



**TECHNIQUES  
DE L'INGÉNIEUR**

Réf. : **AG2463 V1**

Date de publication :  
**10 janvier 2017**

# Cotation fonctionnelle des mécanismes

Cet article est issu de : **Génie industriel | Conception et Production**

par **Bernard ANSELMETTI**

## Mots-clés

Norme ISO/CEI | 3D | cotation fonctionnelle | tolérancement

**Résumé** La méthode QUICK GPS permet à un concepteur de faire la cotation fonctionnelle ISO d'une pièce isolée, en connaissant le mécanisme. La méthode comporte 4 étapes:- l'analyse de la mise en position des pièces- la cotation des interfaces- le tolérancement général- la recherche de l'influence des écarts de position des interfaces pour déterminer les défaillances et les maillons à spécifier. Cette méthode est opérationnelle pour des ingénieurs en leur laissant l'entière maîtrise du produit. Elle est très rapide, tant en formation qu'en exécution. Elle permet de standardiser les cotations de l'entreprise, de capitaliser les choix effectués et de faciliter les échanges entre les différents partenaires du projet. Elle peut être appliquée dès l'avant-projet sur les esquisses des futures pièces.

## Keywords

ISO/IEC standard | 3D | functional dimensioning | tolerancing

**Abstract** The QUICK GPS method enables a designer to carry out the ISO functional dimensioning of an isolated part, knowing its mechanism. The method is in four steps: analysis of the setting up of the parts, tolerancing of the interfaces, general tolerancing and looking for the influence of positional deviations of interfaces to identify failures and links between interfaces. This method is operational for engineers, giving them full control of the product. It is very efficient, in both training and execution. It standardizes the tolerancing of the company, capitalizes the choices made and facilitates trading between the different project partners. It can be applied as early as the preliminary design sketches of future parts.

## Pour toute question :

Service Relation clientèle  
Techniques de l'Ingénieur  
Immeuble Pleyad 1  
39, boulevard Ornano  
93288 Saint-Denis Cedex

## Par mail :

infos.clients@teching.com

## Par téléphone :

00 33 (0)1 53 35 20 20

Document téléchargé le : **12/05/2024**

Pour le compte : **7200023220 - universite de lorraine // 193.50.135.4**

© Techniques de l'Ingénieur | Tous droits réservés

# Cotation fonctionnelle des mécanismes

par **Bernard ANSELMETTI**

Professeur des universités

LURPA, ENS Cachan, univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay (Cachan, France)

<b>1. Principe de la méthode QUIK GPS .....</b>	<b>AG 2 463 - 2</b>
1.1 Organigramme de la méthode.....	— 2
1.2 Désignation des pièces du mécanisme.....	— 2
<b>2. Analyse de la mise en position des pièces .....</b>	<b>— 3</b>
2.1 Tableaux de mise en position.....	— 3
2.2 Principaux types de jonctions.....	— 5
2.3 Constitution du dossier technique.....	— 7
<b>3. Cotation des jonctions entre les pièces .....</b>	<b>— 7</b>
3.1 Cotation des surfaces de jonction .....	— 7
3.2 Mode d'emploi du tableau .....	— 7
3.3 Règles complémentaires.....	— 9
3.4 Cotation des jonctions du réducteur .....	— 11
3.5 Mise en position sur plusieurs pièces.....	— 12
<b>4. Tolérancement général.....</b>	<b>— 14</b>
4.1 Tolérancement de toutes les surfaces.....	— 14
4.2 Cotation des surfaces d'assemblage par vis .....	— 15
<b>5. Position relative des jonctions et des surfaces.....</b>	<b>— 15</b>
5.1 Objectif.....	— 15
5.2 Étude des défaillances .....	— 15
5.3 Cotation complète d'une pièce .....	— 16
<b>6. Conclusion.....</b>	<b>— 17</b>
<b>7. Glossaire .....</b>	<b>— 18</b>
<b>Pour en savoir plus .....</b>	<b>Doc. AG 2 463</b>

**L**a cotation fonctionnelle vise à définir les **dessins de définition fonctionnelle** (pièce en fonctionnement). Un dessin de définition est un **document contractuel** entre le client et le fournisseur qui décrit complètement et sans ambiguïté les pièces.

Les spécifications fonctionnelles assurent :

- la montabilité des pièces ;
- l'interchangeabilité et la fabrication indépendante des pièces ;
- le bon fonctionnement du mécanisme et sa durée de vie.

L'objectif de la méthode est de choisir les spécifications et d'allouer les tolérances les plus grandes possibles pour limiter les coûts de fabrication et de contrôle.

Le langage [1] est défini par les normes ISO de cotation du concept GPS (**Geometrical Product Specification**) adoptées par toutes les entreprises de mécanique générale et de précision, surtout dans le contexte de l'externalisation des productions. Les principales normes sont ISO 1101 (2013), ISO 5459 (2011) et ISO 2692 (2014).

La méthode de cotation fonctionnelle QUICK GPS a été développée au Laboratoire universitaire de recherche en production automatisée de l'ENS Cachan depuis 1997. Elle est parfaitement adaptée pour exploiter les cotations générées, dans le contexte de continuité numérique [2].

# 1. Principe de la méthode QUICK GPS

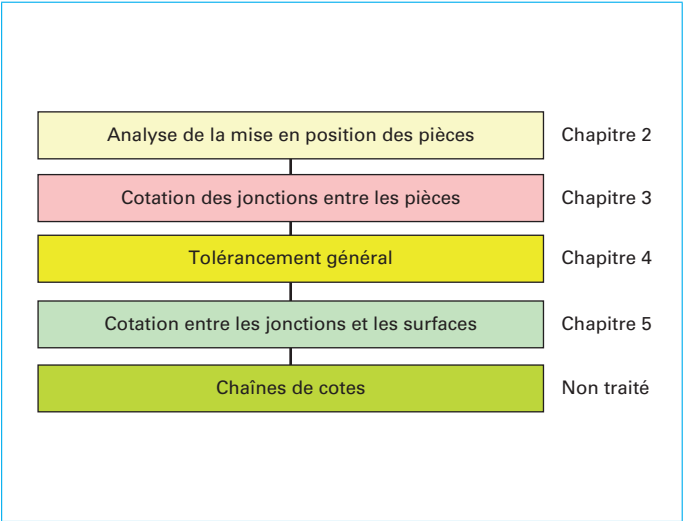
## 1.1 Organigramme de la méthode

Le concepteur doit connaître globalement le mécanisme et étudier tour à tour chacune des pièces, en suivant la procédure décrite en figure 1. Les quatre premières étapes de l'organigramme font l'objet d'un chapitre dans cet article.

La cotation porte principalement sur les jonctions que possède la pièce étudiée avec les pièces voisines et sur les maillons entre ces jonctions.

Les tolérances seront choisies ultérieurement et consolidées à l'aide d'un logiciel d'analyse des tolérances ou par un calcul de chaînes de cotes pour vérifier que les exigences fonctionnelles du mécanisme sont bien satisfaites.

Se reporter aux informations des sources bibliographiques [1] et [2].



## 1.2 Désignation des pièces du mécanisme

La méthode impose de connaître la nomenclature du mécanisme (noms des pièces et composants du commerce). Pour simplifier les

notations, donner à chaque pièce un alias formé de une ou deux lettres (exemple : alias c pour le corps).

La figure 2 illustre l'application de la démarche à un réducteur.

