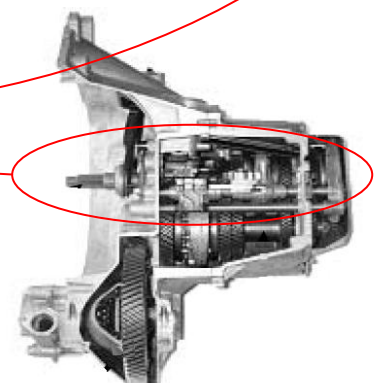
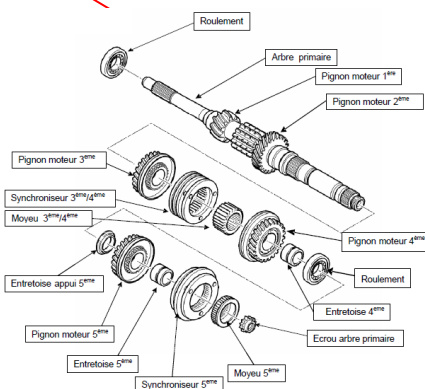
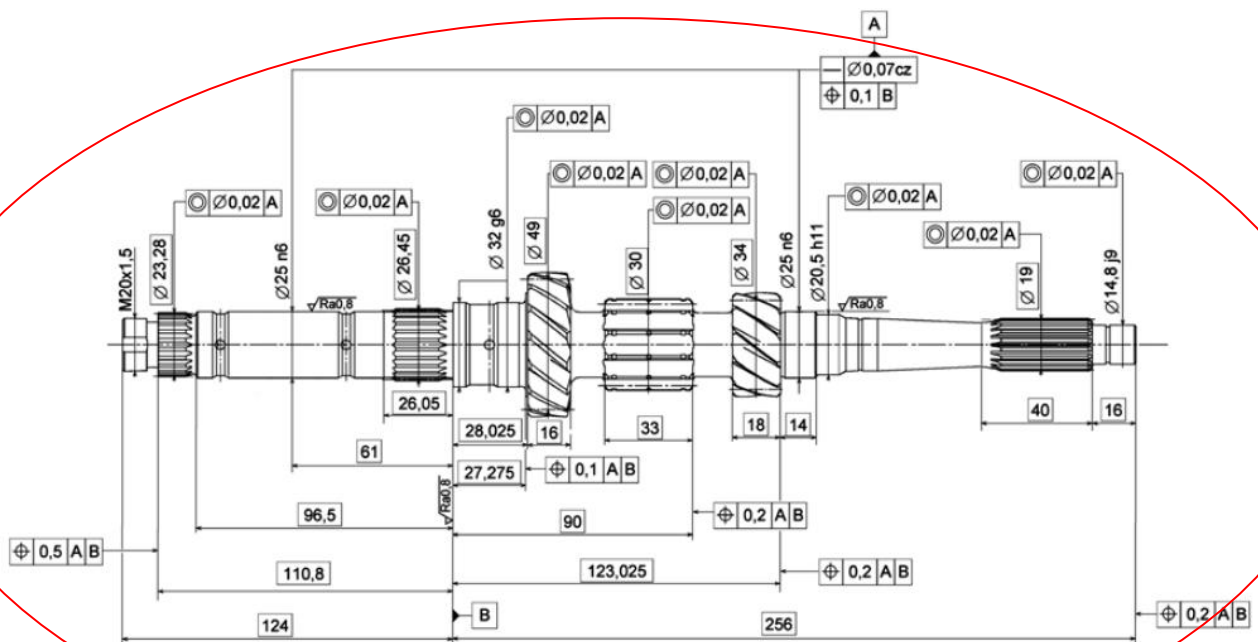


Cotation GPS

Spécification Géométrique des Produits

- 1 BESOIN SATISFAIT PAR LA COTATION FONCTIONNELLE 2**
- 2 TOLERANCEMENT DIMENSIONNEL 2**
 - 2.1 TOLERANCES GENERALES 2
 - 2.2 COTES ENCADREES 2
 - 2.3 LES AJUSTEMENTS 3
 - 2.3.1 Cotation des alésages 3
 - 2.3.2 Cotation des arbres 3
 - 2.3.3 Les ajustements 3
 - 2.4 EXIGENCE DE L'ENVELOPPE 4
- 3 TOLERANCEMENT GEOMETRIQUE 4**
 - 3.1 TOLERANCES DE FORME 4
 - 3.2 TOLERANCES D'ORIENTATION 5
 - 3.3 TOLERANCES DE POSITION 5
- 4 APPLICATIONS 6**
- 5 QUALIFICATION DU PRODUIT 8**
 - 5.1 METROLOGIE 8
 - 5.2 LES MACHINES A MESURER TRIDIMENSIONNELLES (MMT) 8



