

Contrôle des spécifications  
dimensionnelles et géométriques  
sur  
Machines à Mesurer Tridimensionnelles



# Inspection d'une spécification portée sur un dessin

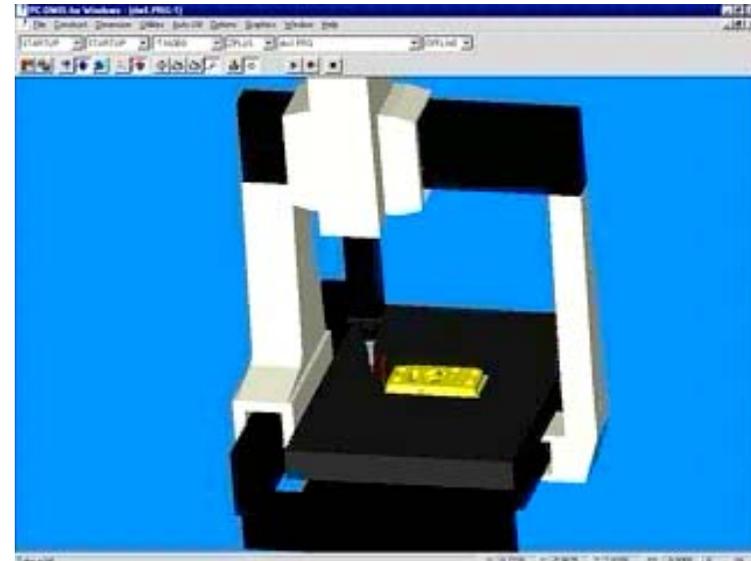
## ■ Les étapes :



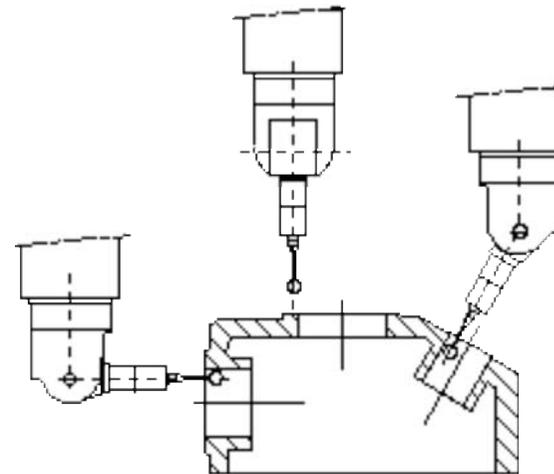
- Définir selon la norme (ISO) la spécification à contrôler.
- Mesurer les surfaces par des points.
- Représenter les éléments tolérancés et de références.
- Construire les références spécifiées.
- Vérifier les spécifications par constructions géométriques et calculs de distances et d'angles.
- Estimer les incertitudes sur les caractéristiques

# Les limites de la mesure sur MMC

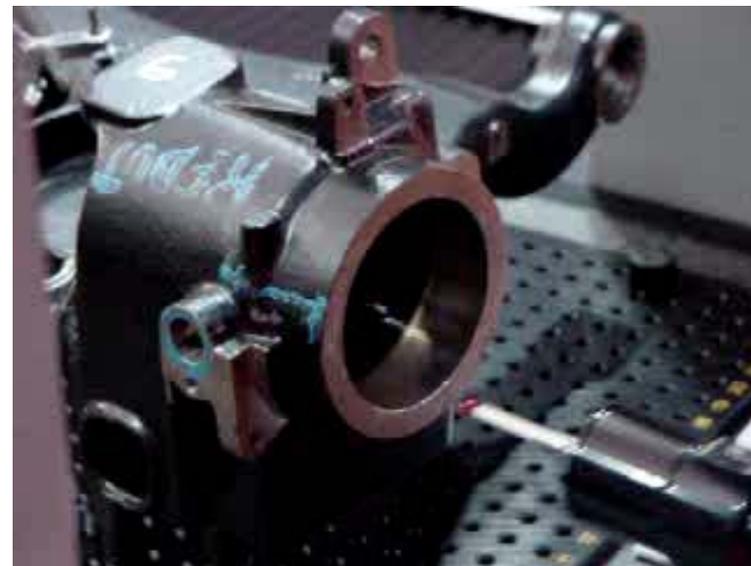
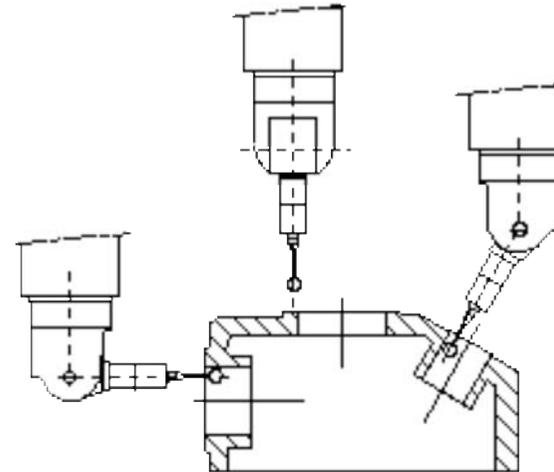
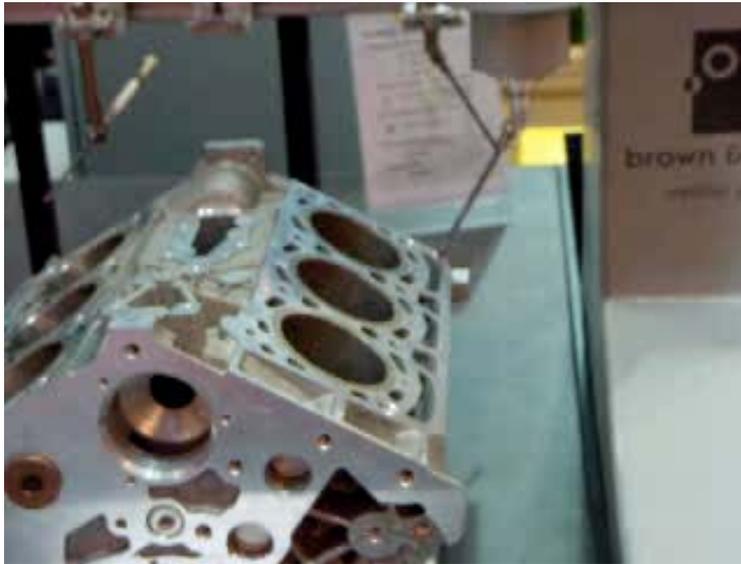
- Limites physiques vis à vis de l'accessibilité des surfaces et de l'incertitude des mesures
- Limites dues aux calculs disponibles dans les logiciels de mesure 3D



# Limites physiques : accessibilité des surfaces



# Limites physiques : accessibilité des surfaces



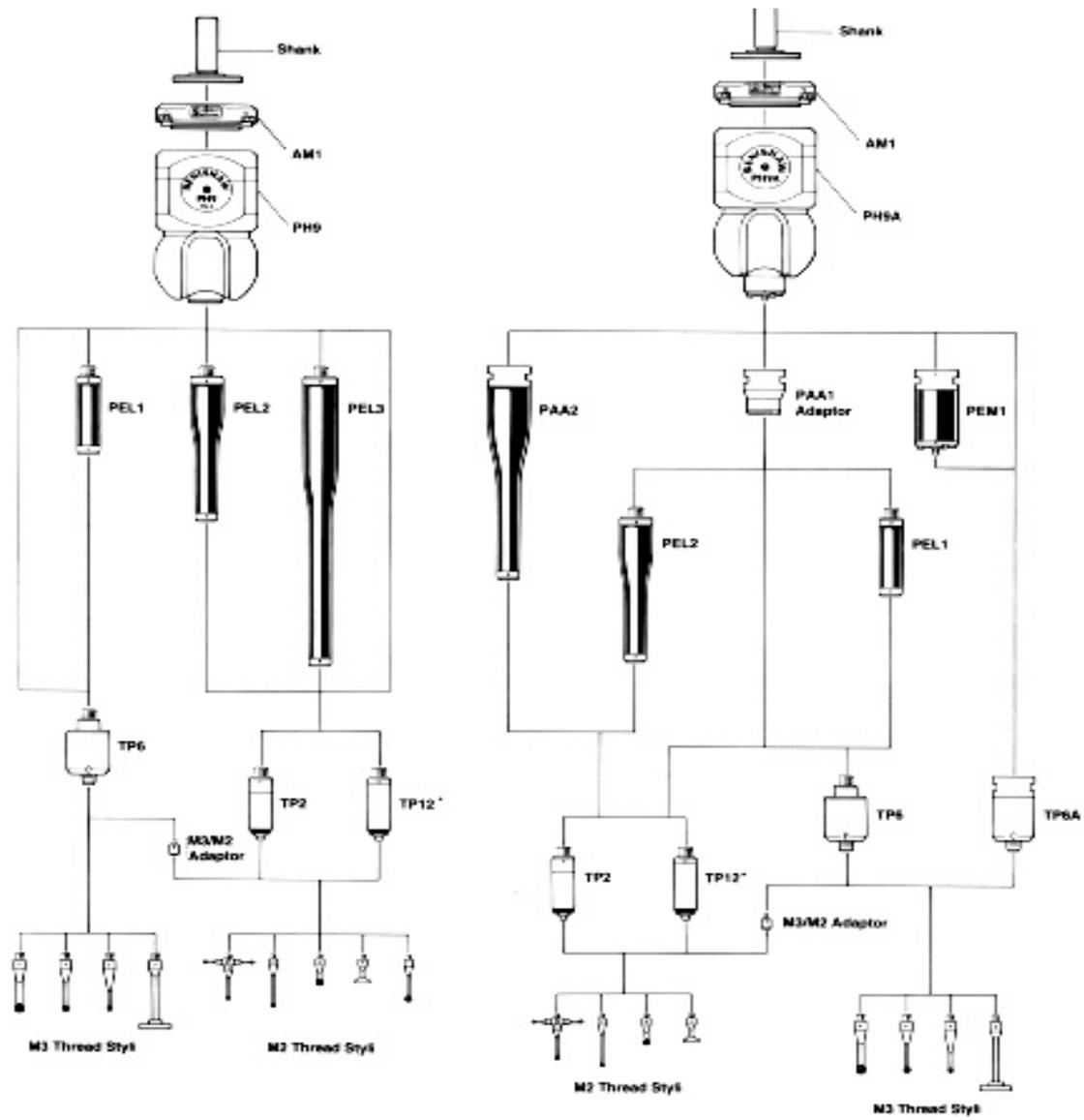
# Choisir les outils de mesure

Tête

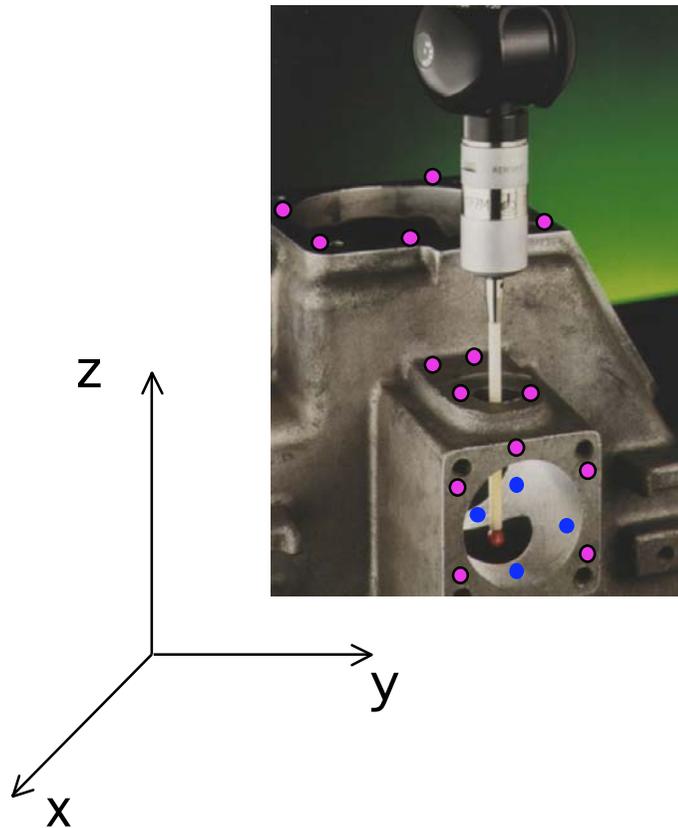
Extensions

Capteurs

Stylets

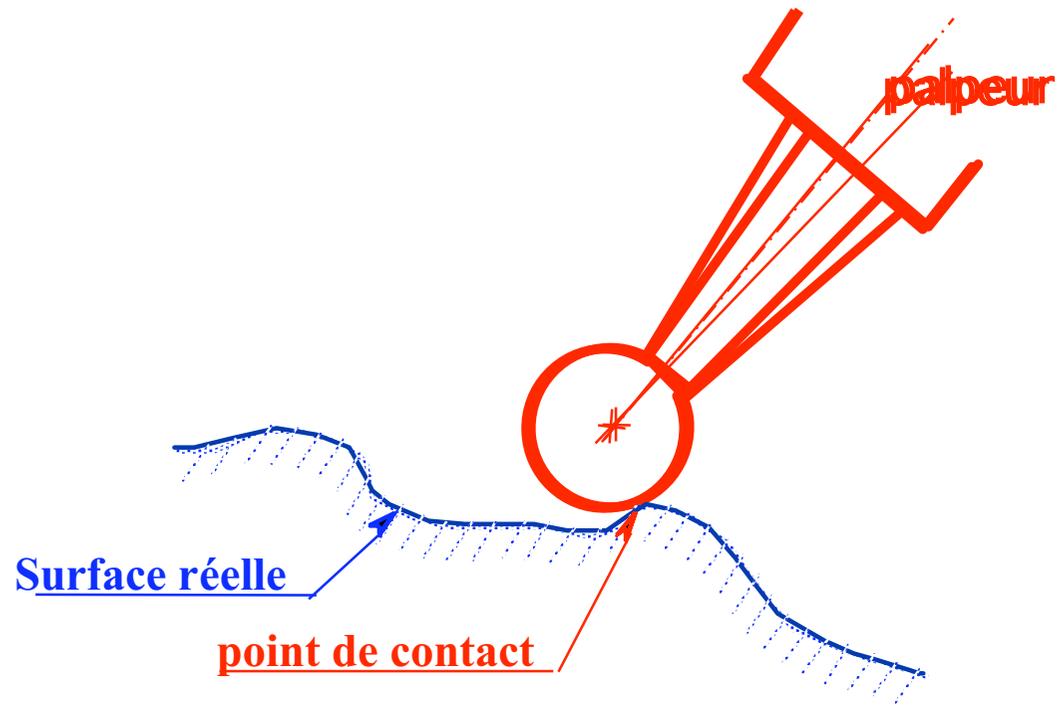


# Acquérir des coordonnées de points



- Dans un repère exprimer les coordonnées des points appartenant aux différentes surfaces de la pièce.