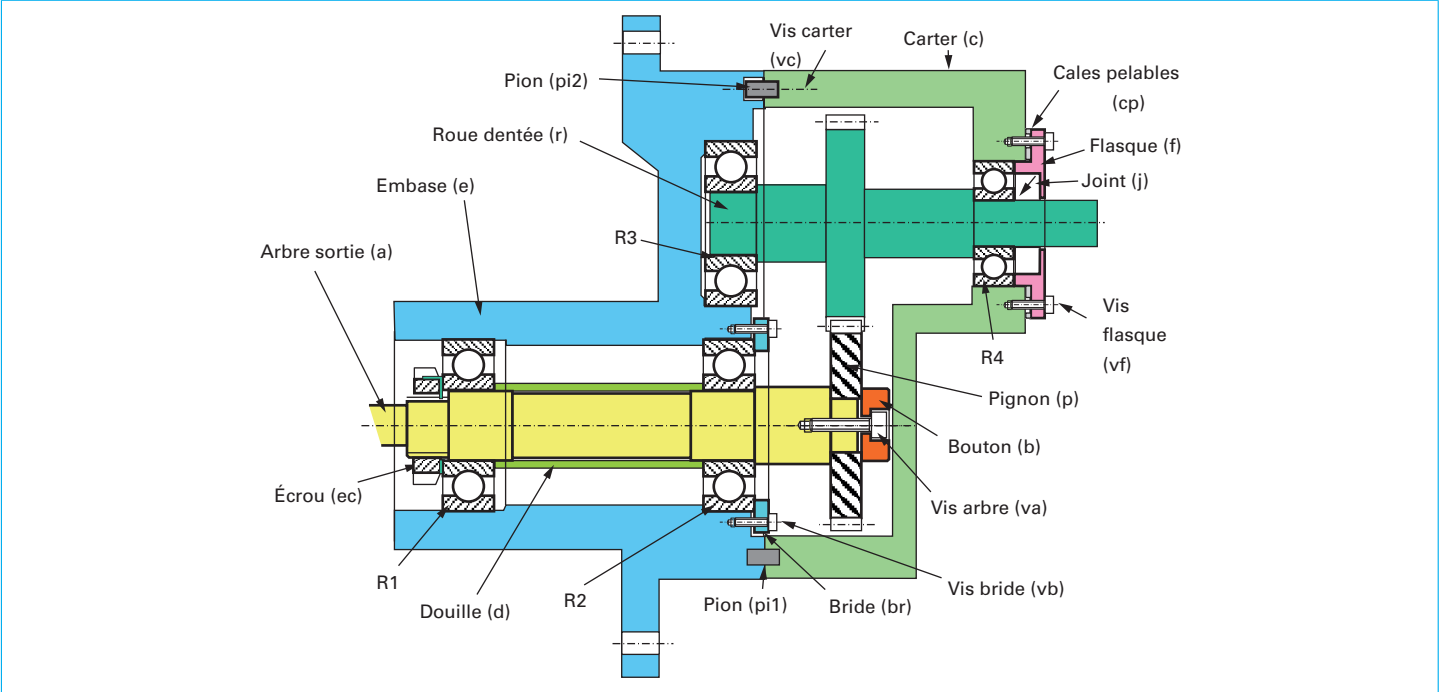


Figure 2 - Réducteur étudié

## 2. Analyse de la mise en position des pièces

### 2.1 Tableaux de mise en position

#### 2.1.1 Structure du mécanisme

Le mécanisme est décomposé en « blocs ». Il y a un bloc fixe et un bloc pour chaque sous-ensemble de pièces cinématiquement liées. Un composant acheté comme un moteur est considéré comme un bloc.

Dans chaque bloc, choisir la base qui est la première pièce sur laquelle s'assemblent ensuite les autres pièces ou les autres blocs. Définir ensuite l'ordre de mise en position des pièces, une à une au cours de l'assemblage.

La structure du mécanisme peut être décrite dans un graphe (figure 3). Chaque bloc est décrit sur une ligne en indiquant la base du bloc à gauche. Les pièces sont ensuite rangées de gauche à droite, si possible dans l'ordre de mise en position : chaque pièce doit être mise en position sur des surfaces qui appartiennent à des pièces du bloc situées à sa gauche sur la même ligne.

Les composants (vis, pions, roulements...) ne sont pas forcément représentés dans ce graphe de la figure 3.

#### 2.1.2 Définition de la mise en position des pièces

Les pièces sont mises en position les unes sur les autres, par des surfaces de contact. Ces surfaces forment la jonction entre les deux pièces. Chaque jonction est composée des liaisons primaire, secondaire et tertiaire. La liaison prépondérante est celle qui supprime le plus de degrés de liberté en rotation (sauf la liaison sphérique qui doit être considérée comme primaire).

Il est conseillé de noter A, B, C, les surfaces de mise en position principale de la pièce étudiée, en respectant l'ordre de prépondérance primaire, secondaire et tertiaire. La figure 4 illustre la mise en position du carter sur l'embase.

Le plan primaire A du carter vient en contact avec le plan D de l'embase.

Un pion (pi1), serré dans le carter, centre le cylindre B du carter avec le cylindre E de l'embase. Il y a du jeu dans l'embase.

Un pion (pi2), serré dans le carter, centre le cylindre C du carter avec la rainure F de l'embase. Il y a du jeu dans l'embase.

Les surfaces de références A, B, C constituent le système de références principal du carter.

Les surfaces d'appui D, E, F constituent un système de références auxiliaire pour l'embase.

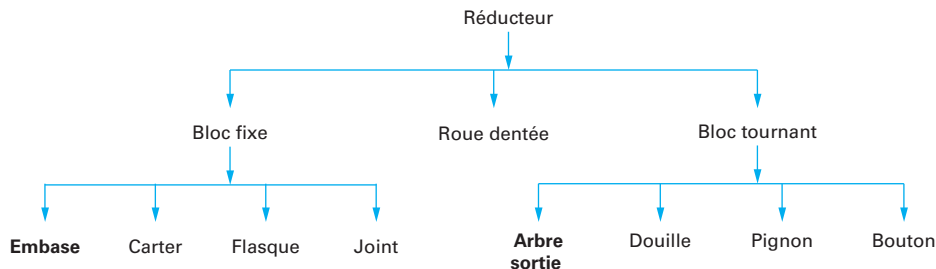


Figure 3 - Graphe du mécanisme

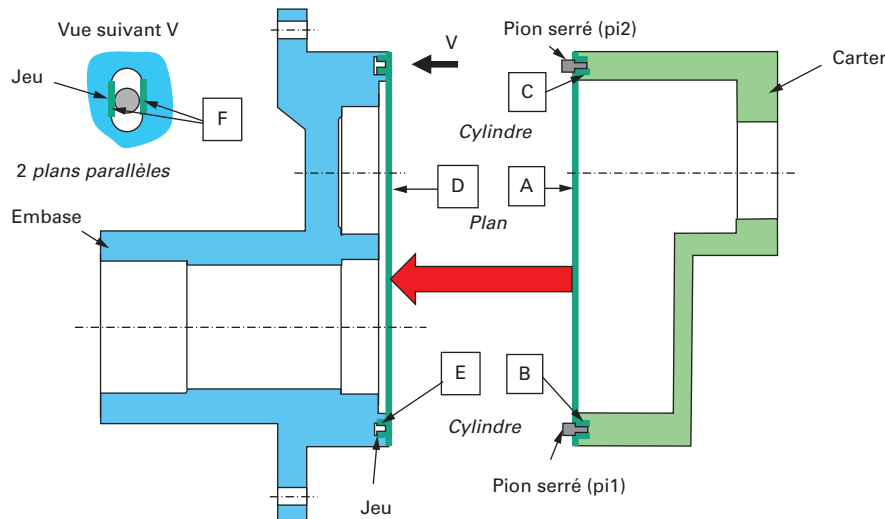


Figure 4 - Mise en position du carter

**Remarques**

F désigne l'ensemble des deux plans parallèles de la rainure de l'embase.

Les vis ne participent pas à la mise en position du carter, car tous les degrés de liberté sont déjà bloqués par le plan et les deux alésages.

2.1.3 Entité de liaison

- Chaque liaison est assurée :
- soit par une surface simple (plan, cylindre, cône, sphère, surface) ;
  - soit par l'association de surfaces en **entités de positionnement** (figure 5).

Cette liste est complète au sens où les autres entités pouvant être rencontrées sont considérées comme une surface quelconque (continue ou discontinue).

2.1.4 Représentation de la mise en position par un tableau

La mise en position d'une pièce ou d'un bloc peut être décrite à l'aide d'un tableau.

Le tableau de la figure 6 correspond à la mise en position du carter sur l'embase décrite au paragraphe 2.1.2.

La **première ligne** comporte le nom de la pièce, son alias, le numéro de l'état (si la pièce a plusieurs positions) et le nom de l'auteur du tableau (traçabilité).