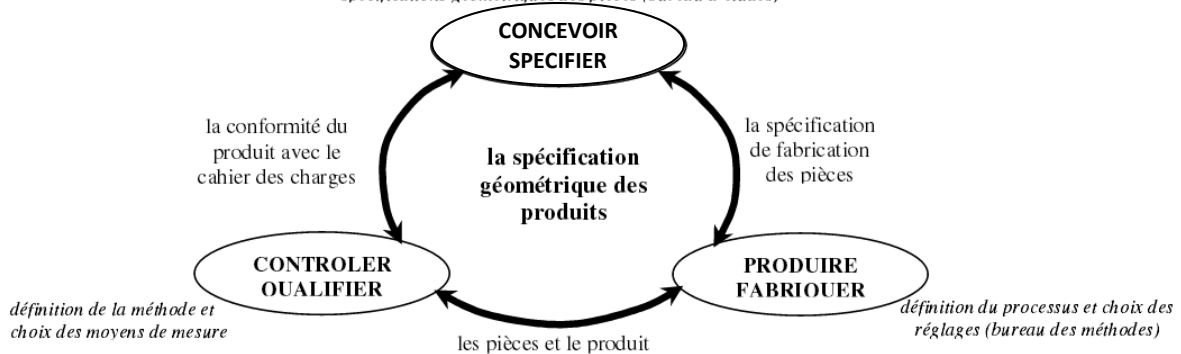
Cotation GPS de l'arbre primaire d'une boîte de vitesses Peugeot Citroën

1 BESOIN SATISFAIT PAR LA COTATION FONCTIONNELLE

La **spécification géométrique des produits (GPS : Geometrical Product Specification)** permet de définir la cotation fonctionnelle d'une pièce s'intégrant dans un assemblage complet.

La norme ISO 17450-1:2011 définit les concepts fondamentaux du système GPS, afin de fournir un langage GPS non ambigu, destiné à être utilisé par la **conception**, la **fabrication** et le **contrôle**.

définition des conditions fonctionnelles du produit et des spécifications géométriques des pièces (bureau d'études)



Son objectif est d'établir les **tolérances** (défauts admissibles) **de forme** (planéité, cylindricité...), **d'orientation** (parallélisme, perpendicularité...), et **de position** (localisation, coaxialité, symétrie...); ainsi que les **tolérances dimensionnelles** de la pièce.

Principe d'indépendance :

Chaque exigence dimensionnelle ou géométrique spécifiée sur un dessin doit être respectée en elle-même, indépendamment des autres exigences. (Sauf indication particulière précisée).

2 TOLERANCEMENT DIMENSIONNEL

Une tolérance linéaire limite uniquement les dimensions locales réelles (distance entre deux points $d_i = A_i B_i$), mais pas ses écarts de forme. Une pièce sera donc conforme si la valeur prise par chacune des dimensions locales d_i se trouve à l'intérieur de l'intervalle de tolérance.

Remarque : Toutes les cotes liées à un modèle de définition doivent obligatoirement être tolérancées.

2.1 Tolérances générales

Afin d'éviter l'écriture d'un nombre trop important de spécifications dans un modèle de définition, on utilise des tolérances générales. Par exemple dans le cadre de **pièces usinées** la norme utilisée est la norme : **ISO 2768 mK**.

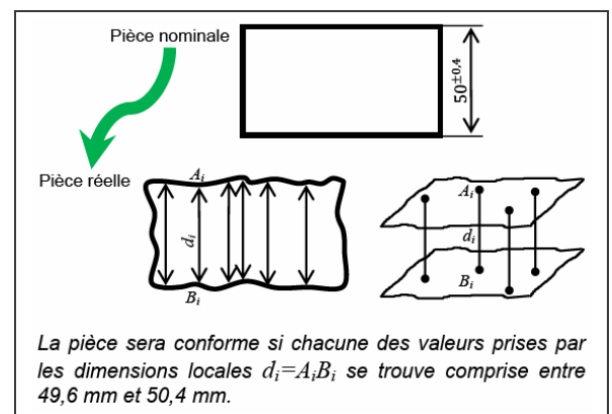
- **ISO 2768** : tolérances générales ISO 2768 ;
- **m, classe de précision pour les dimensions** : intervalle de tolérance (IT) moyen. Dans le cas de pièces usinées, il existe f (IT fin), c (IT large) et v (IT très large) ;
- **K, classe de précision pour les tolérances géométriques** : IT (moyen). Il existe également H (IT fin) et L (IT large).

Les tolérances plus élevées ne seront indiquées que si le coût de fabrication est diminué de façon significative.

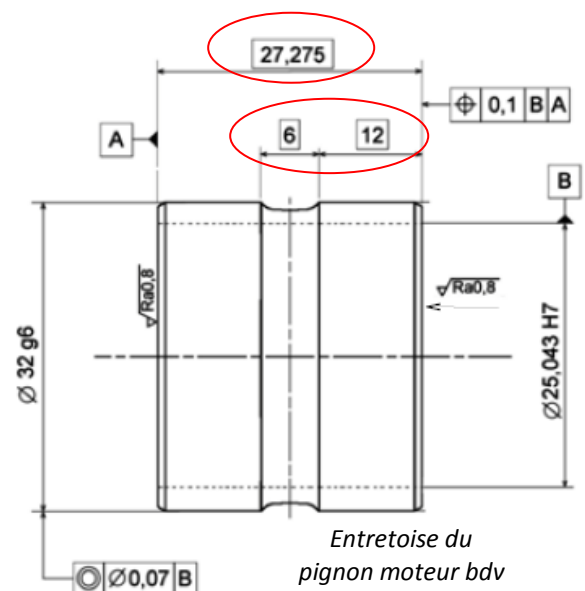
2.2 Cotes encadrées

Une cote encadrée est l'indication graphique d'une « **dimension théorique exacte** ». Une cote théorique exacte définit la position, l'orientation ou le profil théorique exact d'un élément et celui-ci sera toléré par l'intermédiaire d'une ou plusieurs spécification(s) géométrique(s).