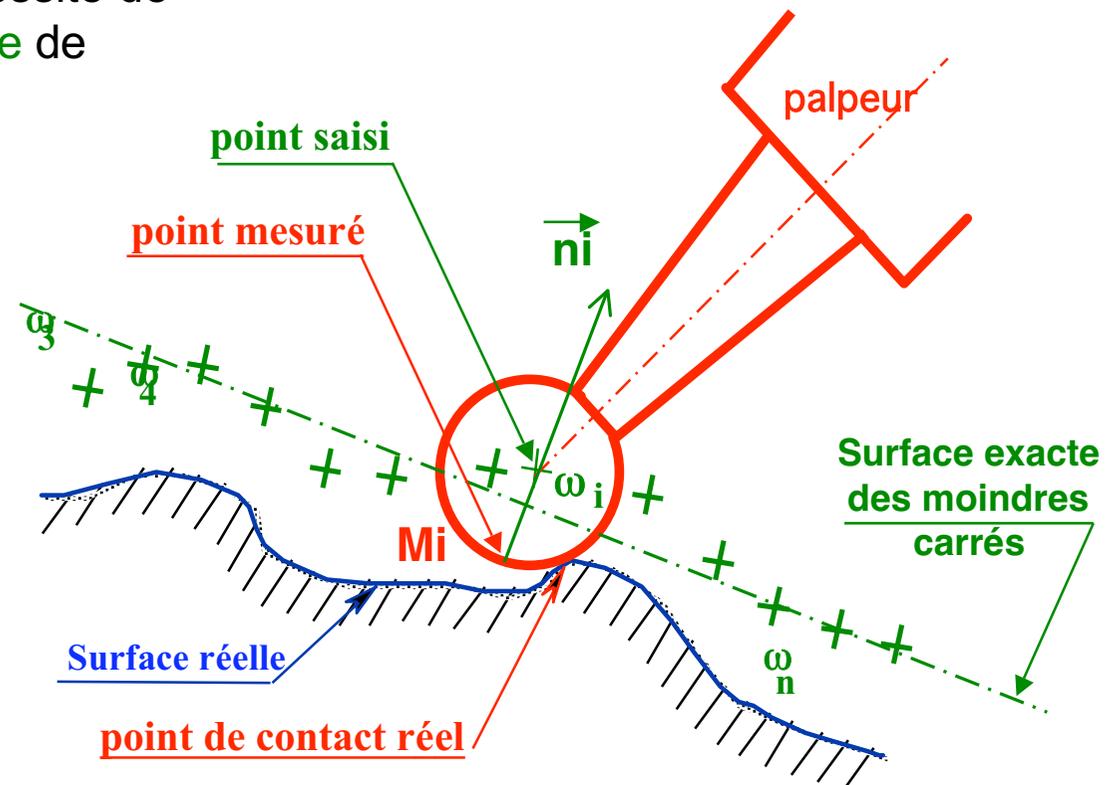
# Coordonnées du point de contact (palpeur dynamique)





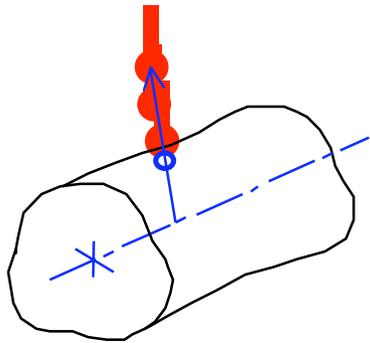
# Point saisi, point mesuré : (estimation de la normale)

- Le calcul des points mesurés nécessite de connaître la **direction de la normale** de compensation du rayon du stylet
- La normale est définie par une surface des moindres carrés de type connu par le « logiciel »:
  - plan
  - cylindre
  - cône
  - ou sphère
  - ou imposée par l'opérateur

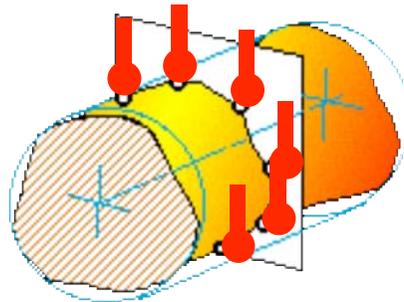


# Mesure d'un point ou d'une ligne sur une surface : maîtrise de la trajectoire du palpeur

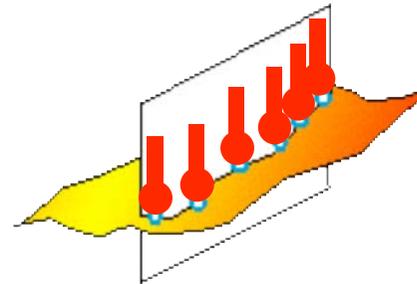
- Les points et les lignes, sont définies par l'intersection d'un élément théorique exact (droite ou plan) avec la surface portant les points mesurés.



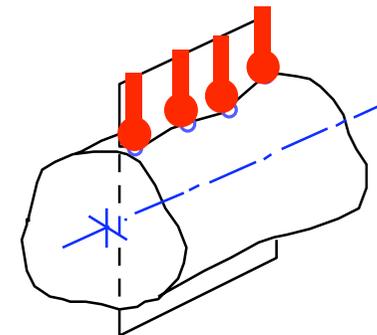
**point**



**Ligne circulaire**



**Lignes rectilignes**



- Conséquence le déplacement du palpeur doit être contrôlé par la CN de la MMC pour que chaque point de contact avec la surface appartienne au plan de coupe ou à la droite d'intersection.
- La mesure des lignes et des points se trouvent ainsi limitées par les possibilités de « balançage » de la pièce dans le repère de la MMC.

# Mesure d'un point ou d'une droite

Point ou droite appartiennent à une surface identifiée par son type

<b>Point mesuré</b>	<i>Proposée dans les logiciels</i>
<b>Sur un plan</b> (ou sur un plan tangent à une surface de forme quelconque)	<b>oui</b>
<b>Suivant une normale imposée</b>	<b>oui</b>
<b>Sur une sphère</b>	non
<b>Sur un cylindre</b>	non
<b>Sur un cône</b>	non

<b>Ligne mesurée</b>	<i>Proposée dans les logiciels</i>
<b>Rectiligne sur un plan</b> (ou sur un plan tangent à une surface quelconque)	<b>oui</b>
<b>Rectiligne sur un cylindre</b>	non
<b>Rectiligne sur un cône</b>	non
<b>Circulaire mesurée sur un cylindre et projetée dans un plan</b>	<b>oui</b>
<b>Circulaire sur une sphère</b>	non
<b>Circulaire sur un cylindre</b>	<b>oui</b>
<b>Circulaire sur un cône</b>	non

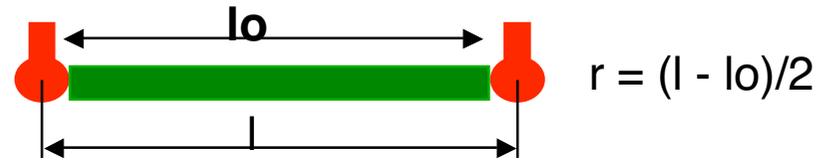
# Qualification d'un palpeur



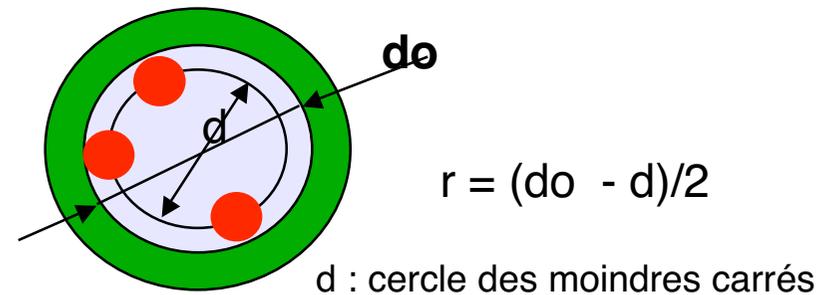
- Pour chaque « outil palpeur » et pour chacune de ses orientations il est nécessaire de qualifier :
  - la valeur du rayon de compensation du palpeur :
    - par mesure d'un étalon (cale, bague, sphère)
  - la position du centre  $\omega_i$  de la sphère du stylet du palpeur dans un repère unique de mesure de la MMC :
    - par mesure d'une sphère de référence fixée sur le marbre de la MMC

# Détermination du rayon de compensation

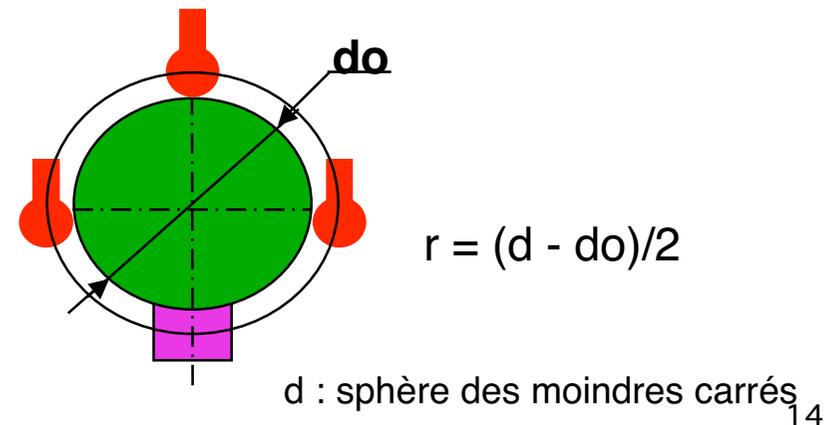
- En mesures unidimensionnelles :  
par mesure d'une cale étalon de longueur  $l_0$



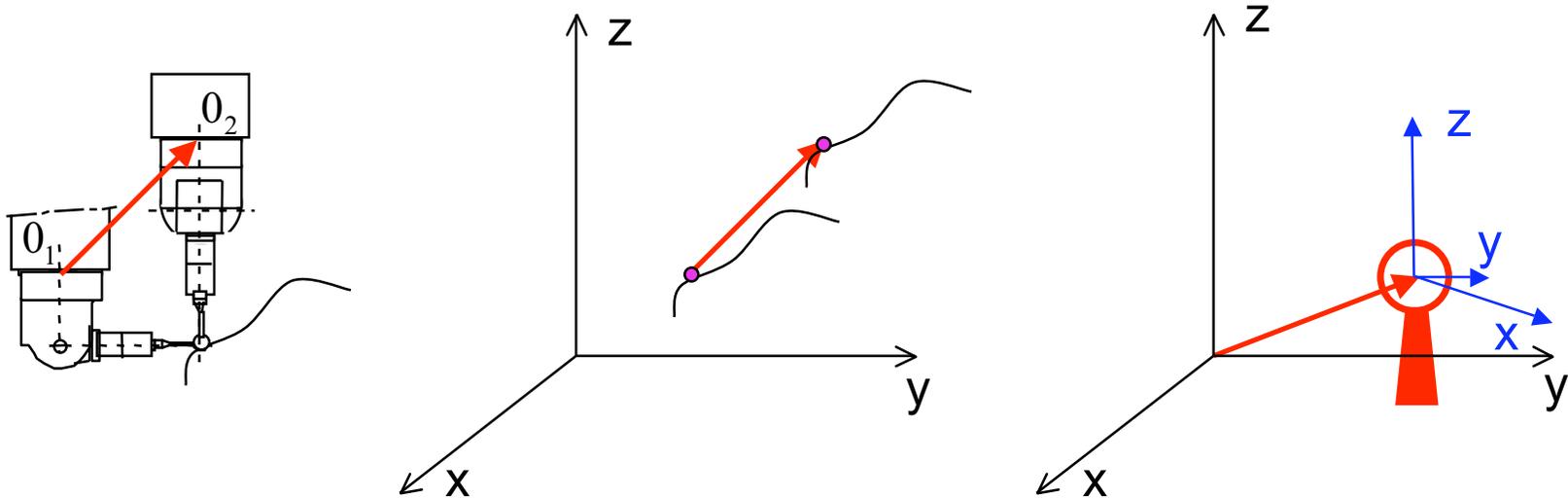
- En mesures planes (bidimensionnelles) :  
par mesure d'une bague étalon de diamètre  $d_0$



- En mesures tridimensionnelles :  
par mesure d'une sphère étalon de diamètre  $d_0$



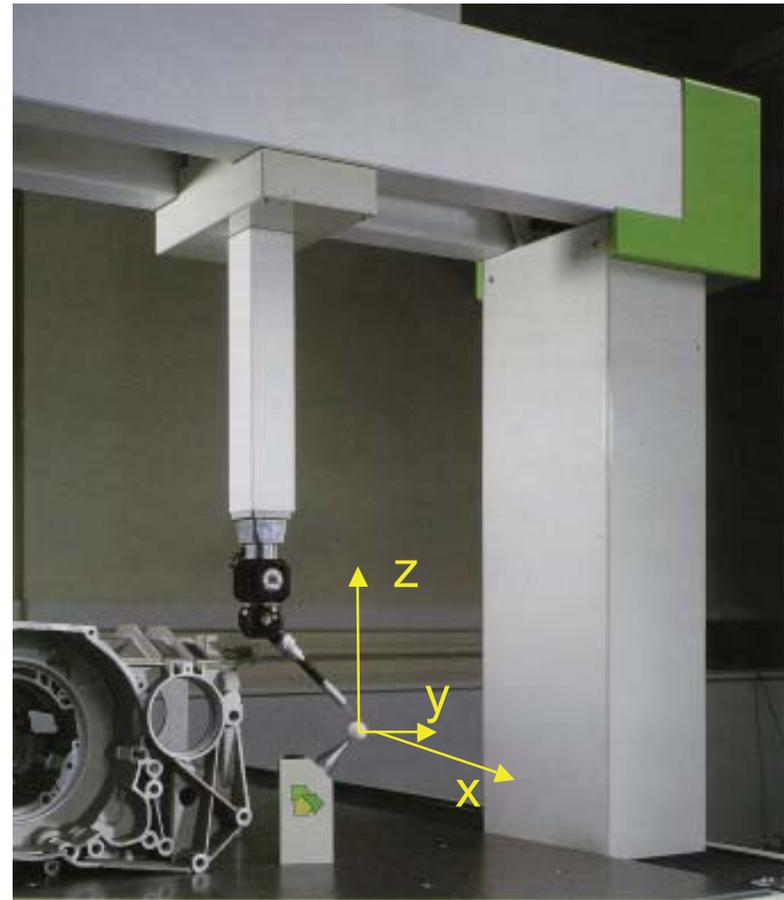
# Qualification du centre $\omega_i$ du stylet dans un repère unique de mesure



- Les coordonnées d'un même nuage de points mesuré suivant deux orientations du palpeur, seront décalées dans le repère de la MMT du vecteur  $O_1O_2$

# Qualification du centre $\omega_i$ du stylet dans un repère unique de mesure

- Le recalage des centre  $\omega_i$  se fait par la mesure dans le repère de la MMC, des 3 coordonnées du centre d'une sphère de référence fixée sur le marbre de la MMC.
- L'origine du repère unique de mesure est défini par le centre de la sphère de référence.
- L'incertitude sur la mesure de la position du centre de la sphère de référence pourra se répercuter sur les caractéristiques mesurées



# Base de données géométriques d'un logiciel de MMC

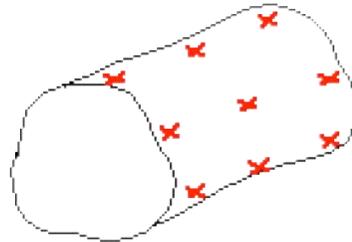
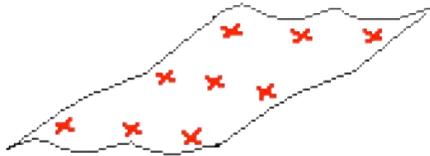
# Les trois éléments géométriques de base

- L'information géométrique contenue dans la base de données d'une MMC s'appuie sur trois éléments géométriques de base : le **point**, la **droite** et le **plan**.
- Ils sont définis par les **coordonnées d'un point** et dans le cas d'une droite ou d'un plan par les **composantes d'un vecteur unitaire**.