En-dessous, les trois colonnes correspondent respectivement aux liaisons primaire, secondaire et tertiaire (le cas échéant).

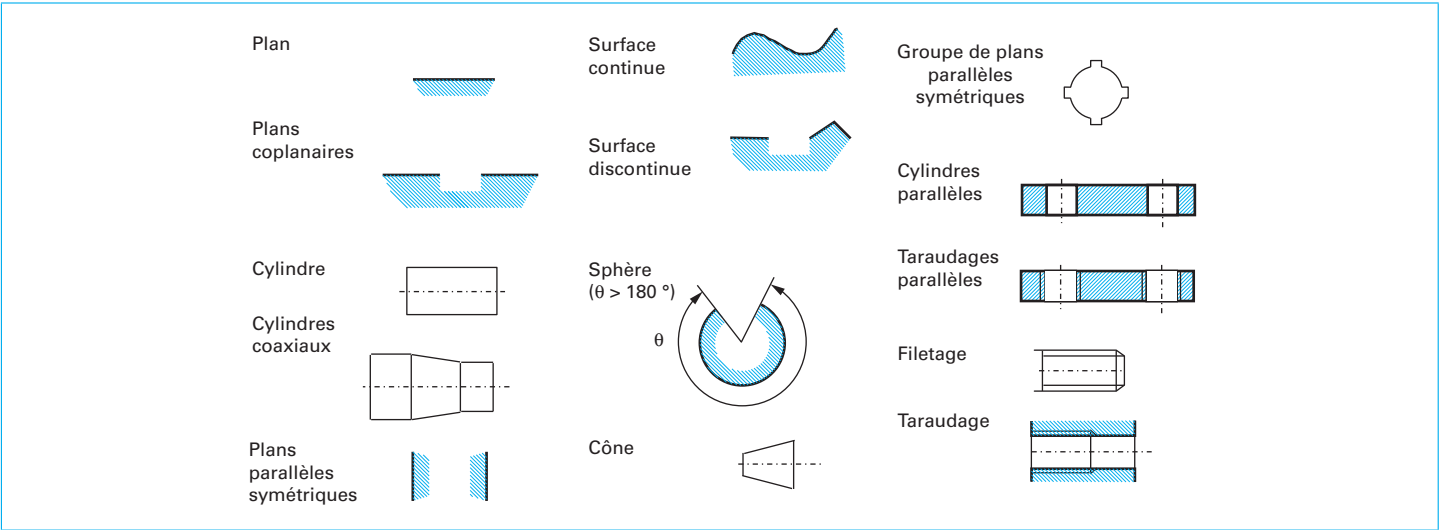


Figure 5 – Liste des entités de positionnement

	Pièce ou bloc :		Alias :	État :	Auteur :	
1. Nom de la pièce	Carter		c	1	Martin	
2. Type d'entité de liaison	Plan		Cylindre	Cylindre		
3. Surface de mise en position	A	c	B	c	C	c
4. Type d'interface	Contact		Serrage Pion 3,99 ± 0,01 Jeu		Serrage Pion 3,99 ± 0,01 Jeu	
5. Type d'entité de liaison	Plan		Cylindre		2 plans // symétriques	
6. Surface et pièce d'appui	D	e	E	e	F	e
	Liaison primaire		Liaison secondaire		Liaison tertiaire	

Figure 6 – Tableau de mise en position du carter

Chaque colonne comprend :

- **ligne 2**, la désignation du type d'entité de liaison de la pièce étudiée ;
- **ligne 3**, le nom de la surface, l'alias de la pièce considérée et, éventuellement, les numéros des surfaces de l'entité ;
- **ligne 4**, le type d'interface pour chaque liaison (généralement jeu, serrage, contact ou composant d'interface) ;
- **ligne 5**, la désignation du type d'entité de liaison de la pièce d'appui ;
- **ligne 6**, le nom de la surface d'appui, l'alias de la pièce d'appui et, éventuellement, les numéros des surfaces de l'entité.

## 2.2 Principaux types de jonctions

### 2.2.1 Mise en position avec un groupe de surfaces

Une liaison peut être assurée par plusieurs surfaces qui constituent une entité. La jonction du flasque sur le carter comporte trois liaisons : le plan primaire A du flasque vient en contact avec le plan D du carter (figure 7). Le cylindre B du flasque est centré dans le cylindre E du carter. Il y a du jeu dans cette liaison. Les 6 vis CHC M5 passent avec du jeu dans les 6 trous C du flasque et sont serrées dans les 6 taraudages F du carter.

Les surfaces de références A, B, C du flasque constituent le système de références principal du flasque. Les surfaces d'appui D, E, F constituent un système de références auxiliaire pour le carter.

#### Remarque

C désigne le groupe des 6 cylindres (répétition circulaire) recevant les vis.

F représente les 6 taraudages.

Les vis participent à la mise en position du carter, car tous les degrés de liberté ne sont pas bloqués par le plan primaire et le cylindre secondaire.

### 2.2.2 Mise en position sur deux pièces différentes

La mise en position de la roue dentée (figure 8) est réalisée sur deux pièces différentes.

Les deux cylindres coaxiaux A de la roue dentée sont centrés respectivement dans les deux alésages G de l'embase et du carter à l'aide de deux roulements. Les roulements R3 et R4 sont montés avec du jeu dans leur alésage et serrés sur les portées de la roue dentée. Le plan B de la roue dentée est positionné axialement par rapport au plan H de l'embase à l'aide du roulement R3.

Les surfaces de références A et B constituent le système de références principal de la roue dentée. Les surfaces d'appui G et H constituent virtuellement un système de références auxiliaire pour le sous-ensemble formé par le carter et l'embase. Mais, comme ces surfaces n'appartiennent pas à une seule pièce, il n'y a pas directement un système de références auxiliaire sur chaque pièce.

### 2.2.3 Mise en position d'un bloc

Un bloc est constitué pour chaque sous-ensemble de pièces cinématiquement liées, afin de décrire globalement sa mise en position.

Le bloc de sortie (figure 9) est constitué de tous les éléments tournants avec l'arbre de sortie :

- arbre de sortie ;
- pignon ;
- bouton ;
- douille ;
- composants standard de liaison.