27,275 : cote théorique exacte tolérancée par une localisation de 0,1 mm par rapport à A (lui-même référencé par rapport à B)



Par exemple dans le cadre de **pièces usinées** la norme utilisée est la norme : **ISO 2768 mK**.



Entretoise du pignon moteur bdv

2.3 Les ajustements

Afin d'éviter d'alourdir inutilement les plans cotés avec des intervalles de tolérance, on associe à certaines cotes un code d'une lettre et d'un chiffre ; positionnant ainsi la surface par rapport à une cote nominale.

2.3.1 Cotation des alésages

Exemple du diamètre intérieur de l'entretoise : $\phi 25,043 H7$

$\phi 25$: diamètre nominal de la pièce en mm

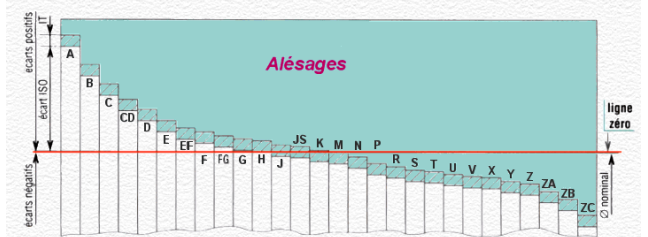
H : permet d'indiquer où sera placée la cote réelle par rapport à la cote nominale

7 : désigne la qualité de la fabrication. *Plus le chiffre est petit (5 à 13), plus l'IT sera faible (dépend de la cote nominale) mais plus le coût de réalisation sera élevé.*

Extrait de catalogue

$\phi 25,043 H7$
 Ecriture équivalente :
 $\phi 25,043_0^{+0,021}$
IT = 0,021 mm
 Diamètre mini accepté =
 $\phi 25,043$
 Diamètre maxi accepté =
 $\phi 25,064$

ALÉSAGES	PRINCIPAUX ÉCARTS EN MICROMETRES										Température de référence : 20 °C				
	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400	400 à 500		
G 6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 14 + 5	+ 17 + 6	+ 20 + 7	+ 25 + 9	+ 29 + 10	+ 34 + 12	+ 39 + 14	+ 44 + 15	+ 49 + 17	+ 54 + 18	+ 60 + 20		
H 6	+ 6 0	+ 8 0	+ 9 0	+ 11 0	+ 13 0	+ 16 0	+ 19 0	+ 22 0	+ 25 0	+ 29 0	+ 32 0	+ 36 0	+ 40 0		
H 7	+ 10 0	+ 12 0	+ 15 0	+ 18 0	+ 21 0	+ 25 0	+ 30 0	+ 35 0	+ 40 0	+ 46 0	+ 52 0	+ 57 0	+ 63 0		
H 8	+ 14 0	+ 18 0	+ 22 0	+ 27 0	+ 33 0	+ 39 0	+ 46 0	+ 54 0	+ 63 0	+ 72 0	+ 81 0	+ 89 0	+ 97 0		
H 9	+ 25 0	+ 30 0	+ 36 0	+ 43 0	+ 52 0	+ 62 0	+ 74 0	+ 87 0	+ 100 0	+ 115 0	+ 130 0	+ 140 0	+ 155 0		
H 10	+ 40 0	+ 48 0	+ 58 0	+ 70 0	+ 84 0	+ 100 0	+ 120 0	+ 140 0	+ 160 0	+ 185 0	+ 210 0	+ 230 0	+ 250 0		



2.3.2 Cotation des arbres

Exemple du diamètre extérieur de l'entretoise : $\phi 32 g6$

$\phi 32$: diamètre nominal de la pièce en mm

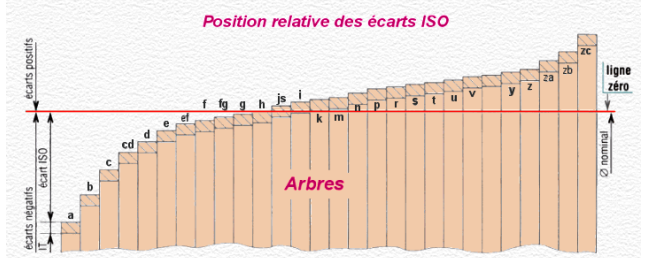
g : permet d'indiquer où sera placée la cote réelle par rapport à la cote nominale

6 : désigne la qualité de la fabrication. *Plus le chiffre est petit (5 à 13), plus l'IT sera faible (dépend de la cote nominale) mais plus le coût de réalisation sera élevé.*

Extrait de catalogue

$\phi 32 g6$
 Ecriture équivalente :
 $\phi 32_{-0,025}^{-0,009}$
IT = 0,016 mm
 Diamètre mini accepté =
 $\phi 31,975$ mm
 Diamètre maxi accepté =
 $\phi 31,991$ mm

