisant dans le dossier. Commentez cette exigence par rapport au contrôle déjà effectué par US.

Le contrôle est alors effectué dans les conditions précisées Fig 3. Le film choisi est un film de type Kodak A. La source est une source Iridium de diamètre 3 mm et d'activité de 40Ci au jour du contrôle.



Pour être valide, le cliché doit être réalisé en assurant une densité de [1,5-2,5] au niveau du défaut visualisé.

Pour les 4 zones suivantes, indiquez celle qui amènera le cliché le + clair et celle qui donnera le - sombre.

	+ clair	+ sombre
Partie épaisse sans défaut		
Partie épaisse avec porosité		
Partie mince sans défaut		
Partie mince avec porosité		

2 Sachant que les porosités le plus souvent rencontrées provoquent une variation de contraste de  $\Delta d = 0.5$ , quelle valeur de densité choisiriez-vous de fixer pour vos réglages et pourquoi?

3 On choisit alors de fixer  $d=2$  dans la partie la plus mince. Quel temps de pose doit-on alors imposer?

3- Quel sera alors la densité dans la partie la plus épaisse? Vérifier que l'ensemble du film sera correctement exposé quelque soit la position de la porosité