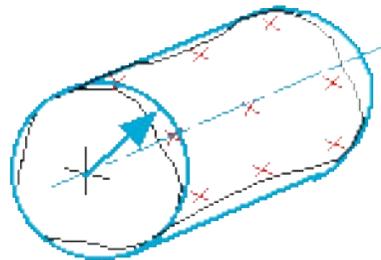
Eléments géométriques de base	position	orientation
point	3 coordonnées	
droite	3 coordonnées d'un point courant	3 composantes d'un vecteur unitaire parallèle à la droite
Plan	3 coordonnées d'un point courant	3 composantes d'un vecteur unitaire normal au plan

# Représentation d'un élément géométrique réel

- Par l'ensemble des **points mesurés** sur l'élément.

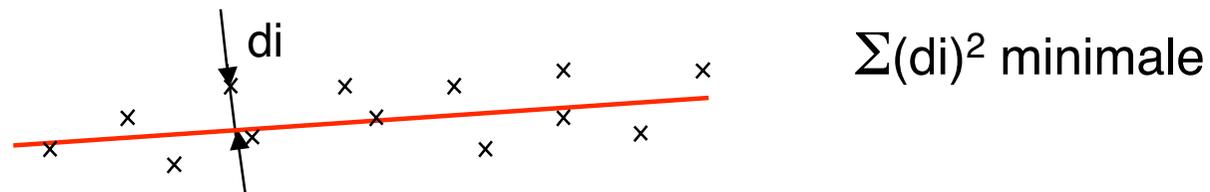


- Par un élément géométrique théorique associé au nuage de points suivant le critère des moindres carrés et à la demande (option) tangent du côté libre de la matière



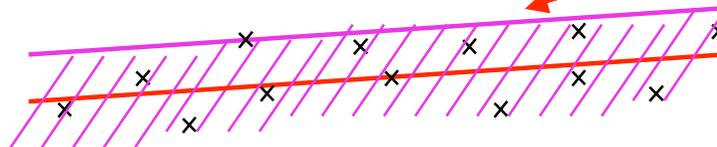
## Critère des moindres carrés (ou critère de Gauss) proposé dans les logiciels de MMC

- L'élément associé est tel que la somme des carrés des distances des points mesurés à l'élément est minimale.



L'élément associé passe au mieux des points. Il est dans le nuage de points

- L'élément retenu pourra être un élément tangent extérieur matière et parallèle à l'élément des moindres carrés



# Représentation des éléments géométriques théoriques associés à des nuages de points

Type d'élément géométrique associé	Eléments géom. de base	Paramètres intrinsèques	Eléments extraits
<b>Point saisi</b>	point		
<b>Point</b> contenu dans un plan	point		point mesurés
<b>Droite des moindres carrés</b> contenu dans un plan	droite		Ensemble des points mesurés sur la ligne réputée rectiligne
<b>Droite des moindres carrés</b> en 3D	droite		Ensemble des points mesurés sur la ligne réputée rectiligne
<b>Cercle des moindres carrés</b> contenu dans un plan.	Plan + point (centre du cercle)	rayon	Ensemble des points mesurés sur la ligne réputée circulaire
<b>Plan des moindres carrés</b>	plan		Ensemble des points mesurés sur la surface réputée plane
<b>Sphère des moindres carrés</b>	Point (centre du cercle)	rayon	Ensemble des points mesurés sur la surface réputée sphérique
<b>Cylindre des moindres carrés</b>	Droite (axe du cylindre)	rayon	Ensemble des points mesurés sur la surface réputée cylindrique
<b>Cône des moindres carrés</b>	droite + point	angle au sommet	Ensemble des points mesurés sur la surface réputée conique

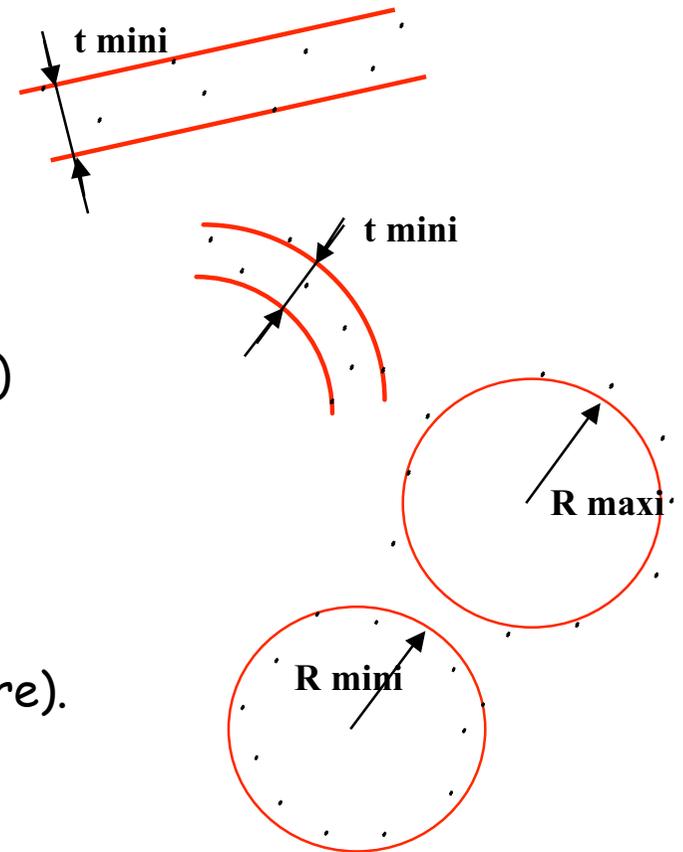
# Remarques sur les critères d'association

- Les normes de spécification ISO utilisent deux critères :
  - *Le mini-max (ou critère de Tchebychev) utilisé*
    - *Dans les cas de la forme d'un l'élément*
      - défaut de forme : distance minimale entre deux enveloppes contenant l'ensemble des points
    - *Dans les cas de références spécifiées*
      - Une référence spécifiée est tangente du coté libre de la matière avec un critère d'optimisation :
        - un écart maxi minimal pour les plans et les cônes
        - le plus grand élément inscrit ou le plus petit élément circonscrit pour les cercles, sphères et cylindres.
        - Et des contraintes d'orientations ou (et) d e position
  - *Le critère des moindres carrés qui permet d'établir les éléments dérivés des éléments tolérancés : (axe réel d'un cylindre ou d'un cône, plan médian extrait, centre d'un cercle ou d'une sphère etc.)*
- Les surfaces réelles et leurs éléments dérivés sont définie par un ensemble très grand de points.

# Critère du minimax préconisé par l'ISO

Le critère du minimax, ou critère de Tchebychev, permet de minimiser la plus grande valeur, ou de maximiser la plus petite valeur prise par une fonction reliant les paramètres de définition d'un élément géométrique.

- minimiser la distance entre *deux plans ou deux droites parallèles* contenant l'ensemble des points mesurés,
- minimiser la distance entre *deux éléments concentriques* contenant l'ensemble des points (cas du cercle, de la sphère, du cylindre et du cône)
- maximiser le diamètre de l'*élément géométrique inscrit* (cas du cercle, de la sphère et du cylindre),
- minimiser le diamètre de l'*élément géométrique circonscrit* (cas du cercle, de la sphère et du cylindre).



## Critère des moindres carrés ou Critère du mini max (logiciels de MMC et normes ISO)

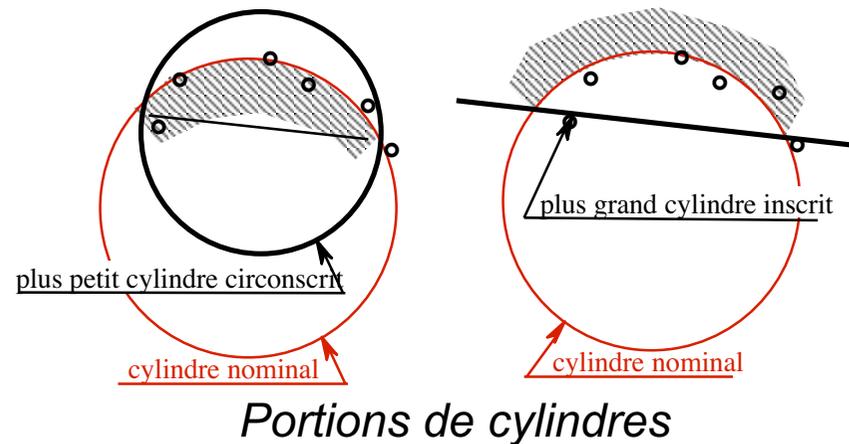
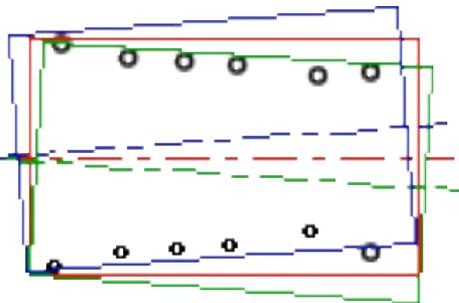
Quelles conclusions faut-il faire ?

- que le critère des moindres carrés permet de définir les éléments dérivés tolérancés (normes ISO)
- que le critère des moindres carrés est bien adapté pour les surfaces de substitution (éléments tolérancés ?)
- que le critère du mini max répond au critère d'association des références spécifiées de l'ISO ?

# Conclusion sur les critères d'association

- L'objectif recherché sur une MMC est de situer mathématiquement chaque élément géométrique dans le repère de mesure.
- Si le critère du minimax de la norme est mieux adapté lorsque le nombre de points mesurés est important, la solution n'est pas unique et peut donner des solutions aberrantes.

*Cylindre réel de forme conique*



- Le critère des moindres carrés retenu dans les logiciels de mesure sur MMC donne dans ce cas de bons résultats
  - avec le faible nombre de points de mesure pris en compte.
  - par la robustesse de la solution mathématique
  - par le lissage des points de mesure aberrants

# Construction d'éléments géométriques

La base de données peut-être enrichie de nouveaux éléments géométriques de type :

point      droite      plan

construits à partir de deux éléments pris parmi les points droites et plans déjà contenus dans la base de données.

## Construction de points

- **Point-point** milieu de deux points
- **Point-droite** projection orthogonale du point/droite
- **Point-plan** projection orthogonale du point/plan
- **Droite-droite** intersection de deux droites (milieu de la perpendiculaire commune)
- **Droite-plan** intersection de la droite et du plan
- **Point** par ses coordonnées cartésiennes dans un repère

## Construction de droites

- **Point-point** droite passant par 2 points
- **Point-droite** droite passant par un point et perp. à une droite  
droite passant par un point et //à une droite
- **Point-plan** droite passant par un point et perp. à un plan
- **Droite-droite** médiane de deux droites coplanaires
- **Droite-plan** projection orthogonale d'une droite sur un plan
- **Plan-plan** intersection de deux plans

## Construction de plans

- **Point-droite** plan passant par un point et une droite  
plan passant par un point et perp. à une droite
- **Point-plan** plan passant par un point et parallèle à un plan
- **Droite-droite** plan passant par une droite et //à une droite
- **Droite-plan** plan passant par une droite et perp. à un plan
- **Plan-plan** plan médian de deux plans théoriquement //

# Construction d'axes orientés et de repères de dégauchissage

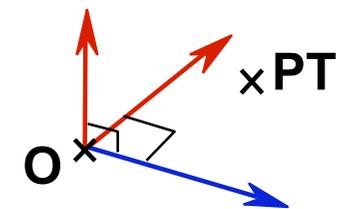
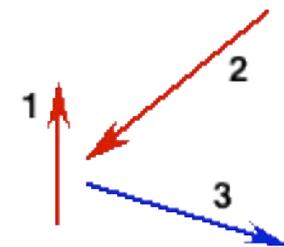
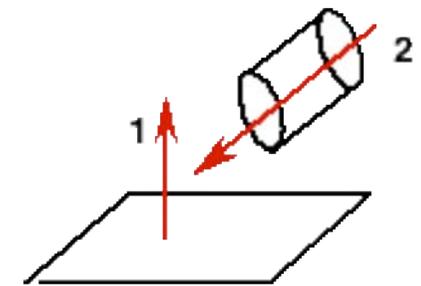
- Les axes orientés et les repères de dégauchissage ou repère pièce, sont obtenus par des opérations de constructions géométriques entre les éléments géométriques de la base de données.
- Ils ne correspondent pas aux systèmes de références spécifiées définis par la normalisation [ISO 5459].
- Ils servent essentiellement à exprimer les résultats en projection sur un axe orienté ou sur les axes et les plans d'un repère.
- Ils servent également à exprimer, dans un repère, les trajectoires des déplacements du palpeur par CN
- Ils donnent la possibilité de construire des points par une ou plusieurs coordonnées
- On peut définir autant d'axes orientés et de repères que l'on veut.

## Axe orienté

- Un axe orienté est défini par :
  - **Une direction** définie par un vecteur unitaire de la base de données, celui d'une droite ou celui de la normale à un plan.
  - **Une origine** définie par un point de la base de données
  - **Une orientation** définie par un point choisi du côté du demi espace positif, ou par le sens extérieur matière dans le cas du plan.

## Repères de dégauchissage

- Un repère est défini par :
  - **Deux directions** définies chacune par un vecteur unitaire de la base de données, celui d'une droite ou celui d'un plan.  
*Ces deux premières directions sont indépendantes et ne sont pas nécessairement orthogonales*
  - **Une troisième direction** calculée automatiquement par le logiciel perpendiculaire aux deux premières directions.
  - **Une origine** définie par un point
  - **Une orientation** définie par un point choisi dans le secteur positif du repère.