ARBRES	PRINCIPAUX ÉCARTS EN MICROMETRES										Température de référence : 20 °C				
	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400	400 à 500		
f 7	- 6 - 16	- 10 - 22	- 13 - 28	- 16 - 34	- 20 - 41	- 25 - 50	- 30 - 60	- 36 - 71	- 43 - 83	- 50 - 96	- 56 - 106	- 62 - 119	- 68 - 131		
f 8	- 6 - 20	- 10 - 28	- 13 - 35	- 16 - 43	- 20 - 53	- 25 - 64	- 30 - 76	- 36 - 90	- 43 - 103	- 50 - 122	- 56 - 137	- 62 - 151	- 68 - 165		
g 5	- 2 - 6	- 4 - 9	- 5 - 11	- 6 - 14	- 7 - 16	- 9 - 20	- 10 - 23	- 12 - 27	- 14 - 32	- 15 - 35	- 17 - 40	- 18 - 43	- 20 - 47		
g 6	- 2 - 8	- 4 - 12	- 5 - 14	- 6 - 17	- 7 - 20	- 9 - 25	- 10 - 29	- 12 - 34	- 14 - 39	- 15 - 44	- 17 - 49	- 18 - 54	- 20 - 60		
h 5	0 - 4	0 - 5	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 15	0 - 18	0 - 20	0 - 23	0 - 25	0 - 27		
h 6	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 16	0 - 19	0 - 22	0 - 25	0 - 29	0 - 32	0 - 36	0 - 40		
h 7	0 - 10	0 - 12	0 - 15	0 - 18	0 - 21	0 - 25	0 - 30	0 - 35	0 - 40	0 - 46	0 - 52	0 - 57	0 - 63		



2.3.3 Les ajustements

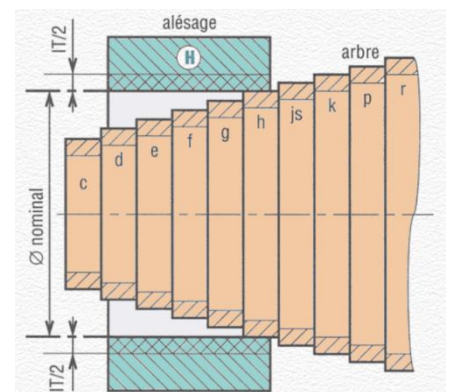
On appelle ajustement le regroupement des tolérances de l'arbre et de l'alésage en contact.

De manière classique, on ajuste l'arbre en fonction d'une position de l'alésage référencée en H. les arbres étant moins complexes à réaliser que les alésages.

Exemple :

$\phi 50 H7 g6 \rightarrow$ ajustement glissant

$\phi 50 H7 s6 \rightarrow$ ajustement serré

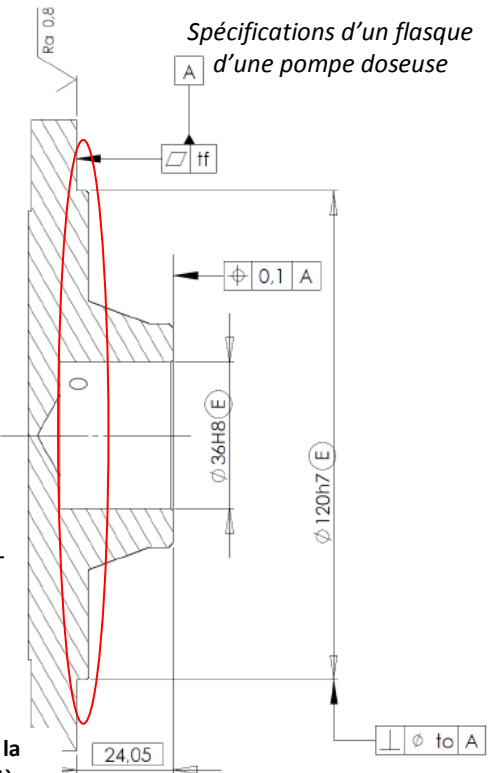
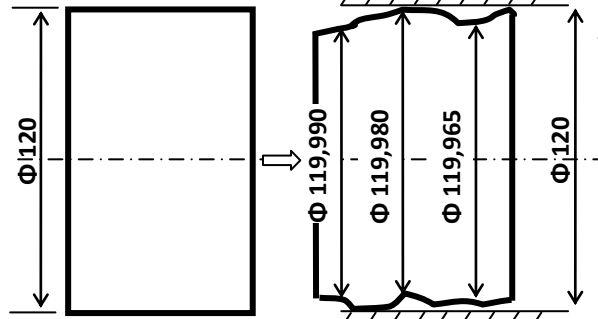


2.4 Exigence de l'enveloppe

D'après le principe de l'indépendance, une spécification dimensionnelle ne limite pas le défaut de forme de l'élément spécifié. Sur la figure ci-dessous, on voit que la pièce peut être considérée comme bonne du point de vue dimensionnel si toutes les valeurs prises par les dimensions locales (bipoints) se trouvent dans l'intervalle de tolérance, mais que le défaut de forme peut être très grand.

Si l'une des fonctions de cet épaulement est de pouvoir accueillir un alésage, le concepteur du produit pourra donc, en plus, indiquer sur le dessin de définition qu'il désire limiter le défaut de forme de cet alésage par une exigence d'enveloppe.

L'exigence d'enveloppe est indiquée par le symbole \textcircled{E} à la suite de la tolérance linéaire, et signifie que l'enveloppe parfaite au maximum de matière ne doit pas être dépassée.