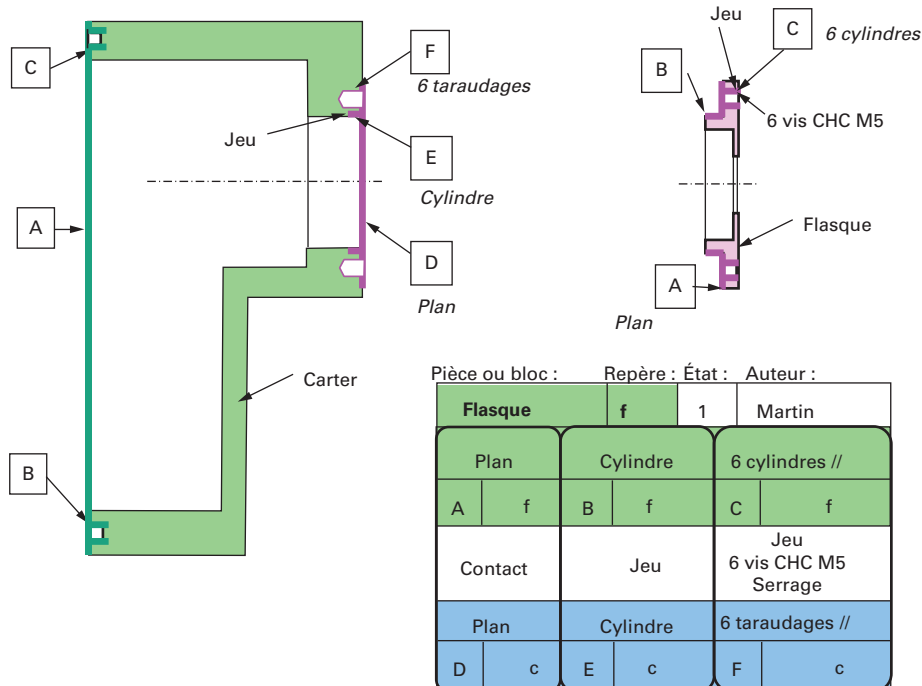


Figure 7 – Mise en position du flasque

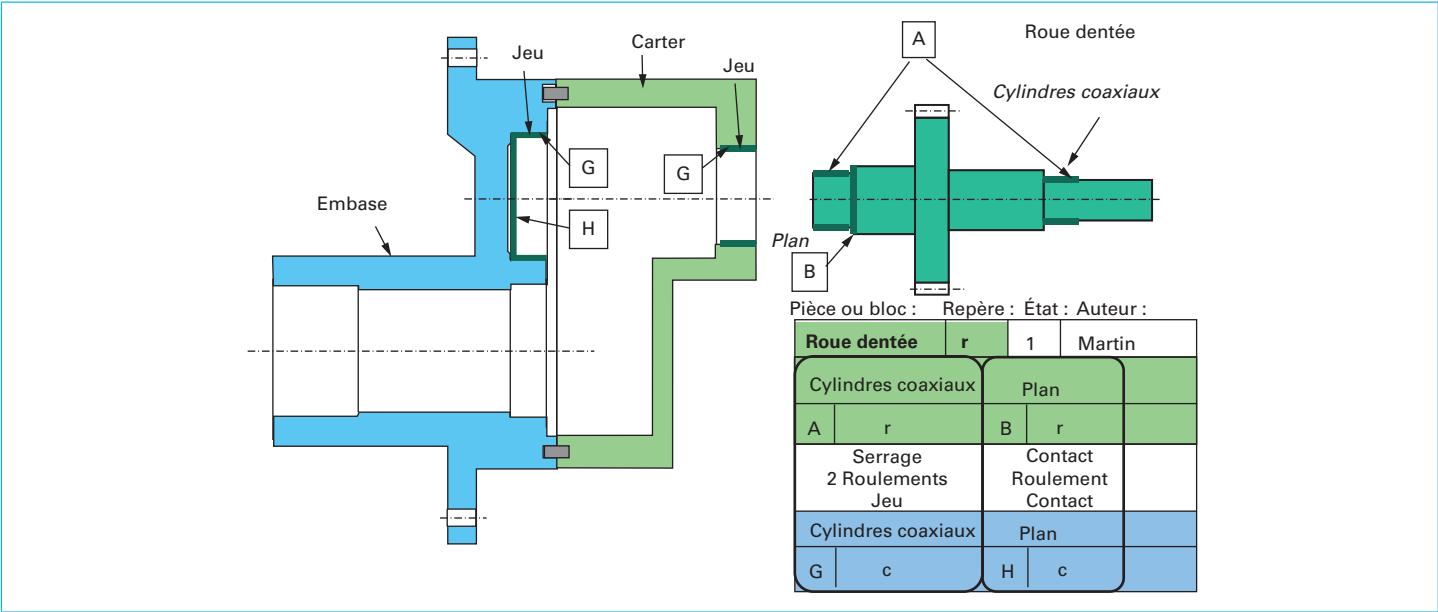


Figure 8 – Mise en position de la roue dentée

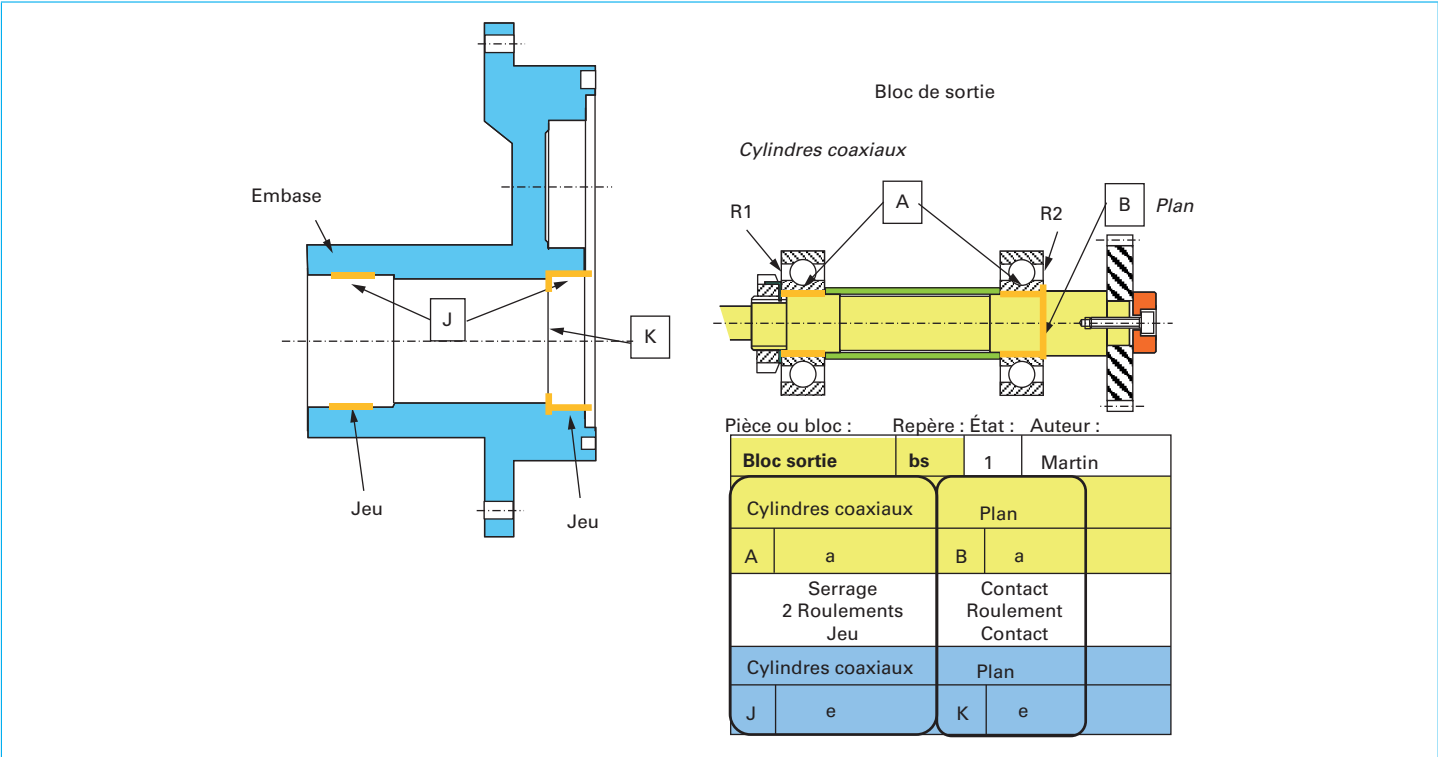


Figure 9 – Mise en position du bloc de sortie

Les roulements sont des composants de liaison du bloc avec le sous-ensemble fixe. Généralement, les roulements sont associés au bloc qui impose la distance axiale entre les roulements.

Les deux cylindres coaxiaux A de l'arbre de sortie sont centrés respectivement dans les deux alésages J de l'embase à l'aide de deux roulements R1 et R2 qui sont montés avec du jeu dans leurs alésages et serrés sur les portées de l'arbre de sortie.

Le plan B de l'arbre de sortie est positionné axialement par rapport au plan K de l'embase à l'aide du roulement R2. Les surfaces de références A, B constituent le système de références principal du bloc de sortie. Les surfaces d'appui J et K constituent un système de références auxiliaire pour l'embase.

Il faut ensuite poursuivre l'étude de la mise en position de chacune des pièces à l'intérieur du bloc.