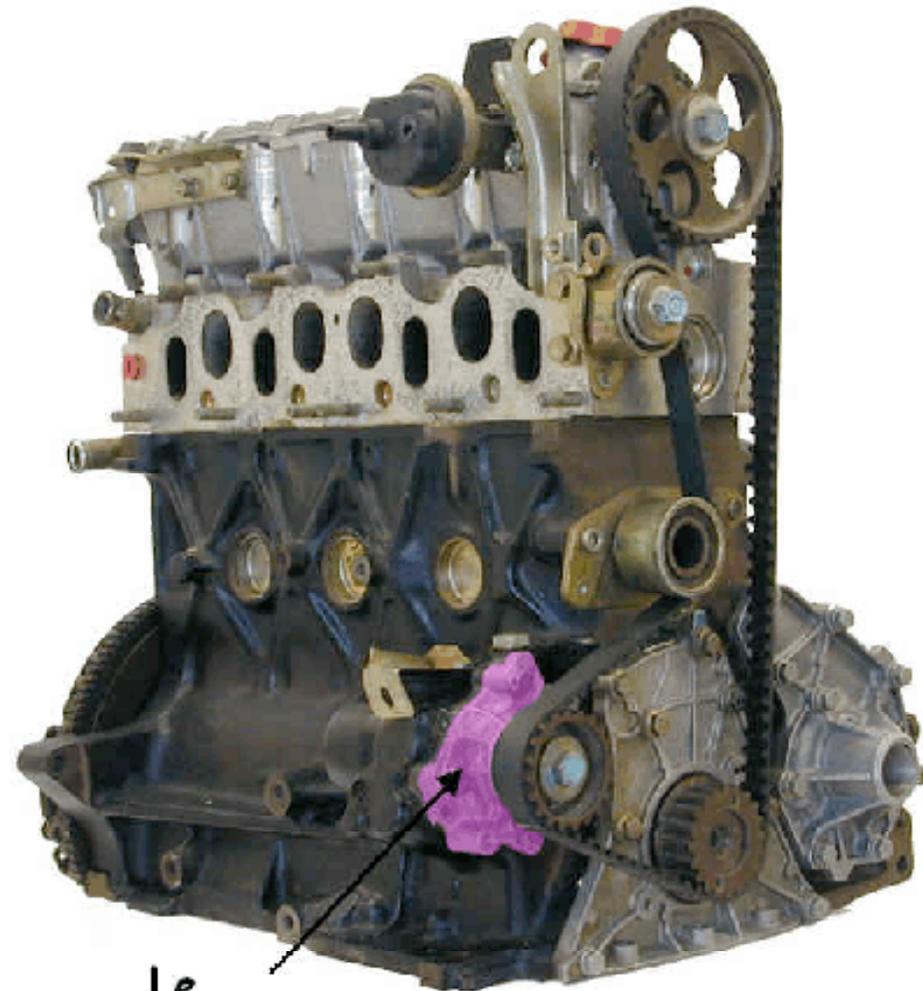
# Calculs de distances et d'angles

- Le calcul est effectué entre deux éléments géométriques point, droite et plan de la base de données.
  
- Quatre cas de calcul de distance
  - Sur les 6 les cas théoriquement possibles de calcul de distances : **point-point, point-droite, point-plan, droite-droite, droite-plan et plan-plan**. Seuls les 4 premiers cas sont retenus, les 2 derniers cas donnent toujours une distance nulle ou une interprétation particulière.
  
- Trois cas de calcul d'angle
  - **droite-droite, droite-plan et plan-plan**

# Conclusions sur les possibilités des logiciels de MMC

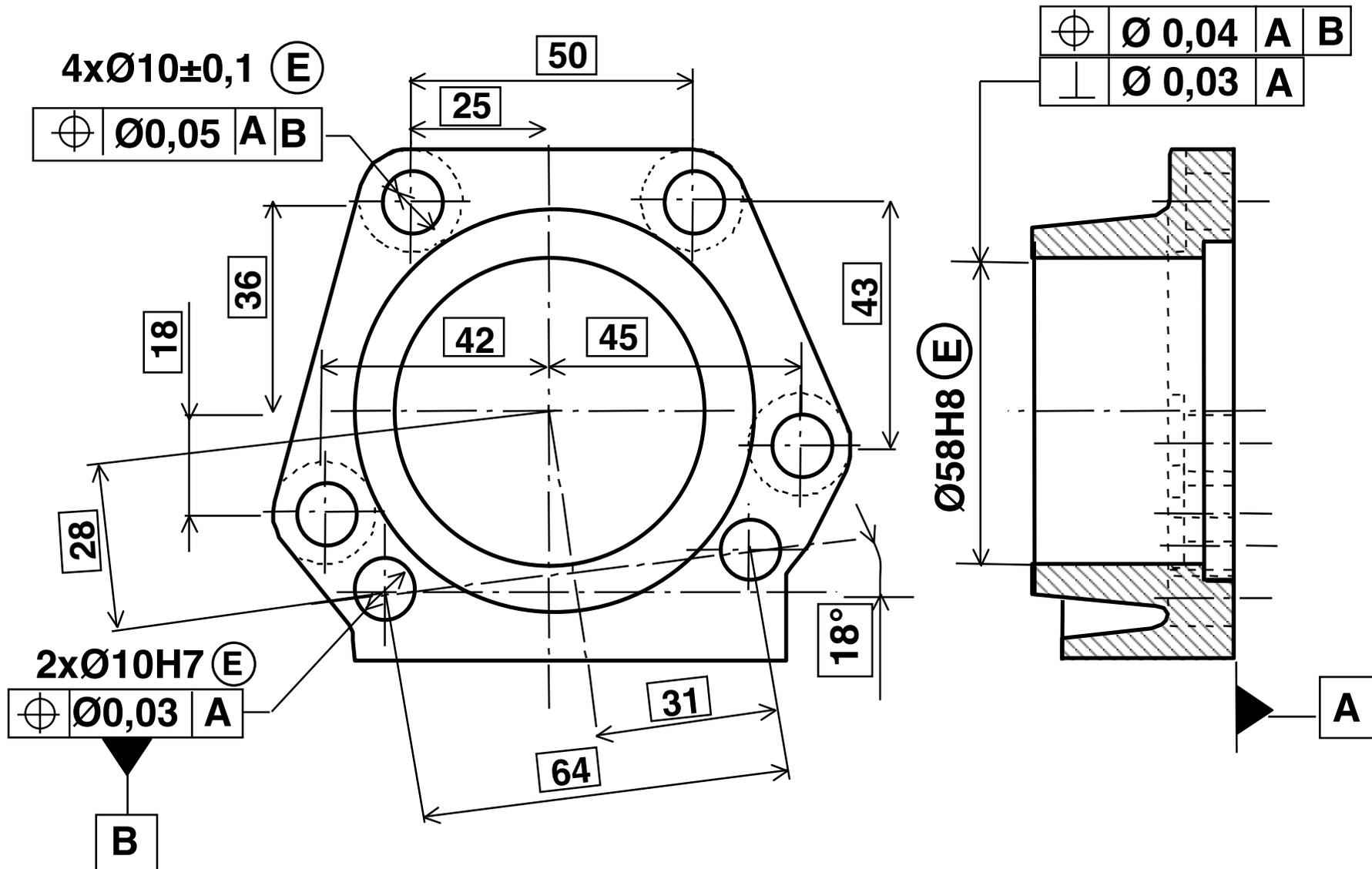
- Une MMC est essentiellement une machine à **mesurer des dimensions** (linéaires et angulaires) entre
  - des éléments géométriques de type **point, droite et plan**.
- Les éléments géométriques de type **point, droite et plan** sont obtenus
  - par des opérations d'association de points, droites, cercles, sphères, cylindres, cones et de surfaces complexes à des nuages de points
  - et des opérations de construction entre les éléments géométriques (point, droite plan) de la base de données.
- Les mesures pourront-être exprimées en projection dans des repères
- C'est avec la seule possibilité de calculer des distances et des angles entre des points des droites et des plans, que le contrôleur devra vérifier des spécifications dimensionnelles et géométriques ISO portées sur un dessin de définition.

# Couvercle de l'arbre intermédiaire

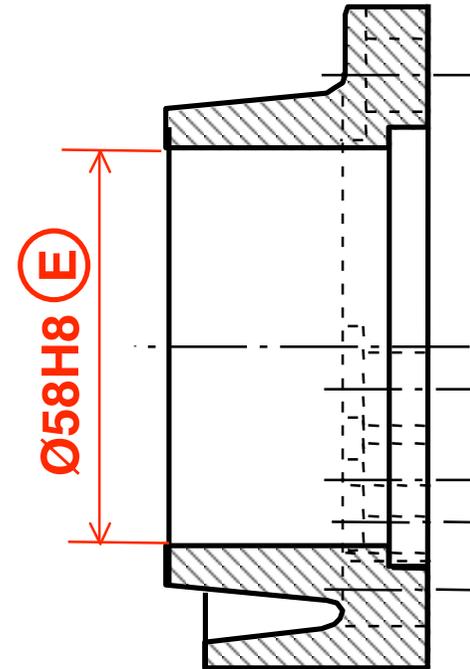
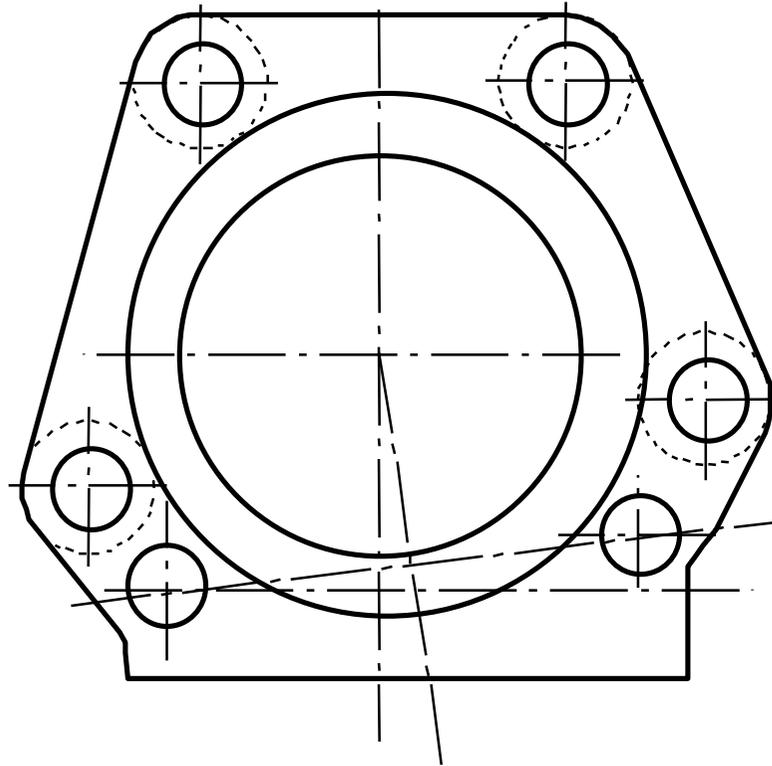


Le  
C.A.I

# Dessin de définition



# Contrôle de $\varnothing 58H8 \text{ (E)}$



# Contrôle d'une spécification dimensionnelle (Ø58H8 avec $\textcircled{E}$ )

## ■ Définition ISO de la spécification

- Toutes les dimensions locales réelles doivent être  $58,000 \leq d_i \leq 58,033$
- Exigence de l'enveloppe : la surface réelle doit être extérieure à un cylindre de forme parfaite de diamètre au maximum de matière ( $\text{Ø}58,000$ )

## ■ Mesure de la surface réputée cylindrique et modèle géométrique associé

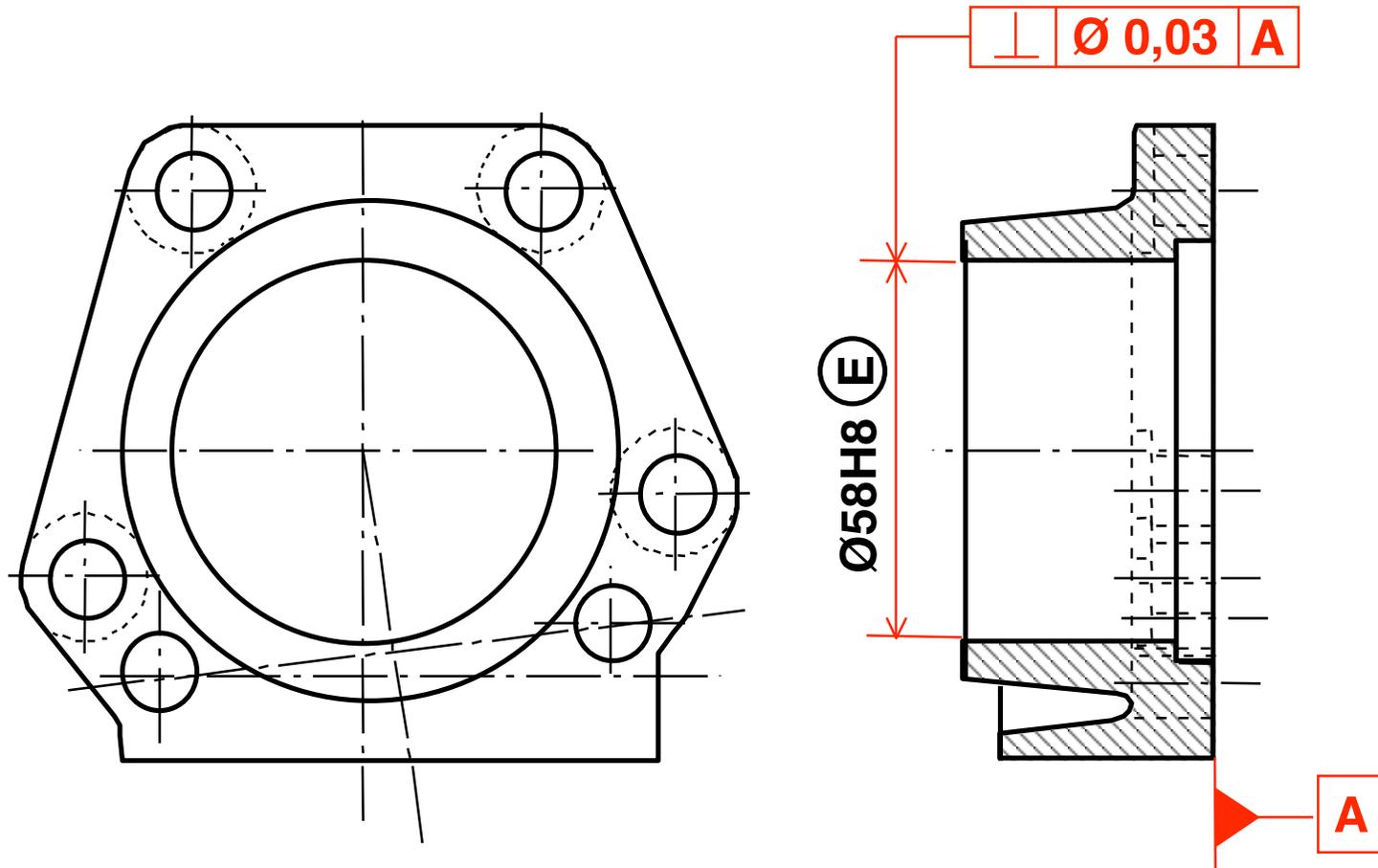
- mesure en 12 points répartis sur la surface
  - *modèle associé* : cylindre des moindres carrés tangent extérieur matière
  - *résultat* : diamètre  $D$  du cylindre associé et défaut de forme  $df$  sur les 12 pts