Pour $\phi 120 h7 \textcircled{E}$:

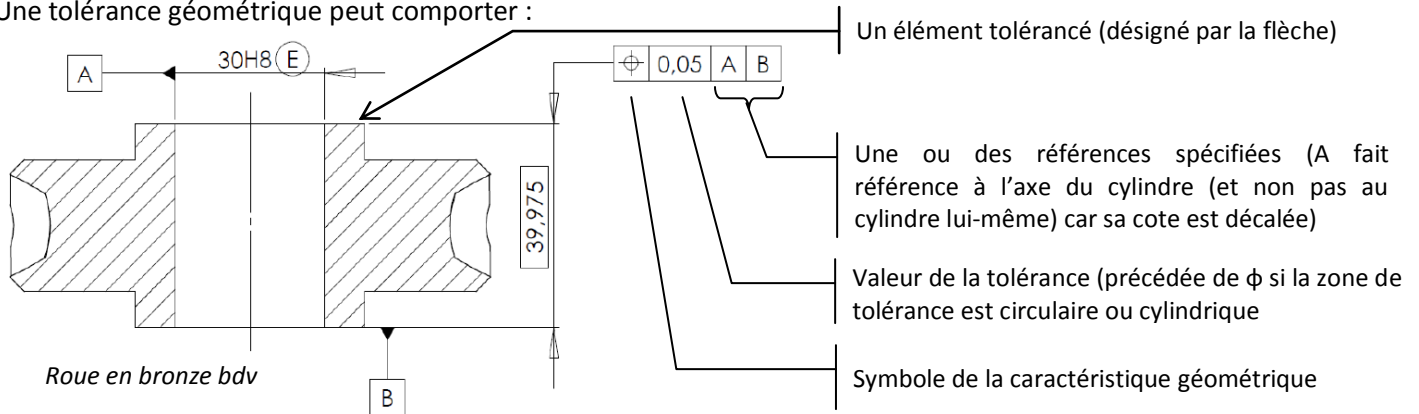
Cela signifie que pour que la pièce soit conforme, il faudra que :

- les valeurs prises par les dimensions locales se trouvent dans l'intervalle de tolérance,
- l'arbre spécifié ne devra jamais dépasser un cylindre parfait de diamètre 120 mm (état du diamètre du calibre considéré au maximum de matière).

3 TOLERANCEMENT GEOMETRIQUE

Les tolérances géométriques limitent les écarts admissibles de l'élément réel (non idéal) par rapport à sa forme, son orientation et sa position en définissant une zone de tolérance à l'intérieure de laquelle l'élément doit être compris.

Une tolérance géométrique peut comporter :

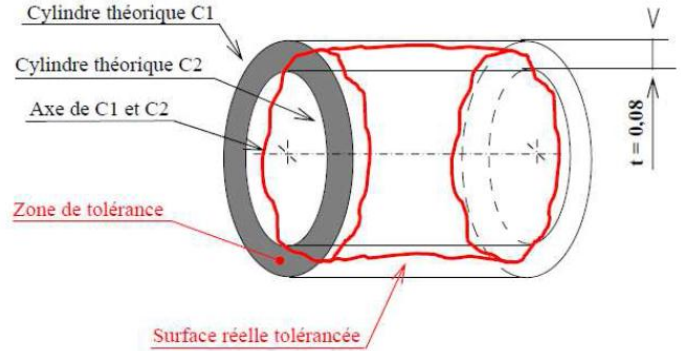
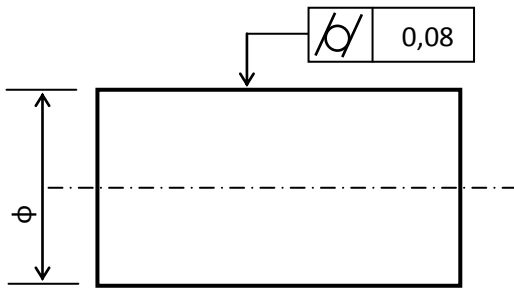


3.1 Tolérances de forme

Les spécifications de forme sont intrinsèques à l'élément toléré (la planéité d'une surface par exemple est indépendante des autres surfaces de la pièce). Elles ne peuvent donc pas faire appel à un ou plusieurs éléments de référence. Ces spécifications dépendent de la forme des zones de contact à coter.

Spécifications de forme pour une surface					
Cas particuliers				Cas généraux	
—					
Rectitude	Planéité	Circularité	Cylindricité	Profil d'une ligne	Profil d'une surface
Mesure au comparateur, à la colonne de mesure, à la machine à mesurer tridimensionnelle (mmt)				Mesure à la mmt	Mesure à la mmt

Exemple d'interprétation d'une tolérance de cylindricité :



Zone de tolérance : espace compris entre 2 cylindres C1 et C2 théoriques coaxiaux dont la différence des rayons est de $t = 0,08$ mm.