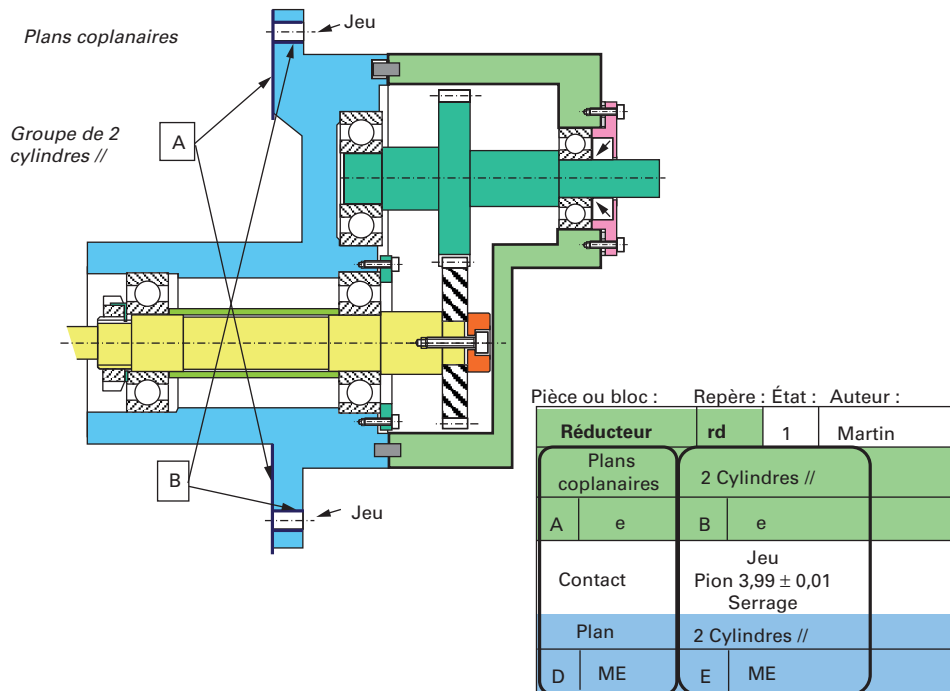


Figure 10 – Mise en position du mécanisme dans le milieu extérieur

### 2.2.4 Mise en position du mécanisme

Le mécanisme est fixé sur le milieu extérieur par des surfaces appartenant à une ou plusieurs pièces (figure 10). Cette mise en position est normalement imposée par le concepteur responsable de l'implantation du réducteur dans son environnement extérieur (machine, véhicule...).

#### Remarque

Si les surfaces d'appui ne sont pas connues, mettre l'indication « ME » pour « Milieu extérieur », sur la dernière ligne du tableau de mise en position.

Les plans coplanaires A de l'embase sont sans doute en appui plan sur un bâti hors du domaine de l'étude qui peut être schématisé ou non. Les deux trous parallèles B positionnent le mécanisme avec du jeu.

### 2.3 Constitution du dossier technique

Le dossier technique du produit comporte à cet instant le dessin d'ensemble avec la nomenclature (figure 2), le graphe donnant la structure du mécanisme (figure 3) et l'ensemble des tableaux de mise en position (figures 7, 8, 9 et 10).

## 3. Cotation des jonctions entre les pièces

### 3.1 Cotation des surfaces de jonction

La figure 11 définit la cotation générique à recopier sur le dessin de définition pour chaque type d'entité primaire, secondaire ou tertiaire. Cette cotation garantit la montabilité et la qualité de la liaison entre les pièces avec l'approche **QUICK GPS**.

### 3.2 Mode d'emploi du tableau

La figure 12 illustre le principe de cotation de la jonction entre deux pièces, avec le tableau de mise en position du carter sur l'embase figure 6. Ce tableau récapitule les entités primaire, secondaire et tertiaire de la pièce étudiée et des pièces d'appui. Sur chaque pièce, il faut simplement recopier le schéma de cotation générique de l'entité correspondante donné figure 11, en respectant les noms des surfaces choisies dans le tableau.

La partie supérieure du tableau permet de spécifier la jonction du côté carter (figure 20), la partie inférieure du tableau donne la cotation de la pièce d'appui, c'est-à-dire de l'embase (figure 19).





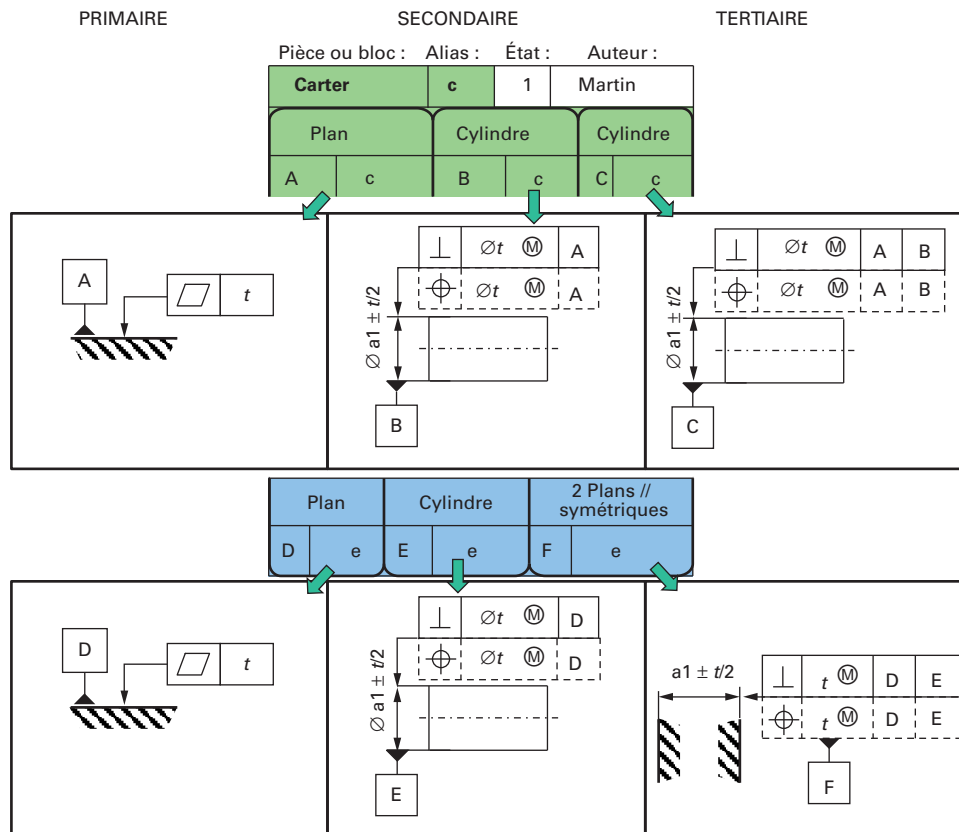


Figure 12 – Principe de cotation de la jonction des deux pièces

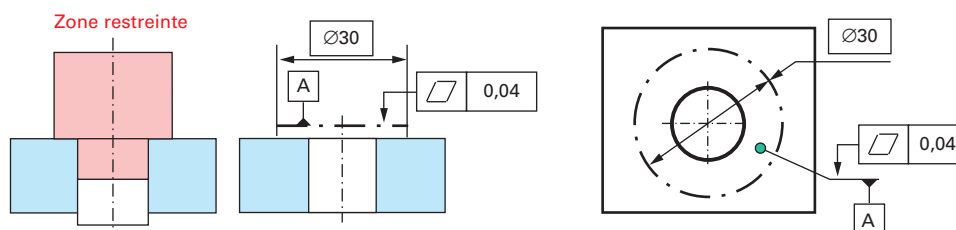


Figure 13 – Surface restreinte

### 3.3 Règles complémentaires

#### 3.3.1 Règle 1 : limitation des surfaces (zone restreinte)

Lorsque seule une partie de la surface est utile pour la jonction, la spécification et la référence sont limitées à une zone restreinte représentée par un trait mixte fort (figure 13).

#### 3.3.2 Règle 2 : choix d'une spécification d'orientation ou de position

Dans certains cas, la cotation générique, définie figure 11, impose par défaut une orientation. Toutefois, si la surface toléranc-

cée est parallèle à une des références, la spécification est une position (dessinée en pointillée) qui impose également une cote encadrée entre la surface spécifiée et la référence (figure 14).

Dans la figure 15a, le cylindre secondaire B ne peut pas être localisé par rapport au plan A, mais le cylindre tertiaire C est parallèle à B. Il doit être localisé par rapport au système de références A|B avec une cote encadrée.

Dans la figure 15b, le plan secondaire B est parallèle à A et doit être localisé par rapport au cylindre A.

Dans la figure 15c, le plan médian tertiaire C est parallèle à B et doit être localisé par rapport au système de références A|B.