## ■ Interprétation du résultat

- Dimensions locales réelles : vérifier si  $D \geq 58,000$  et  $(D + 2df) \leq 58,033$
- Exigence de l'enveloppe : vérifier si  $D \geq 58,000$

## ■ Incertitude sur la mesure de la caractéristique

# Dessin de définition (perpendicularité)



# Contrôle d'une spécification géométrique :

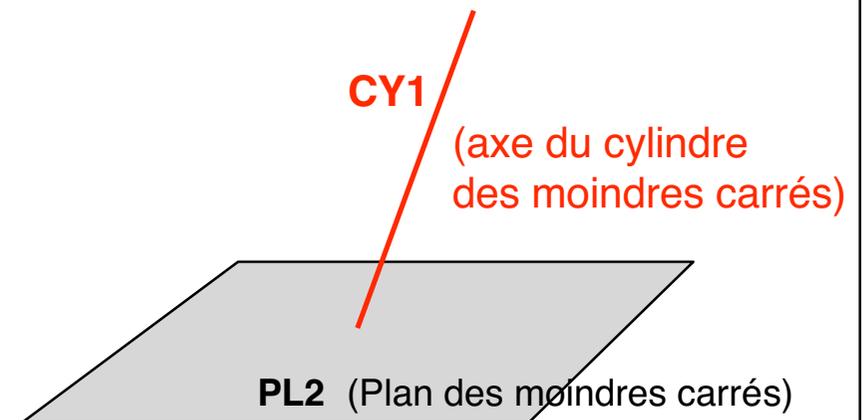
$\perp$   $\text{Ø } 0,03$  **A** perpendicularité de l'alésage Ø58

## ■ Définition ISO de la spécification

- Élément tolérancé : axe réel de l'alésage Ø58
- Éléments de référence : surface réputée plane A
- Référence spécifiée :
  - plan A tangent extérieur matière et minimisant l'écart de forme
- zone de tolérance :
  - cylindre Ø 0,03 d'axe perpendiculaire au plan de référence spécifié A

## ■ Mesure des surfaces et modèles géométriques de la base de données

- mesure en 12 points répartis sur l'alésage
  - *modèle associé* : cylindre des moindres carrés tangent extérieur matière CY1
- mesure en 14 points répartis sur la surface réputée plane
  - *modèle associé* : plan des moindres carrés tangent extérieur matière PL2

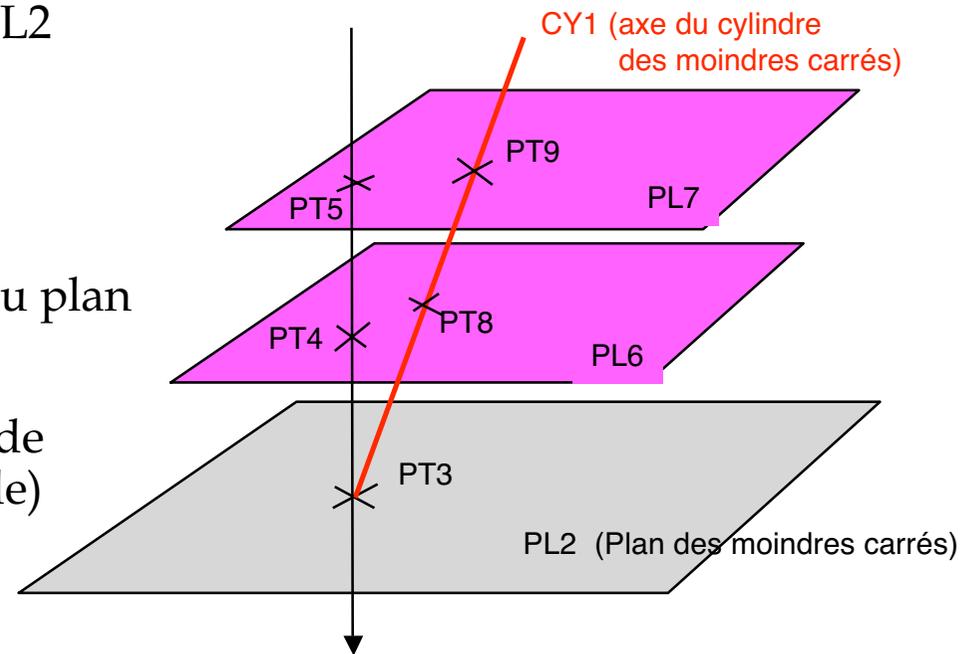


$\perp$   $\varnothing 0,03$  A

## L'axe réel est défini par 2 points extrêmes

■ L'axe réel du cylindre est déterminé par les 2 points extrêmes PT8 et PT9 délimitant l'axe du cylindre des moindres carrés

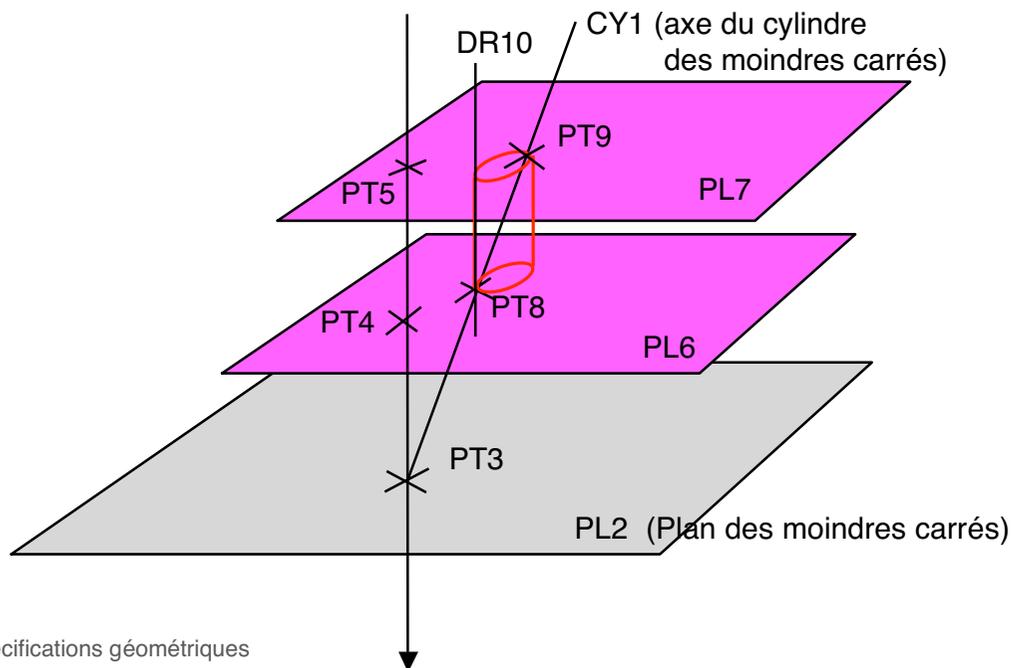
- **construction du point PT3**  
intersection de la droite CY1 et du plan PL2
- **construction d'un axe orienté** défini par  
une direction : le plan PL2  
une origine : le point PT3  
une orientation extérieure à la matière du plan PL2
- **construction de deux points PT4 et PT5** de coordonnées -5 et -35 (géométrie nominale)
- **construction d'un plan PL6** passant par le point PT4 et parallèle au plan PL2
- **construction d'un plan PL7** passant par le point PT5 et parallèle au plan PL2
- **construction du point PT8** intersection de PL6 et de la droite CY1
- **construction du point PT9** intersection de PL7 et de la droite CY1



$\perp$   $\varnothing 0,03$  A

## Vérification de la tolérance de perpendicularité

- **La direction du plan de référence spécifié est déterminée par le plan des moindres carrés.**
- **L'axe de la zone de tolérance est définie par une droite DR10**
  - construction d'une droite DR10 passant par PT8 et perpendiculaire au plan PL2
- **La condition d'appartenance à la zone de tolérance  $\varnothing t$  est définie par :**
  - le calcul de la distance **d** entre le point PT9 et la droite DR10
  - la condition **d**  $\leq$  t



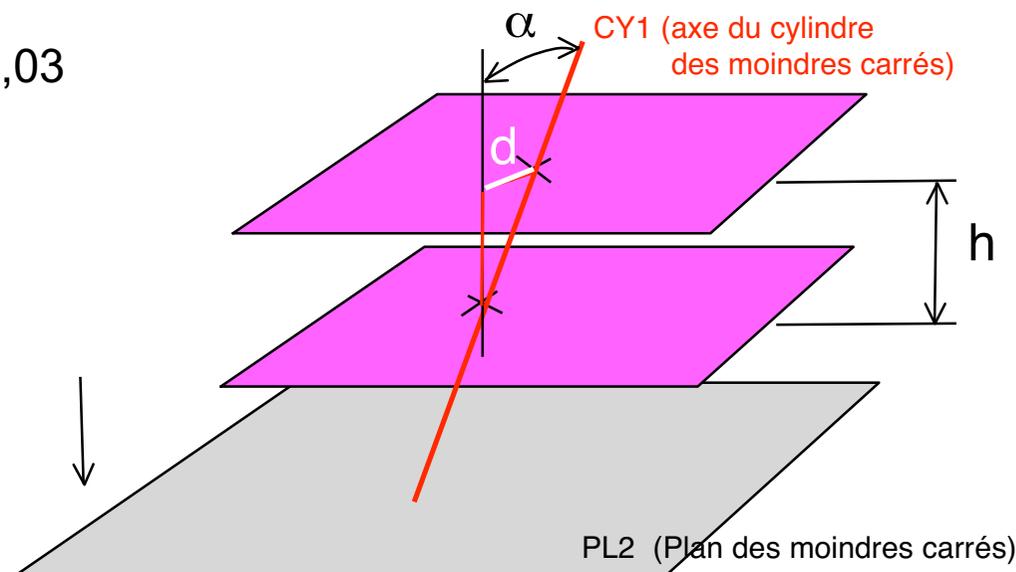
⊥ Ø 0,03 A

## Vérification de la tolérance de perpendicularité (2 ème solution)

- **La direction du plan de référence spécifié est déterminée par le plan des moindres carrés.**
- **L'axe du cylindre est défini par le cylindre des moindres carrés**
- **La condition d'appartenance à la zone de tolérance Ø0,03 est définie par :**
  - le calcul de la distance **d** : produit de la hauteur **h** de l'alésage Ø58 par la tangente de l'angle **a** entre la normale au plan PL2 et l'axe du cylindre.

$$d = h \tan \alpha$$

- Condition : **d ≤ 0,03**

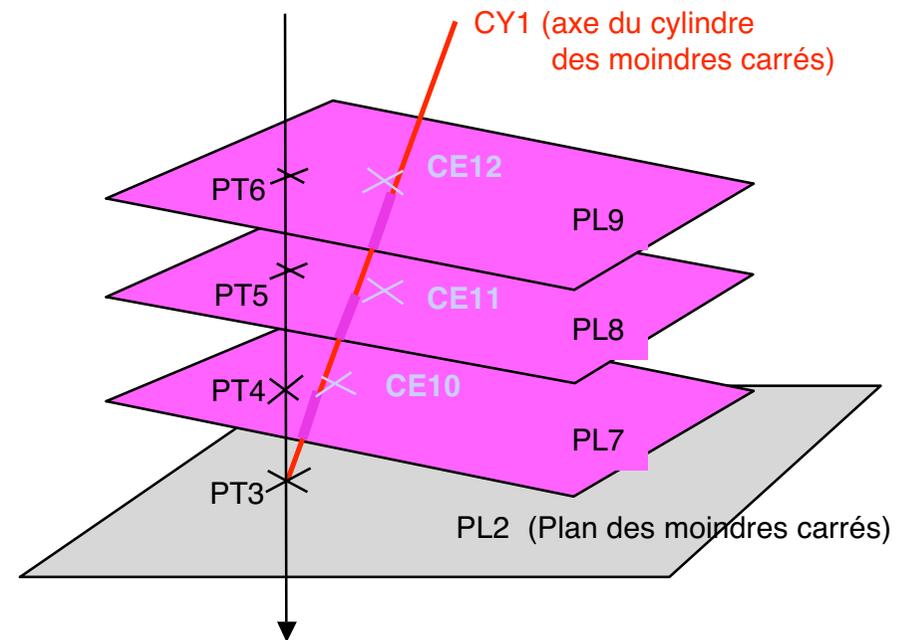


$\perp$   $\varnothing 0,03$  A

## L'axe réel est définie par plusieurs points

■ L'axe réel du cylindre est déterminé par les centres de 3 cercles des moindres carrés mesurés dans 3 plans perpendiculaires à l'axe du cylindre des moindres carrés

- **construction du point PT3**  
intersection de la droite CY1 et du plan PL2
- **construction d'un axe orienté** défini par  
une direction : le plan PL2  
une origine le point PT3  
une orientation extérieure à la  
matière du plan PL2
- **construction de trois points** PT4, PT5  
et PT6 de coordonnées -6, -20 et -34  
(définies par la géométrie nominale)
- **construction de 3 plans** PL7, PL8 et PL9 passant  
par les points PT4, PT5 et PT6 et perpendiculaires à l'axe CY1
- **mesure de 3 cercles CE10, CE11 et CE12 projetés** respectivement dans  
les 3 plans PL7, PL8 et PL9. Chaque cercle est mesuré en 8 points.