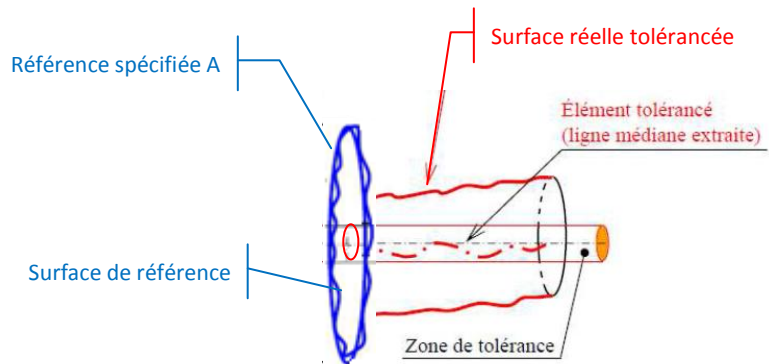
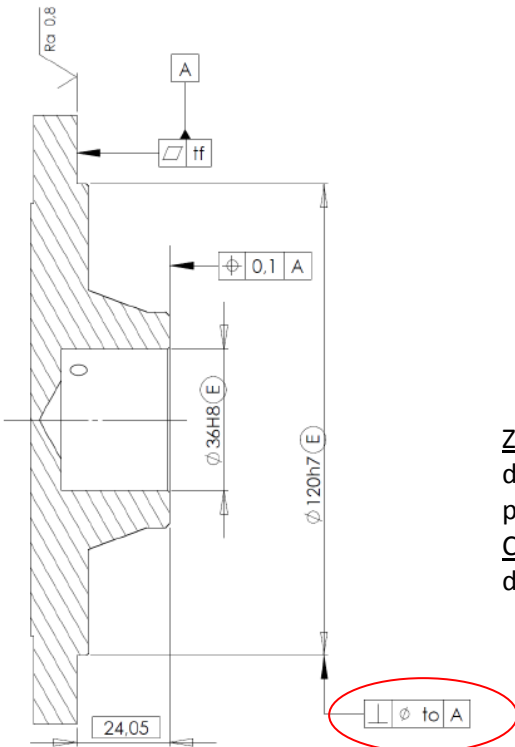
Condition de conformité : la surface réelle tolérancée doit être située dans la zone de tolérance.

3.2 Tolérances d'orientation

Une tolérance d'orientation d'un élément est donnée obligatoirement par rapport à un autre élément pris comme référence.

Symboles	$//$	\perp	\sphericalangle	\frown	\cap
Signification	Parallélisme	Perpendicularité	Inclinaison	Profil d'une ligne	Profil d'une surface

Exemple d'interprétation d'une tolérance de perpendicularité :



Zone de tolérance : cylindre théorique de diamètre « to » (tolérance d'orientation restrictive indiquée sur une partie du document) perpendiculaire à la référence spécifiée A.

Condition de conformité : la ligne médiane du cylindre réel doit être située dans la zone de tolérance.

3.3 Tolérances de position

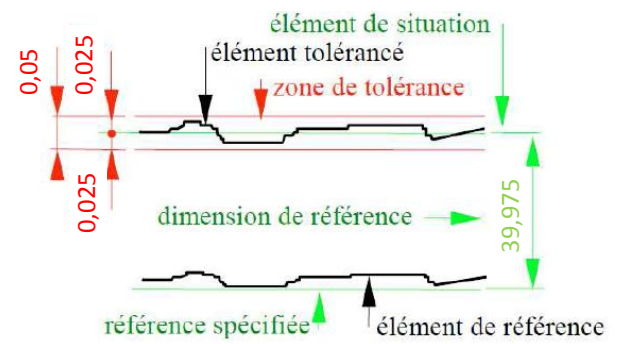
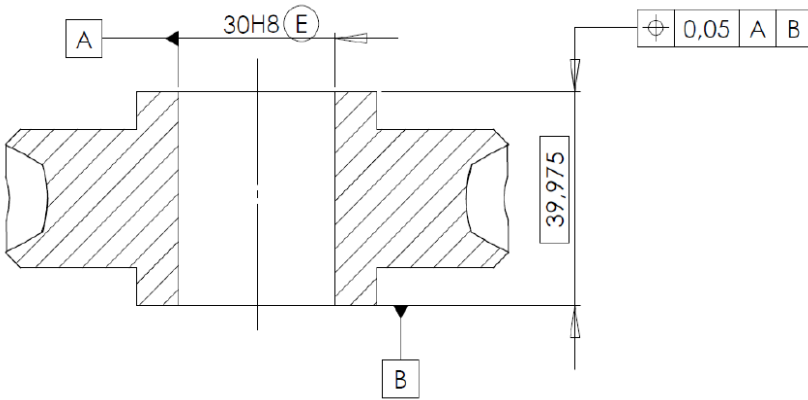
La localisation théorique de l'élément est définie, par rapport au système de référence, au moyen de cotes encadrées.

Remarque : une cote encadrée est l'indication graphique d'une « dimension théorique exacte ». Une dimension théorique exacte définit la position, l'orientation ou le profil théorique exact d'un élément.

La zone de tolérance est répartie également de part et d'autre de cette position théorique exacte.

Symboles	\oplus	\odot	\equiv	\frown	\cap
Signification	Localisation	Coaxialité Concentricité	Symétrie	Profil d'une ligne	Profil d'une surface

Exemple d'interprétation d'une tolérance de localisation :



Zone de tolérance : espace compris entre 2 plans distants de 0,05 mm et dont le plan médian se situe à 39,975 mm de la référence spécifiée B. le plan B est lui-même référencé par rapport à A.

Condition de conformité : la surface réelle tolérancée doit être située dans la zone de tolérance.