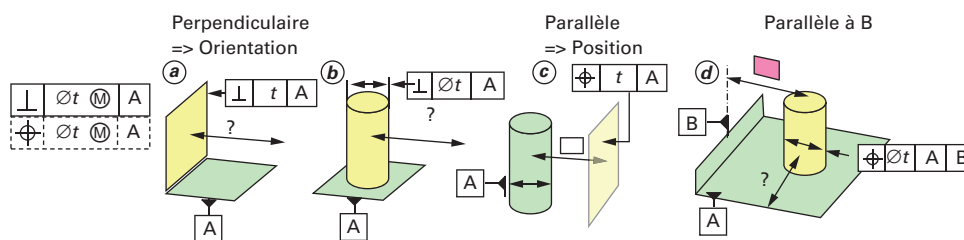


Figure 14 – Choix de l'orientation ou de la position

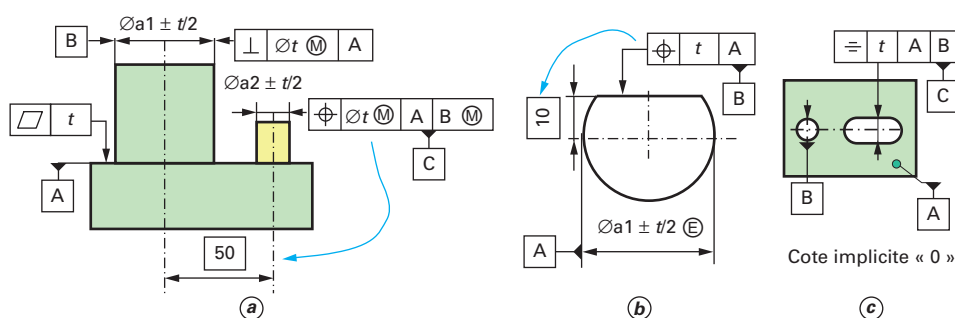


Figure 15 – Cas d'emploi d'une spécification de position

### 3.3.3 Règle 3 : choix du symbole

Le symbole de perpendicularité peut éventuellement être remplacé par un symbole d'inclinaison, si l'entité est inclinée par rapport à une des références :  $\angle$ .

Le symbole de localisation peut éventuellement être remplacé par une symétrie ou une coaxialité si la surface spécifiée est centrée sur une référence :  $\div$ ,  $\odot$ .

### 3.3.4 Règle 4 : application du modificateur maximum de matière

Si la référence ou l'élément tolérancé est une entité constituée de cylindres ou de plans parallèles symétriques et, s'il y a du jeu, mettre un modificateur  $\textcircled{M}$ , car c'est au maximum de matière que l'assemblage sera critique (figure 16) et mettre la tolérance à 0, ce qui permet d'augmenter l'intervalle de tolérance sur le diamètre ou la largeur de l'entité.

Si la liaison est sans jeu, donc **avec serrage** (cas des filetages notamment) ou auto-centrée (palier hydrodynamique), il n'y a pas de maxi matière.

### 3.3.5 Règle 5 : projection représentant un élément serré

Lorsqu'un pignon est serré dans un alésage (figure 17), c'est la partie externe du pignon qui est fonctionnelle en assurant le centrage avec l'autre pièce. Le pignon est simulé en « projetant » l'axe de l'alésage à l'extérieur de la pièce sur une longueur X correspondant au dépassement du pignon. La zone de tolérance comporte un modificateur  $\textcircled{P}$ . Lorsque le pignon est utilisé comme référence, mettre également  $\textcircled{P}$  sur la référence.

Le principe est le même pour une vis serrée dans un taraudage. La longueur X de projection correspond à l'épaisseur de la pièce à serrer.

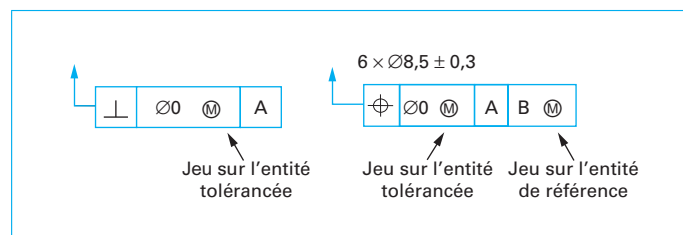


Figure 16 – Ajout d'un modificateur sur la surface avec jeu

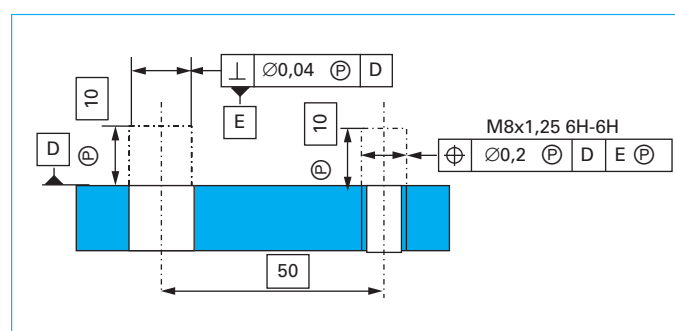


Figure 17 – Tolérancement en plage projetée

### 3.3.6 Règle 6 : cotation des pièces minces

La cotation en localisation convient pour une pièce indéformable, avec un plan de contact modélisé par un plan tangent. Pour une pièce mince qui se déforme lors de l'assemblage, il suffit d'une simple cote, au sens des dimensions locales, sans l'exigence de l'enveloppe (figure 18).

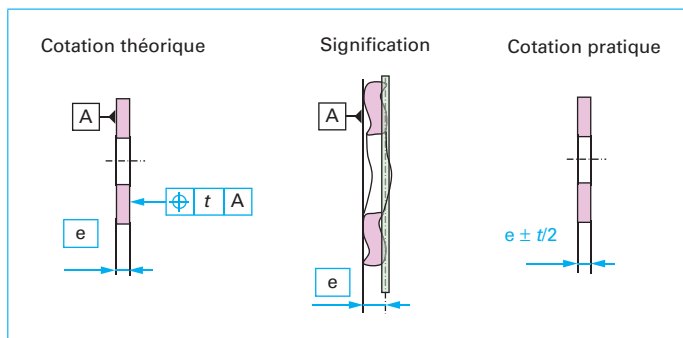


Figure 18 – Cotation des pièces minces

### 3.4 Cotation des jonctions du réducteur

Le tableau de mise en position du carter sur l'embase décrit à la figure 11 impose la cotation de l'embase (figure 19) et du carter (figure 20).

Le plan primaire est D, le cylindre secondaire est E avec du jeu (avec maxi matière) et la rainure tertiaire est F avec du jeu (avec maxi matière).

Pour le carter, le plan primaire est A. Le cylindre secondaire reçoit le pion  $3,99 \pm 0,01$  avec serrage et avec une perpendicularité dans la plage de projection de B. Le cylindre tertiaire C reçoit le pion  $3,99 \pm 0,01$  avec serrage. Le cylindre tertiaire est localisé dans la plage de projection de C et avec une référence B également sur la plage de projection du pion.