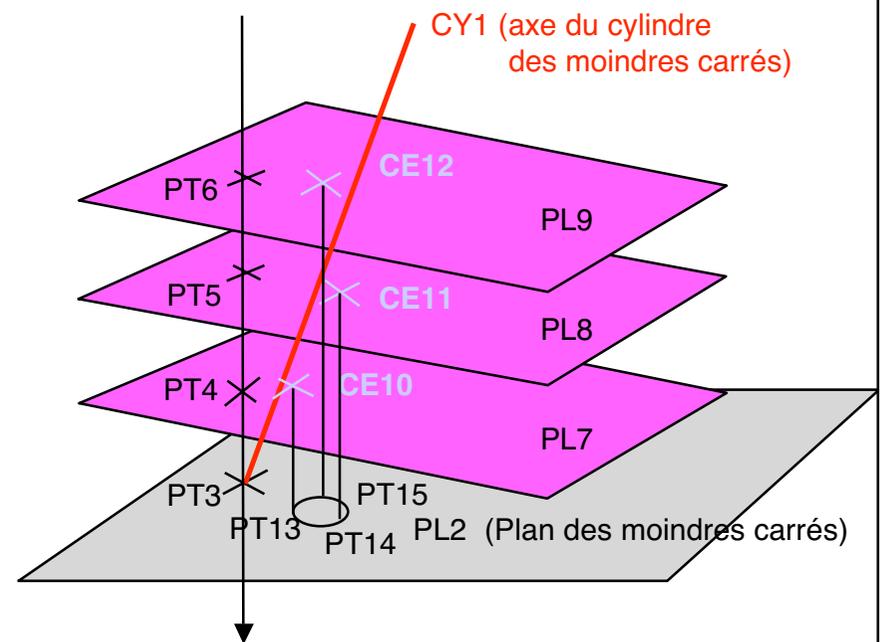


$\perp$   $\varnothing 0,03$  A

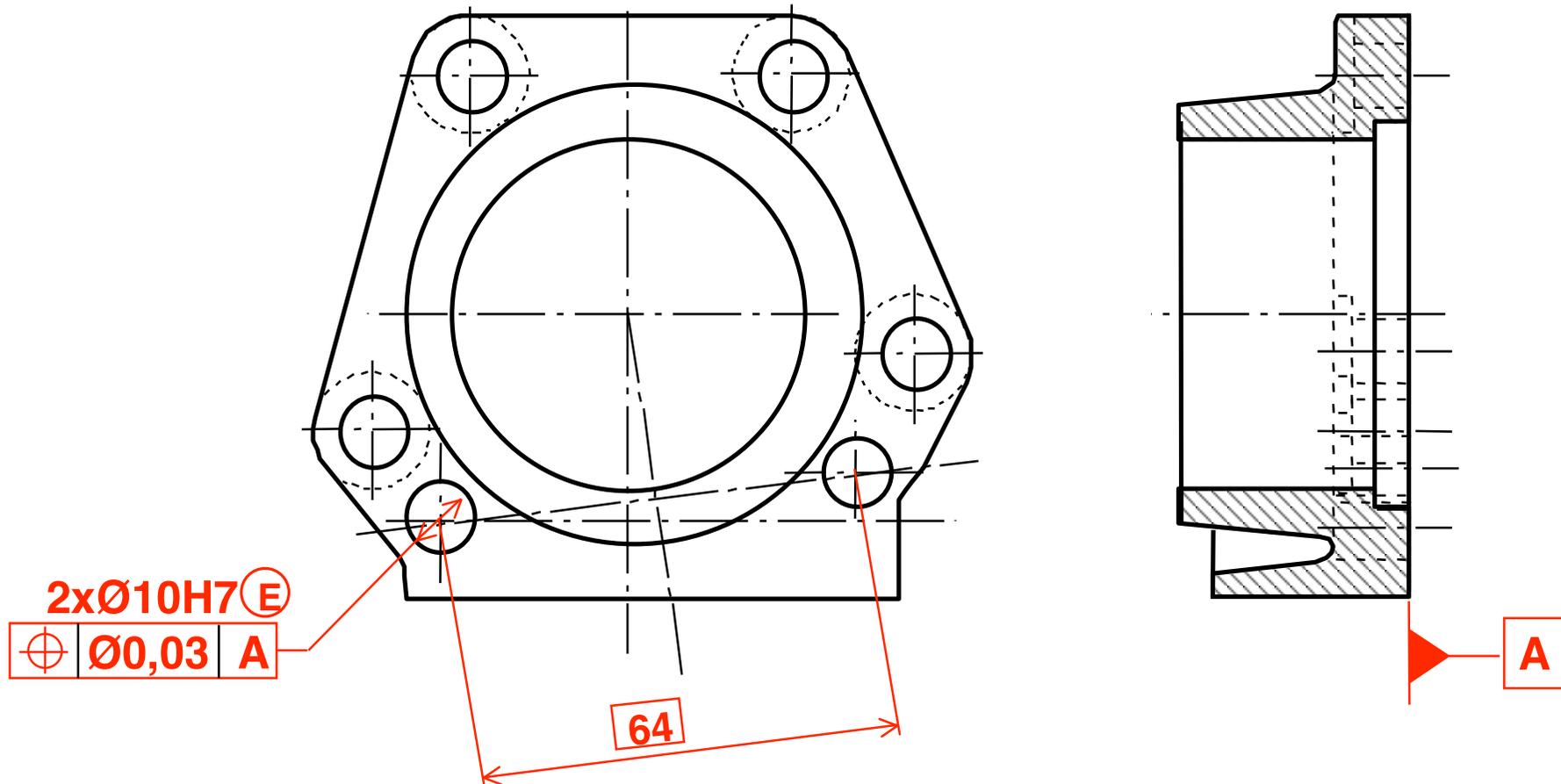
## Vérification de la tolérance de perpendicularité

- **Construction des points PT13, PT14 et PT15**  
projections orthogonales des points CE10, CE11  
et CE12 dans le plan PL2
- **Construction du cercle** passant par les 3  
points PT13, PT14 et PT15
- Le diamètre  $d$  du cercle doit être inférieur ou  
égale à la taille de la zone de tolérance.

$$d \leq 0,03\text{mm}$$



# Localisation 2 trous Ø10H7 : Dessin de définition



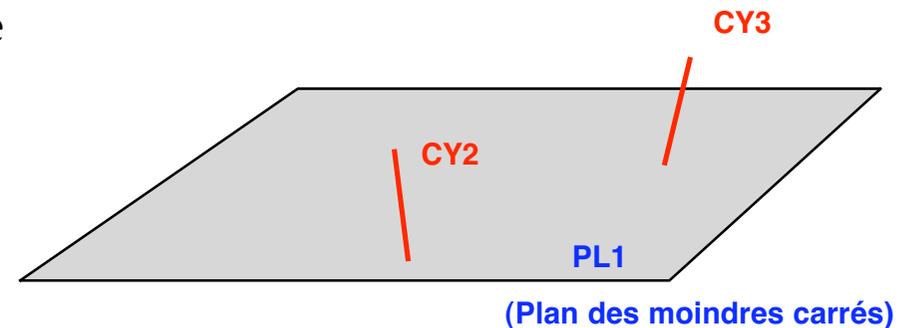
# Contrôle d'une spécification géométrique : (localisation d'un groupe de 2 alésages $\text{Ø}10\text{H}7$ )

## ■ Définition ISO de la spécification

- Élément tolérancé : axes réels de 2 cylindres
- Élément de référence : surface réputée plane A
- Référence spécifiée :
  - plan A tangent extérieur matière et minimisant l'écart de forme
- zone de tolérance : groupe de 2 cylindres  $\text{Ø}0,03$  d'axes perpendiculaires au plan A et distants de 64 mm

# Mesure des surfaces et modèles géométriques de la base de données

- **mesure en 14 points répartis sur la surface réputée plane**
  - *modèle associé* : plan des moindres carrés tangent extérieur matière PL1
  - *résultat* : défaut de forme df sur les 14 pts
- **mesure en 8 points répartis sur l'alésage Ø10H7**
  - *modèle associé* : cylindre des moindres carrés tangent extérieur matière CY2
  - *résultat* : diamètre Ø2 du cylindre associé et défaut de forme df sur les 8 pts
- **mesure en 8 points répartis sur l'alésage Ø10H7**
  - *modèle associé* : cylindre des moindres carrés tangent extérieur matière CY3
  - *résultat* : diamètre Ø3 du cylindre associé et défaut de forme df sur les 8 pts



# Représentation des éléments tolérancés

■ Les axes réels des 2 cylindres sont déterminés par les points extrêmes PT4, PT8 et PT5, PT9 délimitant chacun des axes des cylindres des moindres carrés

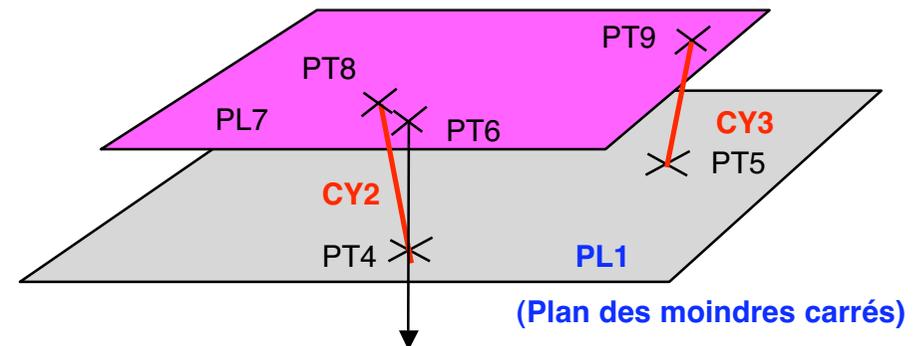
➤ **construction des points PT4 et PT5**  
intersections des droites CY2 et CY3 et  
du plan PL1

➤ **construction d'un axe orienté** défini par  
une direction : le plan PL1  
une origine le point PT4  
une orientation extérieure à la  
matière du plan PL1

➤ **construction d'un points PT6**  
de coordonnée -10 mm

➤ **construction d'un plan PL7** passant par le point PT6 et parallèle au plan PL1

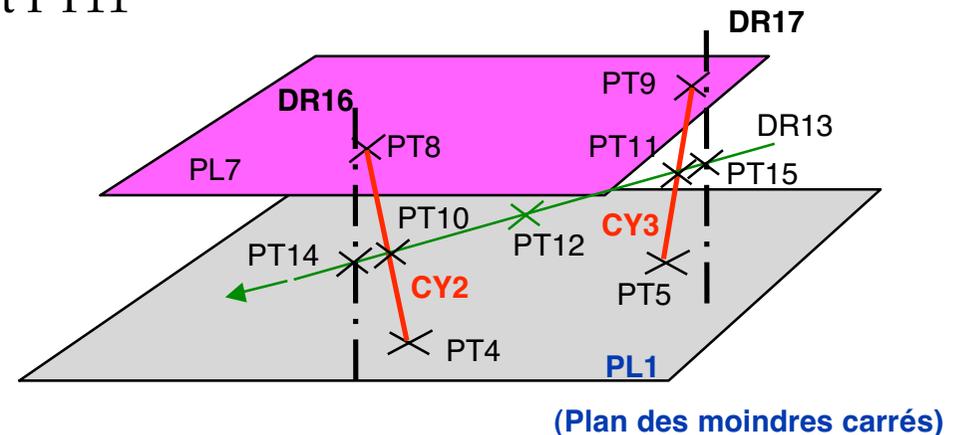
➤ **construction des points PT8 et PT9**  
intersections des droites CY2 et CY3 et du plan PL7



# Définition du groupe des deux axes des zones de tolérance

## ■ Constructions :

- d'un point **PT10** milieu des 2 points PT4 et PT8 de l'axe **CY2**
- du point **PT11** milieu des 2 points PT5 et PT9 de l'axe **CY3**
- de la droite **DR13** passant par les points PT10 et PT11
- du point **PT12** milieu des 2 points PT10 et PT11
- de l'axe orienté défini par
  - une direction : le droite DR13
  - une origine le point PT12
  - une orientation vers le point PT10
- de 2 points **PT14 et PT15**  
de coordonnées +32 et -32
- de 2 droites **DR16 et DR17** passant par les points PT14 et PT15 et perpendiculaires au plan PL1



# Vérification de la tolérance de localisation

- Les axes réels des cylindres étant déterminés par les points extrêmes PT4, PT8 pour le cylindre CY1 et PT5, PT9 pour le cylindre CY2
- La vérification de la tolérance de position est définie par :
  - le calcul des distances d1 et d2 des points PT4 et PT8 à la droite DR16
  - le calcul des distances d3 et d4 des points PT5 et PT9 à la droite DR17