4 APPLICATIONS

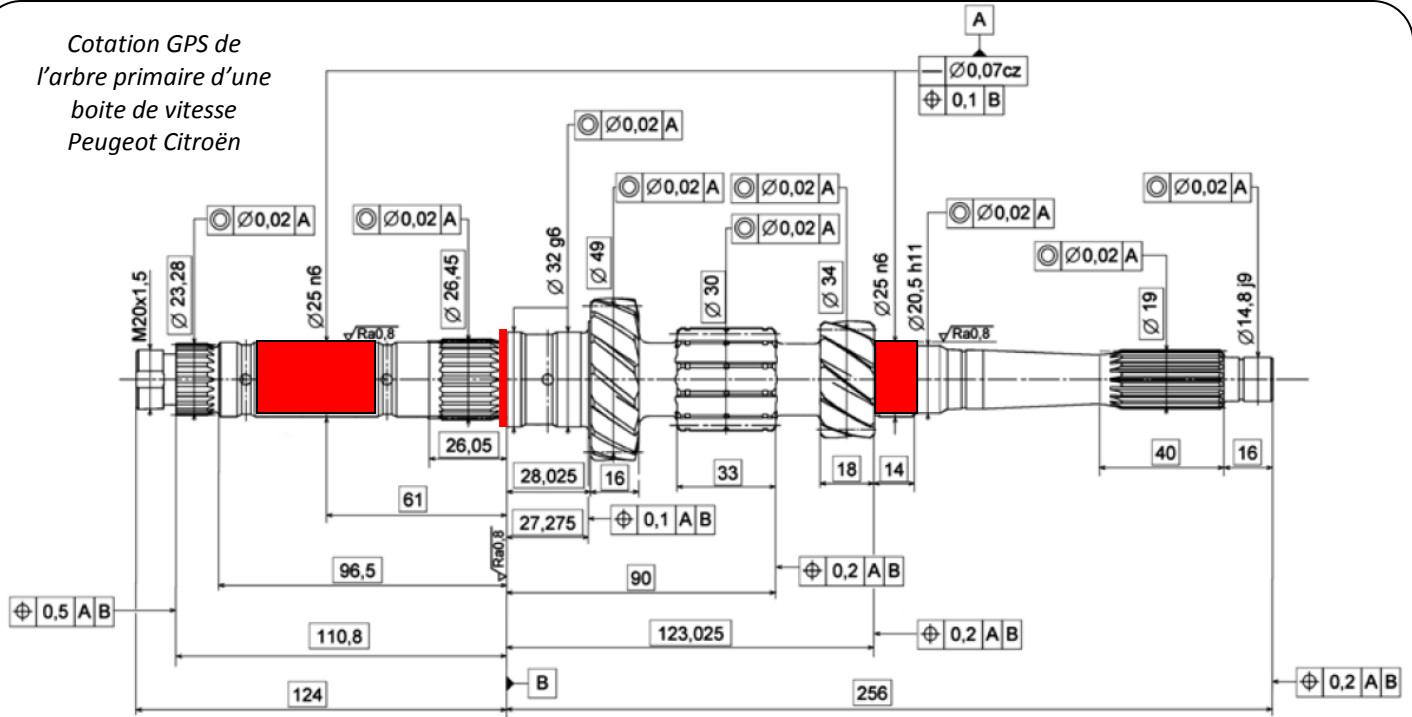
Tableau à compléter pour chaque spécification

Tolérancement normalisé	Analyse d'une spécification par zone de tolérance			
	Éléments non idéaux		Éléments idéaux	
Symbole de spécification <input type="checkbox"/> Forme <input type="checkbox"/> Orientation <input type="checkbox"/> Position <input type="checkbox"/> Battement 	Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence(s) spécifié(s)	Zone de tolérance
Extraits du dessin de définition décrivant entièrement les spécifications	Unique-groupe	Unique-multiple	Simple-commune-système	Simple-composée Contraintes d'orientation et/ou position par rapport à la référence

Q1. Compléter les informations pour les spécifications entourées :

<p>Entretoise du pignon moteur bdv</p>	<p>Unique ligne réelle associée à une surface réputée cylindrique (cylindre coté $\phi 32\ g6$)</p>	<p>Unique ligne associée à la surface réputée cylindrique correspondant à l'alésage intérieur de l'entretoise ($\phi 25,043\ H7$)</p>	<p>Simple Axe idéal définissant le centre du cylindre intérieur de l'entretoise (axe du cylindre contraint tangent du côté libre de matière)</p>	<p>Simple Cylindre de diamètre 0,07 mm autour de l'axe idéal référencé</p>	<p>Contrainte de position : coaxialité</p>
	<p>Unique Ligne réelle associée à une surface réputée cylindrique</p>	<p>Multiple C : surface primaire supposée plane A : surface secondaire supposée plane et \perp à C B : idem et \perp à C et A</p>	<p>Système C : plan idéal contraint tangent du côté libre matière A : plan idéal orthogonal à C, contraint tangent du côté libre matière B : idem</p>	<p>Simple Pavé de côté 0,02 mm débouchant</p>	<p>Contrainte de position : localisation Le centre du pavé est positionné à 10 mm de B et à 5 mm de A (A et B étant référencés par rapport à C) L'axe réel doit être compris dedans.</p>