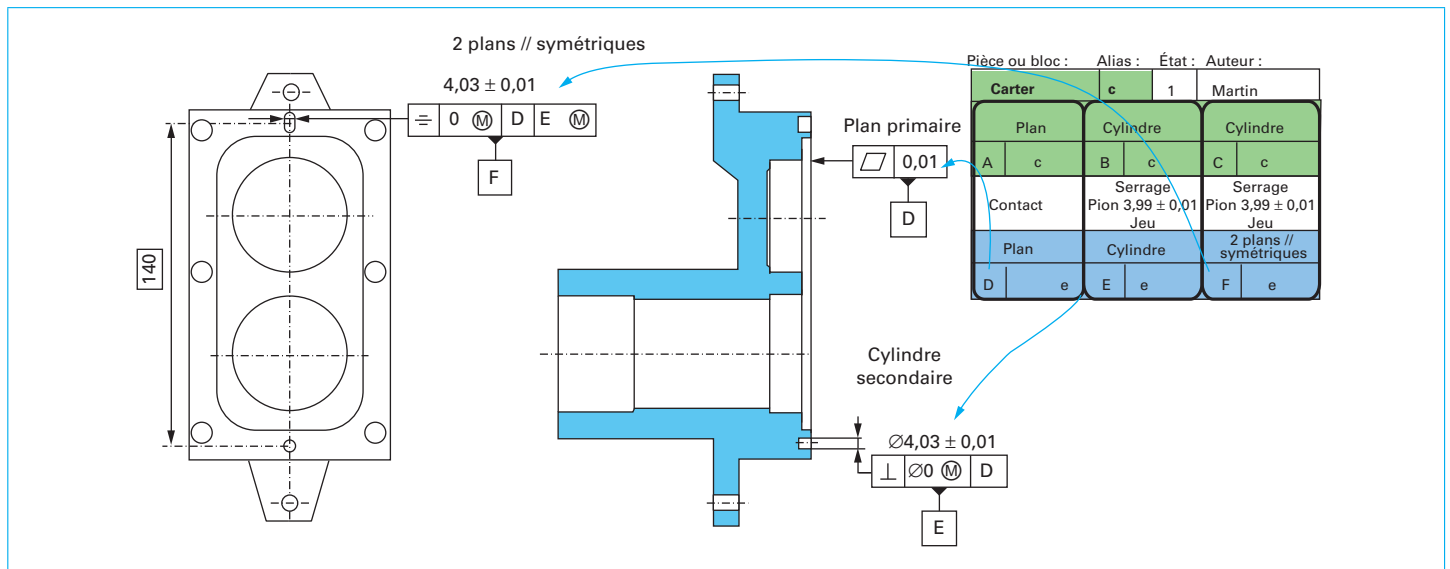


Figure 19 – Cotation de la jonction de l'embase avec le carter

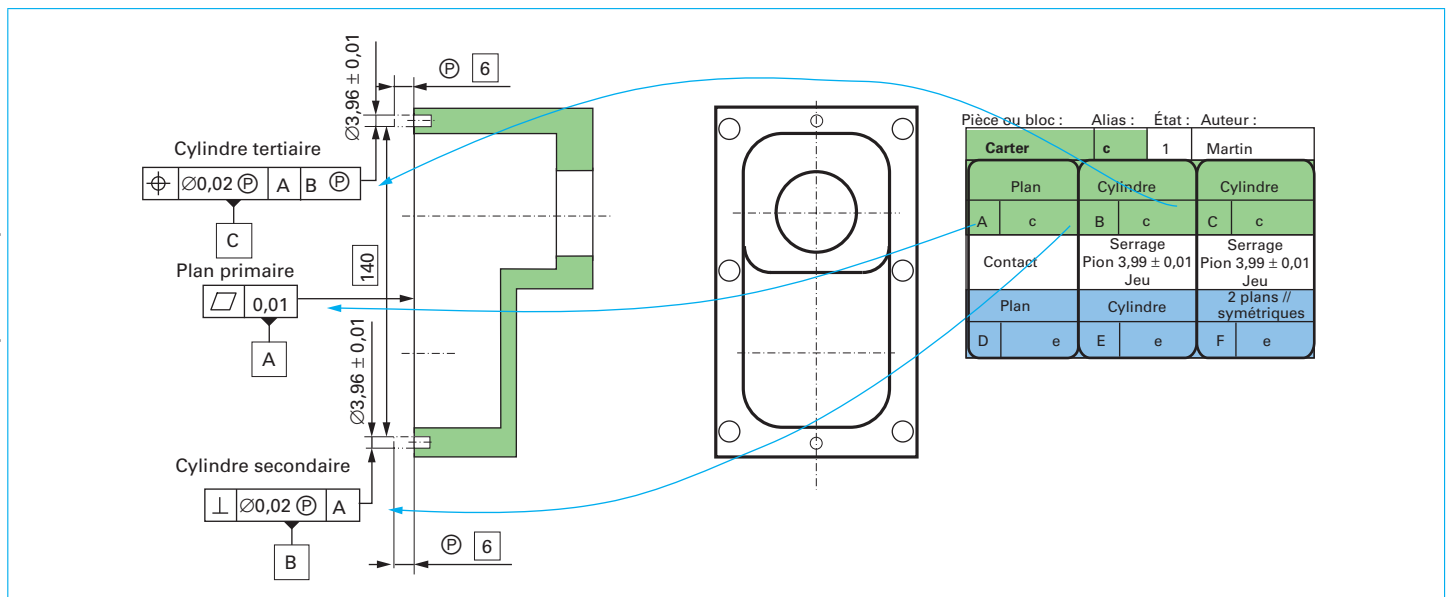


Figure 20 – Cotation de la jonction du carter avec l'embase

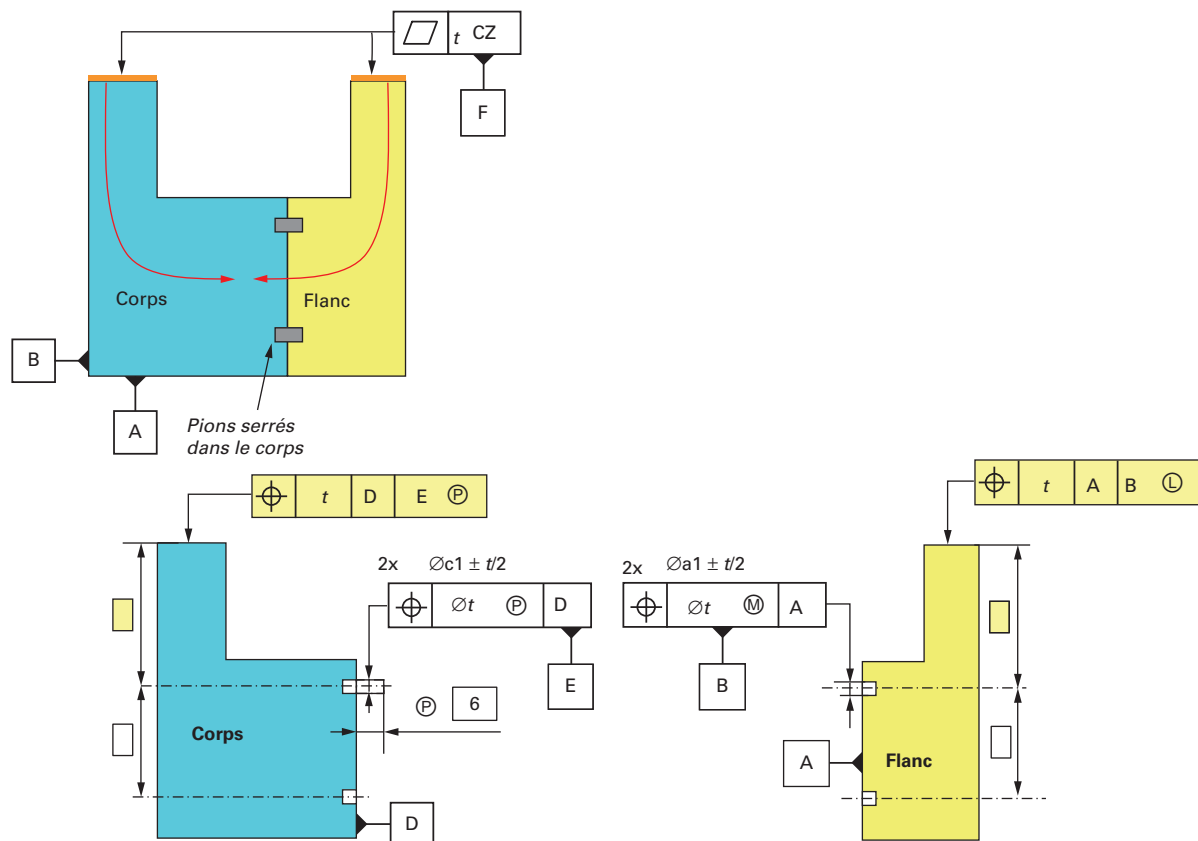


Figure 21 – Entité sur deux pièces différentes

### 3.5 Mise en position sur plusieurs pièces

#### 3.5.1 Surface spécifiée sur des pièces différentes

Lorsqu'une pièce est en appui sur plusieurs pièces différentes, les spécifications données par le tableau de la figure 11 sont imposées entre des surfaces qui appartiennent à des pièces différentes.

Si l'une des entités de liaison est constituée de plusieurs surfaces appartenant à deux pièces différentes, il suffit de localiser chaque surface par rapport aux systèmes de références relié à la pièce qui porte l'autre surface, avec un minimum de matière  $\textcircled{L}$  s'il y a du jeu ou une zone projetée  $\textcircled{P}$  s'il y a un pion serré.