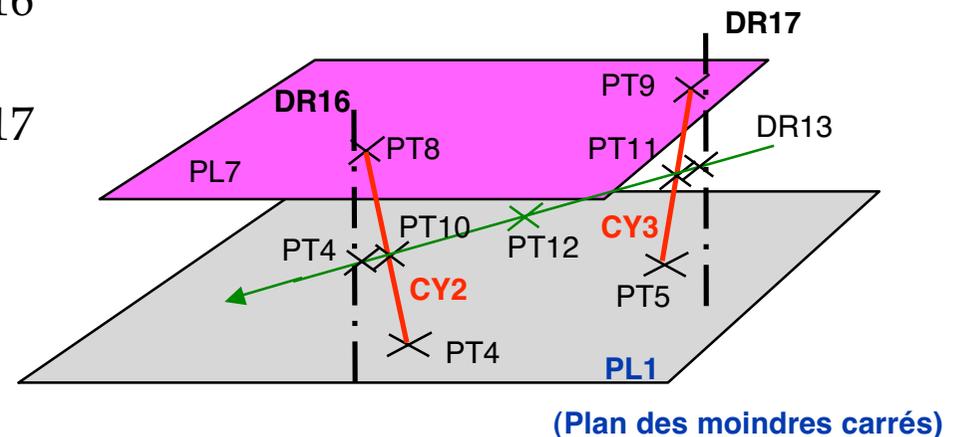
- **Conditions :**

$$d1 \leq t/2$$

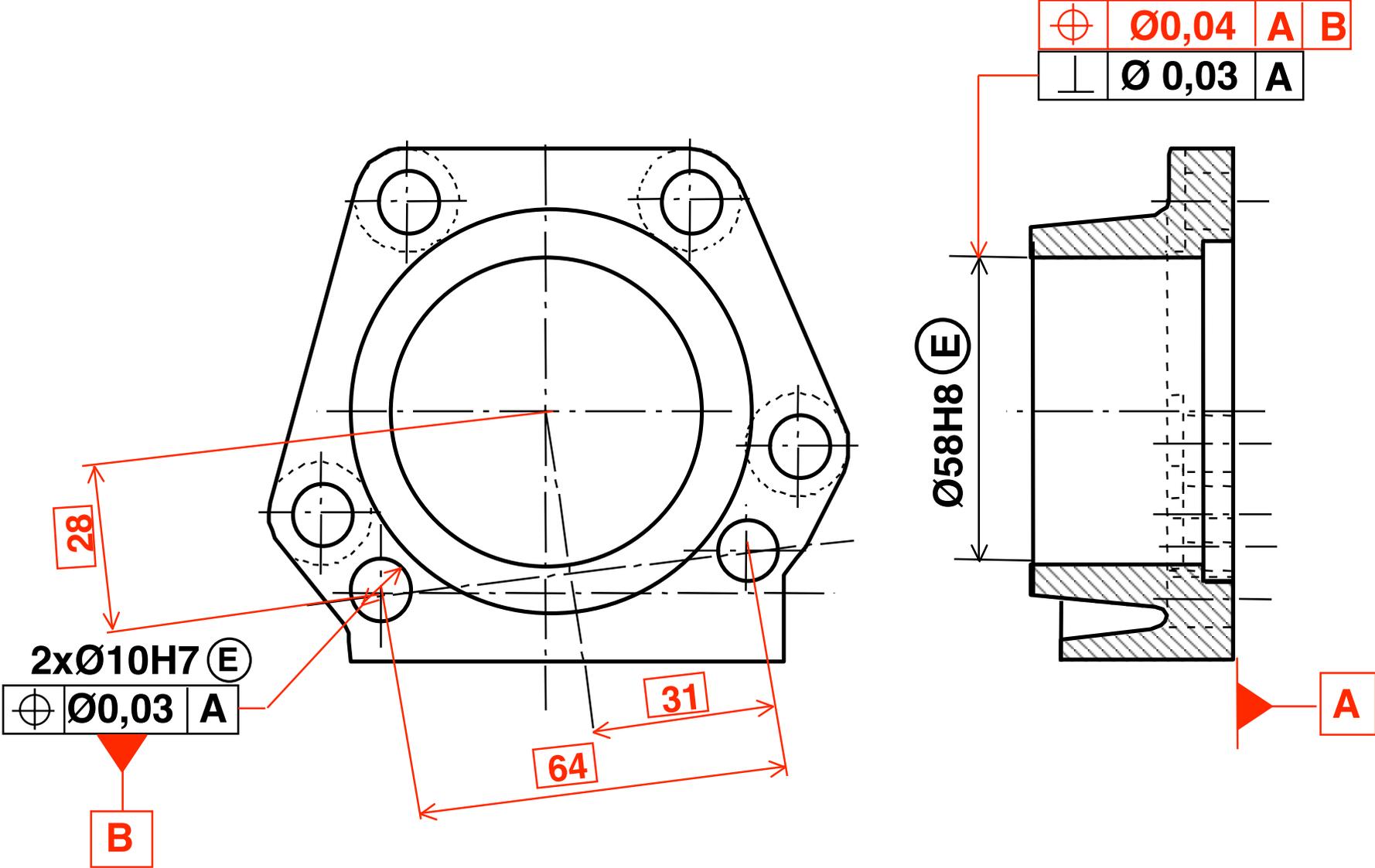
$$d2 \leq t/2$$

$$d3 \leq t/2$$

$$d4 \leq t/2$$



# Localisation Ø58H8 : Dessin de définition



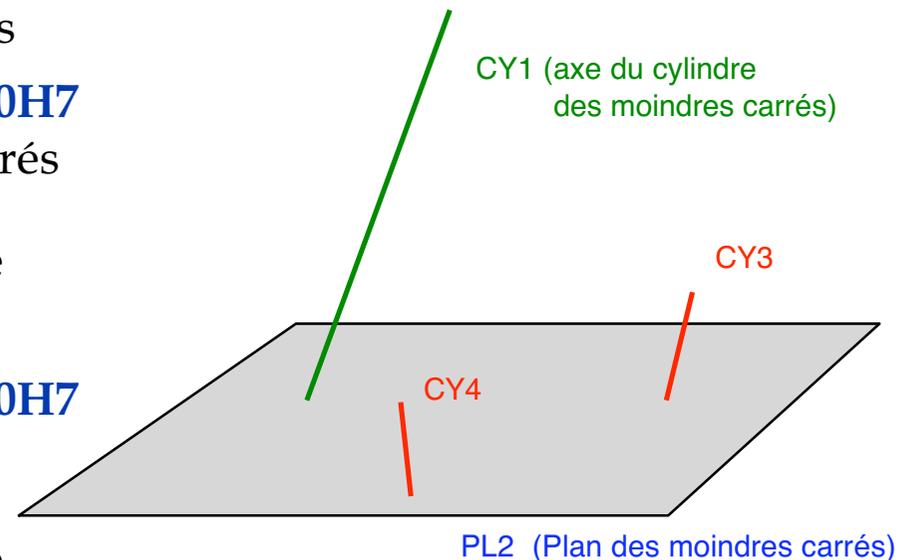
# Contrôle de la localisation de l'alésage Ø58H8

## ■ Définition ISO de la spécification

- **Élément toléré** : axe réel de l'alésage Ø58
- **Éléments de référence** : surface réputée plane A, 2 surfaces réputées cylindriques B
- **Système de références spécifiées** :
  - plan A tangent extérieur matière et minimisant l'écart de forme
  - Référence B : un plan et une droite. Le plan passe par 2 droites parallèles distantes de 64 mm . Les droites sont les axes de 2 cylindres, perpendiculaires au plan A, de "même plus grand diamètre" inscrit dans les 2 alésages. La droite de la référence spécifiée est l'axe de droite sur le dessin.
- **zone de tolérance** : cylindre Ø0,04 d'axe perpendiculaire au plan A, distant de 28 du plan B et de 31 de la droite B (à droite sur le dessin)

# Mesure des surfaces et modèles géométriques de la base de données

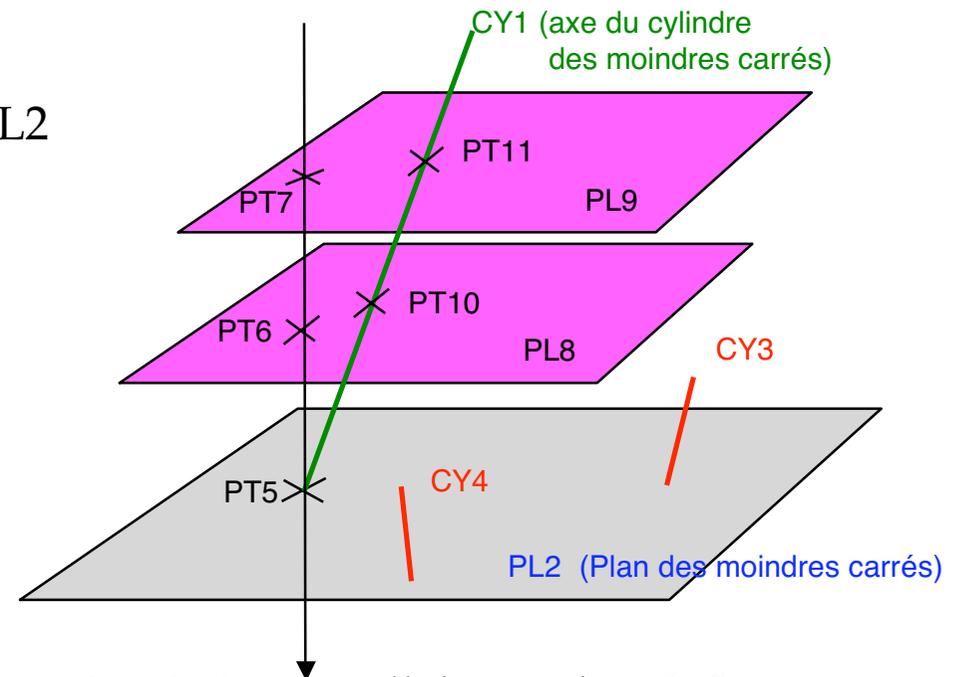
- **mesure en 8 points répartis sur l'alésage Ø58H8**
  - *modèle associé* : cylindre des moindres carrés tangent extérieur matière CY1
  - *résultat* : diamètre D1 du cylindre associé et défaut de forme df sur les 8 pts
- **mesure en 14 points répartis sur la surface réputée plane**
  - *modèle associé* : plan des moindres carrés tangent extérieur matière PL2
  - *résultat* : défaut de forme df sur les 14 pts
- **mesure en 8 points répartis sur l'alésage Ø10H7**
  - *modèle associé* : cylindre des moindres carrés tangent extérieur matière CY3
  - *résultat* : diamètre D3 du cylindre associé et défaut de forme df sur les 8 pts
- **mesure en 8 points répartis sur l'alésage Ø10H7**
  - *modèle associé* : cylindre des moindres carrés tangent extérieur matière CY4
  - *résultat* : diamètre D4 du cylindre associé et défaut de forme df sur les 8 pts



# Représentation de l'élément tolérancé

■ L'axe réel du cylindre est déterminé par les 2 points extrêmes PT10 et PT11 délimitant l'axe du cylindre des moindres carrés

- **construction du point PT5**  
intersection de la droite CY1 et du plan PL2
- **construction d'un axe orienté** défini par  
une direction : le plan PL2  
une origine le point PT5  
une orientation extérieure à la  
matière du plan PL2
- **construction de deux points PT6 et PT7**  
de coordonnées -5 et -30
- **construction d'un plan PL8** passant par le point PT6 et parallèle au plan PL2
- **construction d'un plan PL9** passant par le point PT7 et parallèle au plan PL2
- **construction du point PT10** intersection de PL8 et de la droite CY1
- **construction du point PT11** intersection de PL9 et de la droite CY1



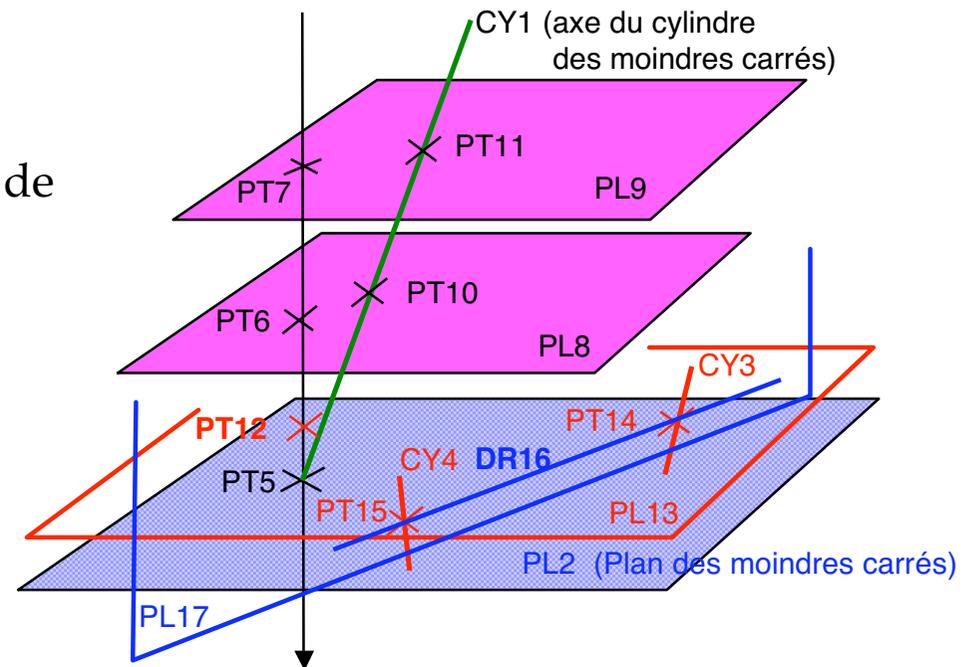
# Représentation du système de références spécifiées



- Plan de référence spécifié A : plan PL2
- Plan de référence spécifié B : plan PL17

## Constructions :

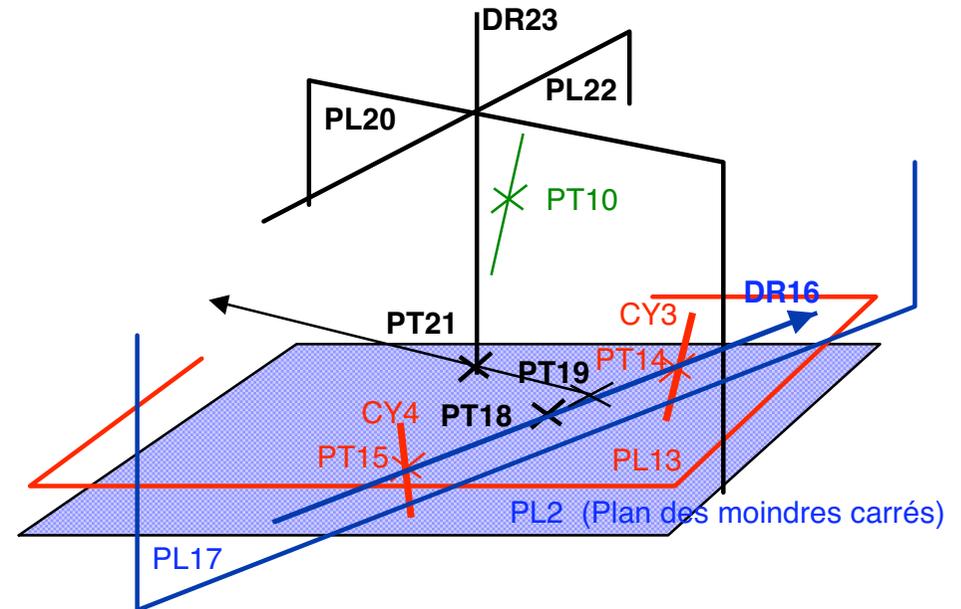
- d'un plan **PL13** passant par le point PT12 de coordonnée - 5 et parallèle au plan PL2
- du point **PT14** intersection du CY3 et du plan PL13
- du point **PT15** intersection du CY4 et du plan PL13
- de la droite **DR16** passant par les points PT14 et PT15
- du plan **PL17** passant par la droite DR16 et perpendiculaire au plan PL2



# Définition de l'axe de la zone de tolérance par la droite DR23 intersection de deux plans PL20 et PL22

## Plan PL20

- **construction du point PT18** milieu deux points PT14 et PT15
- **construction d'un axe orienté** défini par  
une direction : la droite DR16  
une origine le point PT18  
une orientation le point PT14
- **construction d'un point PT19** de coordonnées 1 mm
- **construction du plan PL20** passant par le point PT19 et perpendiculaire à la droite DR16



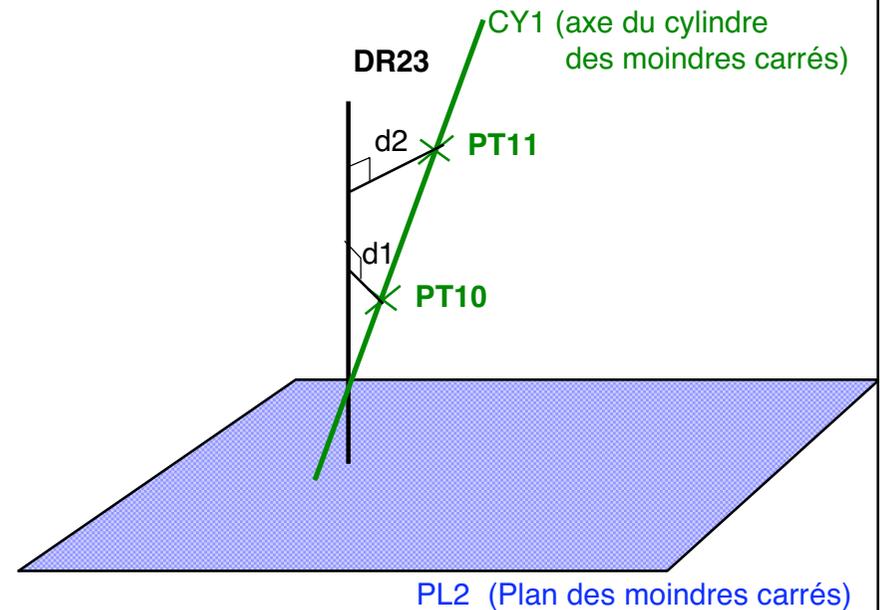
## Plan PL22

- **construction d'un axe orienté** défini par : une direction le plan PL17, une origine le point PT19, une orientation le point PT10
- **construction d'un point PT21** de coordonnées 28 mm
- **construction du plan PL22** passant par le point PT21 et parallèle au plan PL17