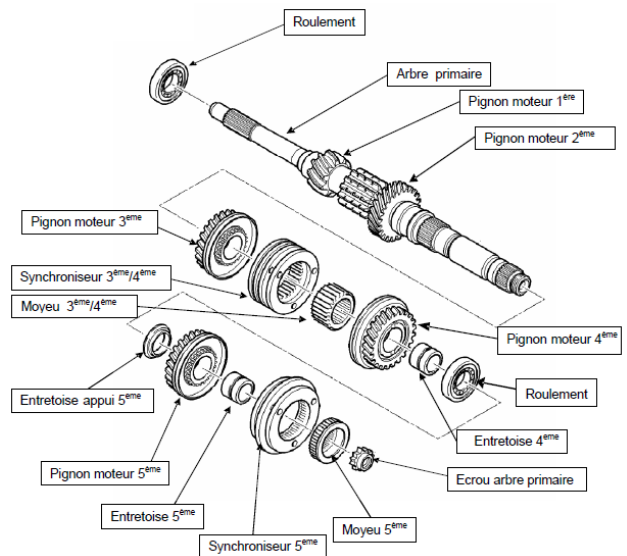
Cotation GPS de l'arbre primaire d'une boîte de vitesse Peugeot Citroën



Q2. Colorier les surfaces de références présentes sur ce plan.

Q3. Justifier la présence de nombreuses spécifications de concentricité.

Pièce en rotation (guidage liaison pivot) avec des roues dentées usinées sur l'arbre qui vont devoir s'engrèner avec d'autres roues.



Q4. Repérer les zones d'implantation des 2 roulements à rouleaux coniques qui serviront à guider l'arbre primaire dans le carter.

Correspondent à la surface de référence A.

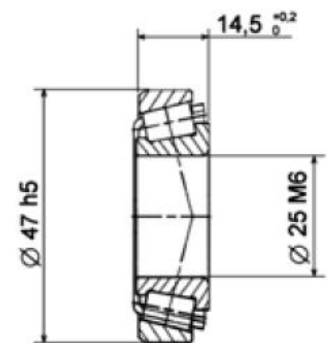
Q5. Estimer de manière qualitative le type d'ajustement mis en place entre l'arbre primaire et la bague intérieure du roulement.

φ 25 M6 n6 → ajustement serré

$$\phi 25 \begin{matrix} 0 & +0,028 \\ -0,013 & +0,015 \end{matrix}$$

au mini : $25 - 25,015 = -0,015$ mm (serrage)

au maxi : $24,987 - 25,028 = -0,041$ mm (serrage)



Roulement à rouleaux coniques pour le guidage de l'arbre primaire

5 QUALIFICATION DU PRODUIT

Avant d'être assemblées ou montées sur le système, **les pièces fabriquées doivent être contrôlées et qualifiées** (validées). Chacune des spécifications dimensionnelles et géométriques doit être vérifiée afin de qualifier le produit. Les opérations de contrôle doivent permettre de définir si la grandeur réelle de l'élément à vérifier est conforme à la valeur exigée.

Ex : on utilise un calibre « rentre ou ne rentre pas » qui crée une des informations suivantes :

- la valeur est plus petite que le mini ;
- la valeur est dans l'intervalle de tolérance ;
- la valeur est plus grande que le maxi.

5.1 Métrologie

La métrologie a pour but de définir la valeur de grandeurs physiques avec un degré d'incertitude aussi faible que nécessaire.

Un instrument de mesure permet d'établir une relation entre la valeur du mesurande (grandeur faisant l'objet de la mesure) et la valeur lue du résultat de la mesure.

La **qualité des appareils** de mesure peut être caractérisée par :

- la **fidélité**, caractérise la dispersion des mesures d'une même grandeur (écart type) ;
- la **justesse**, appareil réputé juste lorsque la moyenne d'un grand nombre de mesure est confondue avec la valeur du mesurande ;
- la **sensibilité**, rapport entre le déplacement de l'indicateur de mesure correspondant à une variation de la grandeur mesurée ;
- la **précision**, caractérise la qualité globale de l'instrument de mesure.

La précision de la cote à mesurer et celle de l'appareil de métrologie utilisé doivent être liées par un rapport suffisamment grand pour que le résultat de la mesure soit significatif.

En sachant que l'appareil de métrologie a dû lui-même être qualifié par un appareil encore plus précis...

La norme ISO 14253 définit les règles de décision pour prouver la conformité à une spécification où intervient notamment l'incertitude de mesure du moyen de contrôle utilisé.

5.2 Les machines à mesurer tridimensionnelles (MMT)

Les moyens de mesure classiques (pied à coulisse, comparateur, équerre, marbre...) sont aujourd'hui complétés par des techniques de mesure tridimensionnelle qui permettent d'accéder à la géométrie des pièces complexes avec une grande précision et une grande rapidité.

Le contrôle en température de ces appareils a permis d'intégrer ces MMT directement dans les ateliers.

Une MMT est constituée de 4 sous-ensembles distincts :

- la **structure de déplacement**, 3 guidages précis en translation ;
- le **système de palpé**, son rôle est de détecter le contact entre le stylet (palpeur) et la pièce, puis d'envoyer une impulsion au système électronique pour l'enregistrement des coordonnées du point ;
- le **système électronique**, recevoir les impulsions du stylet, recevoir les ordres de mouvement...
- le **système informatique** et le **pupitre de commande**, exécution des gammes de contrôle, traitement des informations...

Pour limiter les déformations, les MMT sont d'allure massive, avec des marbres épais et des guidages à patin aérostatiques.

Précision de l'ordre du μm , quelques $1/10^{\text{e}}$ de Newton d'effort (possibilité de palper de très petites pièces sans les déformer).

On trouve désormais sur le marché des MMT portables.