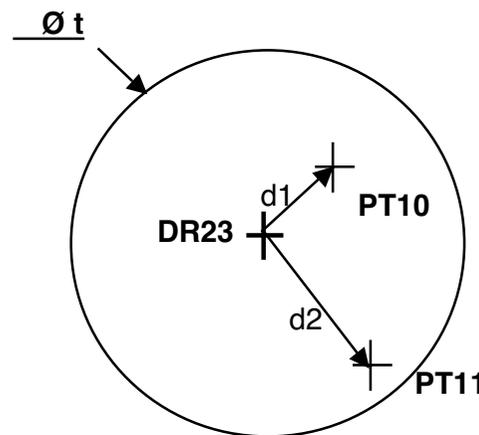
**Construction de la droite DR23** : intersection des deux plans PL20 et PL22

# Vérification de la tolérance de localisation

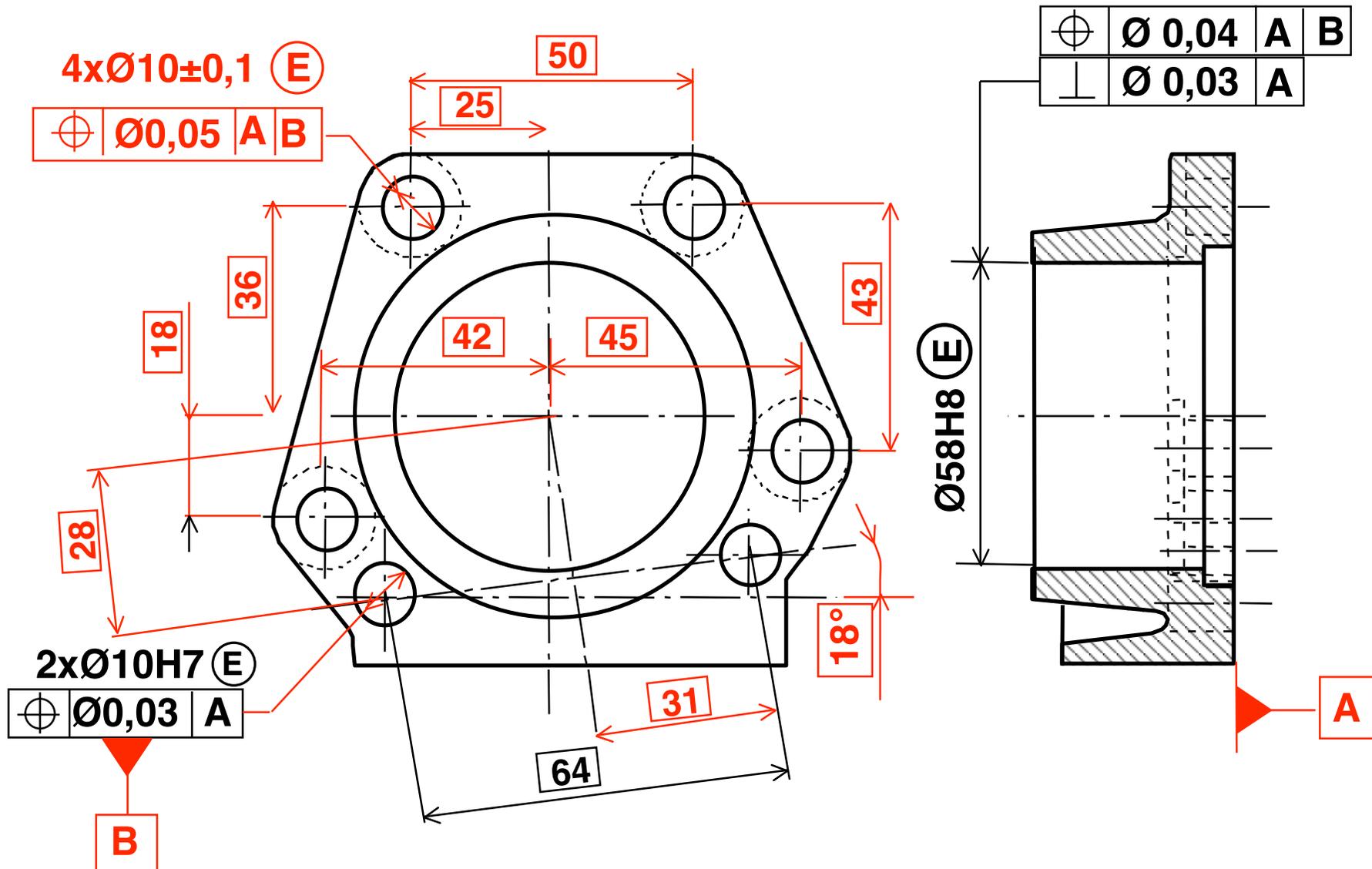
- L'axe réel du cylindre étant déterminé par les 2 points extrêmes PT10 et PT11
- L'axe de la zone étant défini par la droite DR23
- La vérification de la tolérance de position est définie par :
  - le calcul des distances  $d1$  et  $d2$  entre les points PT10 et PT11 à la droite DR23 (axe de la zone)



- **Conditions :**
  - $d1 \leq t/2$
  - $d2 \leq t/2$



# Localisation 4x $\text{Ø}10\pm 0,1$ : Dessin de définition

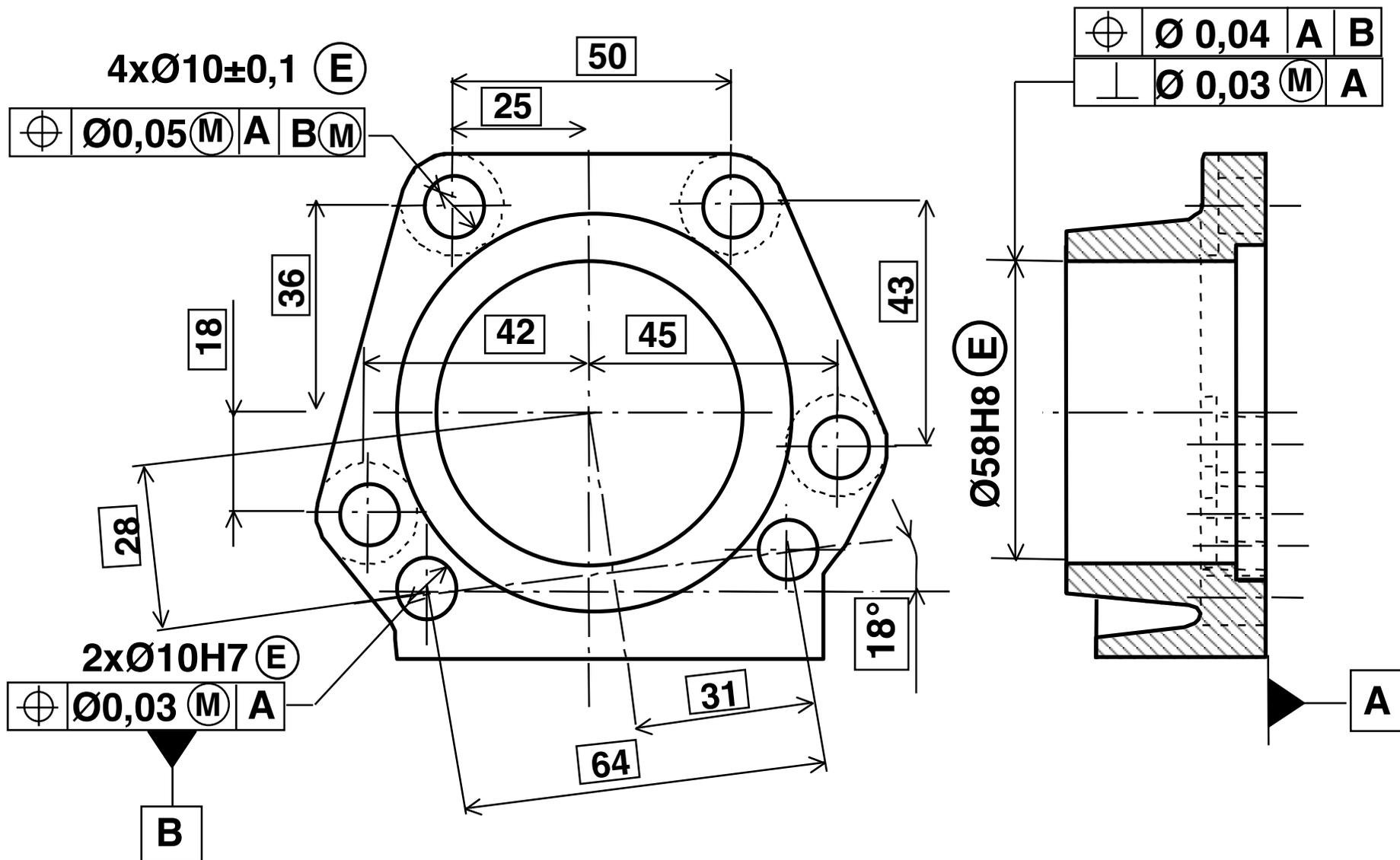


# Contrôle de la localisation de 4 trous $\varnothing 10_{\pm 0,1}$

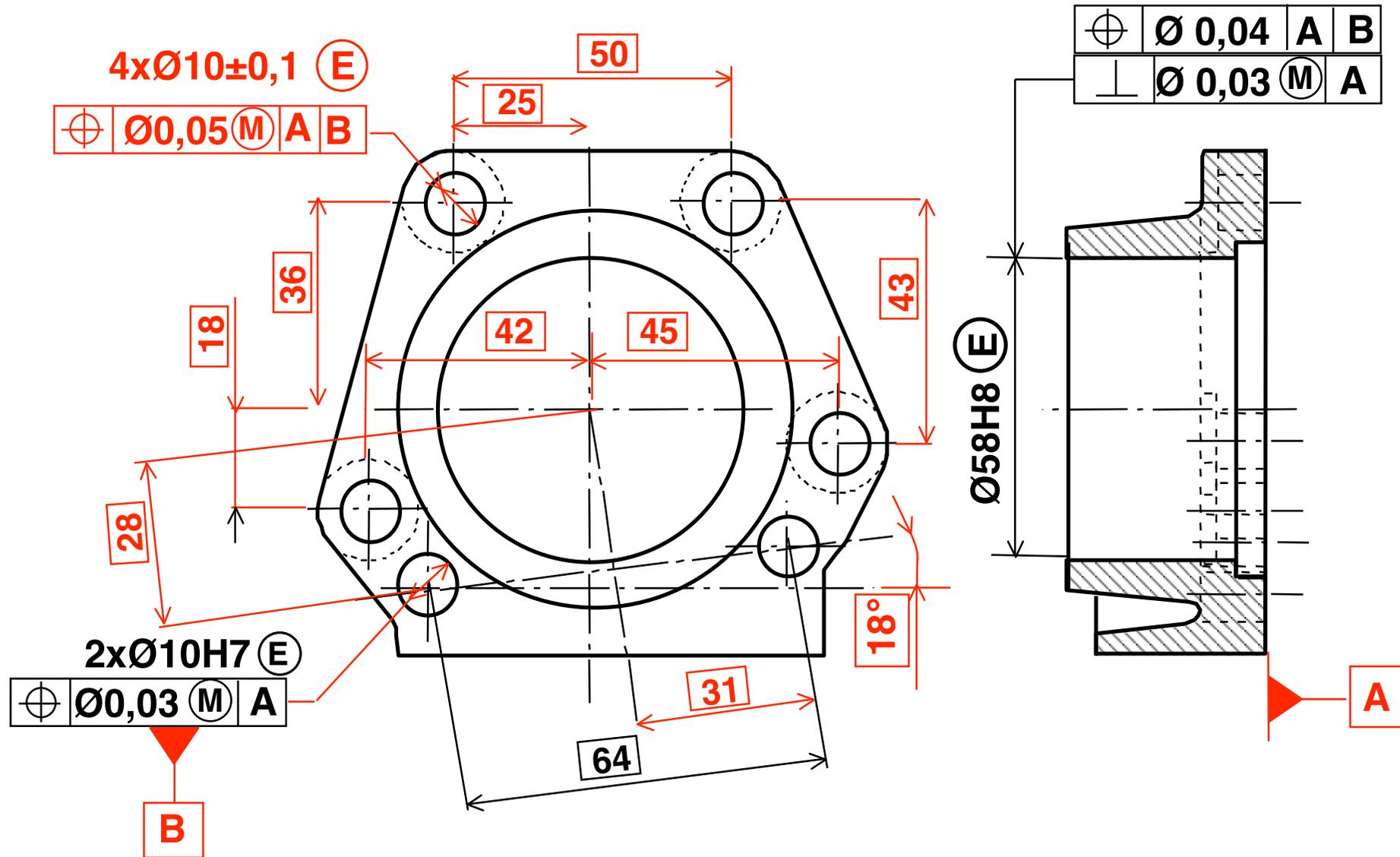
## ■ Définition ISO de la spécification

- **Élément tolérancé** : axes réels de 4 surfaces réputées cylindriques
- **Éléments de référence** : surface réputée plane A et 2 surfaces réputées cylindriques B
- **Système de références spécifiées** :
  - plan A tangent extérieur matière et minimisant l'écart de forme
  - Référence spécifiée B : un plan et une droite. Le plan passe par 2 droites parallèles distantes de 64 mm . Les droites sont les axes de 2 cylindres, perpendiculaires au plan A, de "même plus grand diamètre" inscrit dans les 2 alésages. La droite de la référence spécifiée est l'axe de droite sur le dessin.
- **Zone de tolérance** : groupe de 4 cylindres  $\varnothing 0,05$  perpendiculaires au plan P, positionnés entre eux par rapport à un plan et une droite (dimensions : 25-36, 18-42, 45-43, 50-25). Le groupe des 4 cylindres est positionné par rapport au système de références spécifiées B, par l'angle de  $18^\circ$  et par les deux dimensions 31 et 28.

# Dessin de définition (avec exigence M)



# Localisation 4xØ10±0,1 : Dessin de définition



# Contrôle de la localisation de 4 trous $\text{Ø}10_{\pm 0,1}$

## ■ Définition ISO de la spécification

- Élément tolérancé : 4 surfaces réputées cylindriques
- Éléments de référence : surface réputée plane A et 2 surfaces réputées cylindriques B
- Système de références spécifiées :
  - plan A tangent extérieur matière et minimisant l'écart de forme
  - Référence B : un plan et une droite. Le plan passe par 2 droites parallèles distantes de 64 mm . Les droites sont les axes de 2 cylindres, perpendiculaires au plan A, de "même plus grand diamètre" inscrit dans les 2 alésages. La droite de la référence spécifiée est l'un des deux axes.
- Etat virtuel de l'élément tolérancé : groupe de 4 cylindres  $\text{Ø}9,85$  en position théorique exacte par rapport à 2 plans perp. (dimensions 25-36-50-43-45-18-42)
- Position de l'état virtuel / Système de Réf. Spécifiées : le groupe des 4 cylindres est perpendiculaire au plan P et positionné par l'angle de  $18^\circ$  et par les deux dimensions 31 et 28.

# Localisation 4xØ10±0,1 : Dessin de définition