La figure 21 présente une entité primaire réalisée par deux plans coplanaires appartenant à des pièces différentes. La planéité en zone commune sur le sous-ensemble formé par le corps et le flanc impose, sur chaque plan, une localisation par rapport à la jonction commune entre les deux pièces.

Les pions étant serrés dans le corps, l'entraxe des trous est vérifié sur le prolongement des axes des trous dans la plage de projection. La référence E sera aussi déterminée sur cette projection.

Il y a du jeu entre les pions et le flanc. Le respect de l'exigence de planéité en zone commune sera critique s'il y a beaucoup de jeu entre les deux pièces, c'est-à-dire au minimum de matière  $\textcircled{L}$  (les pièces pourront flotter...). Il faut donc mettre un modificateur au minimum de matière sur les éléments avec jeu de la jonction entre les deux pièces (référence B).

#### 3.5.2 Références sur des pièces différentes

Si les références primaire, secondaire et tertiaire appartiennent à des pièces différentes, il est nécessaire d'assurer la position ou l'orientation relative de ces surfaces en passant par la jonction entre les pièces.

À titre d'exemple, à la figure 22, le plan primaire G appartient au corps et le plan secondaire H au flanc. La perpendicularité de H par rapport à G impose, sur chaque plan, une orientation par rapport à la jonction commune entre les deux pièces.

Dans cet assemblage, l'orientation relative des deux plans G et H est à respecter autour d'un axe perpendiculaire à la vue. Pour le corps, le plan D est donc suffisant pour assurer l'orientation du plan G. Pour le flanc, A est suffisant pour assurer l'orientation du plan H.

#### 3.5.3 Application à la roue dentée

La mise en position de la roue dentée, représentée à la figure 8, se fait à la fois sur le carter et sur l'embase. La cotation de la roue dentée porte sur une entité formée par deux cylindres coaxiaux spécifiés en zone commune avec un plan secondaire perpendiculaire (figure 23).

La cotation du sous-ensemble d'appui est très similaire : G est une entité formée par deux cylindres coaxiaux mais appartenant à des pièces différentes. G est donc une référence commune pour la perpendicularité du plan H.

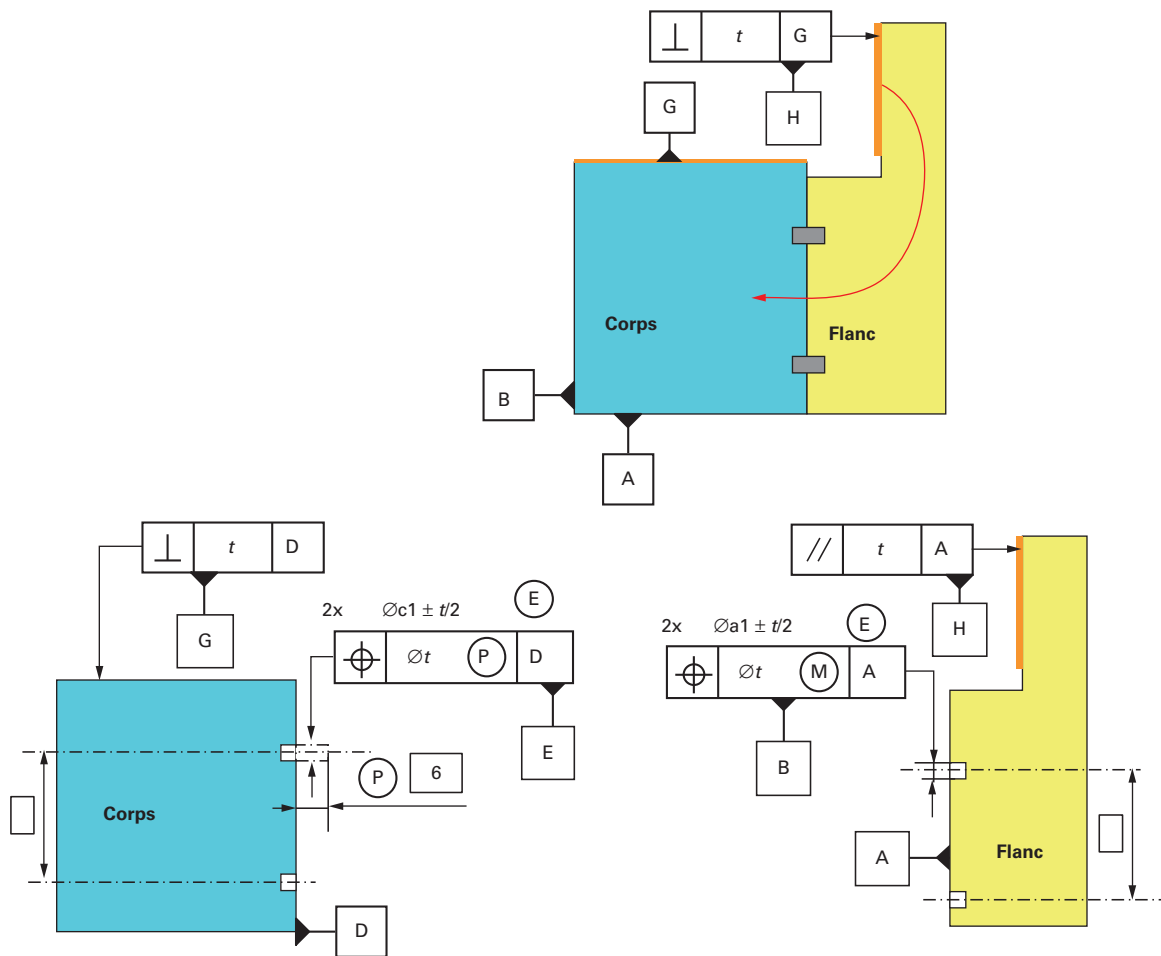


Figure 22 – Système de références sur deux pièces différentes

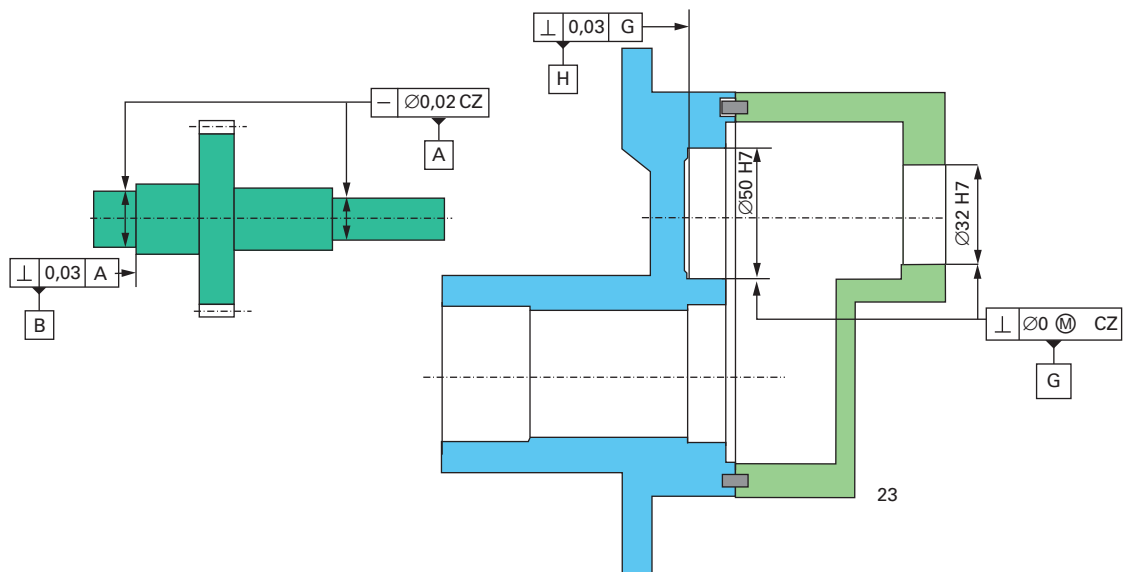


Figure 23 – Cotation du système de références principal de la roue dentée

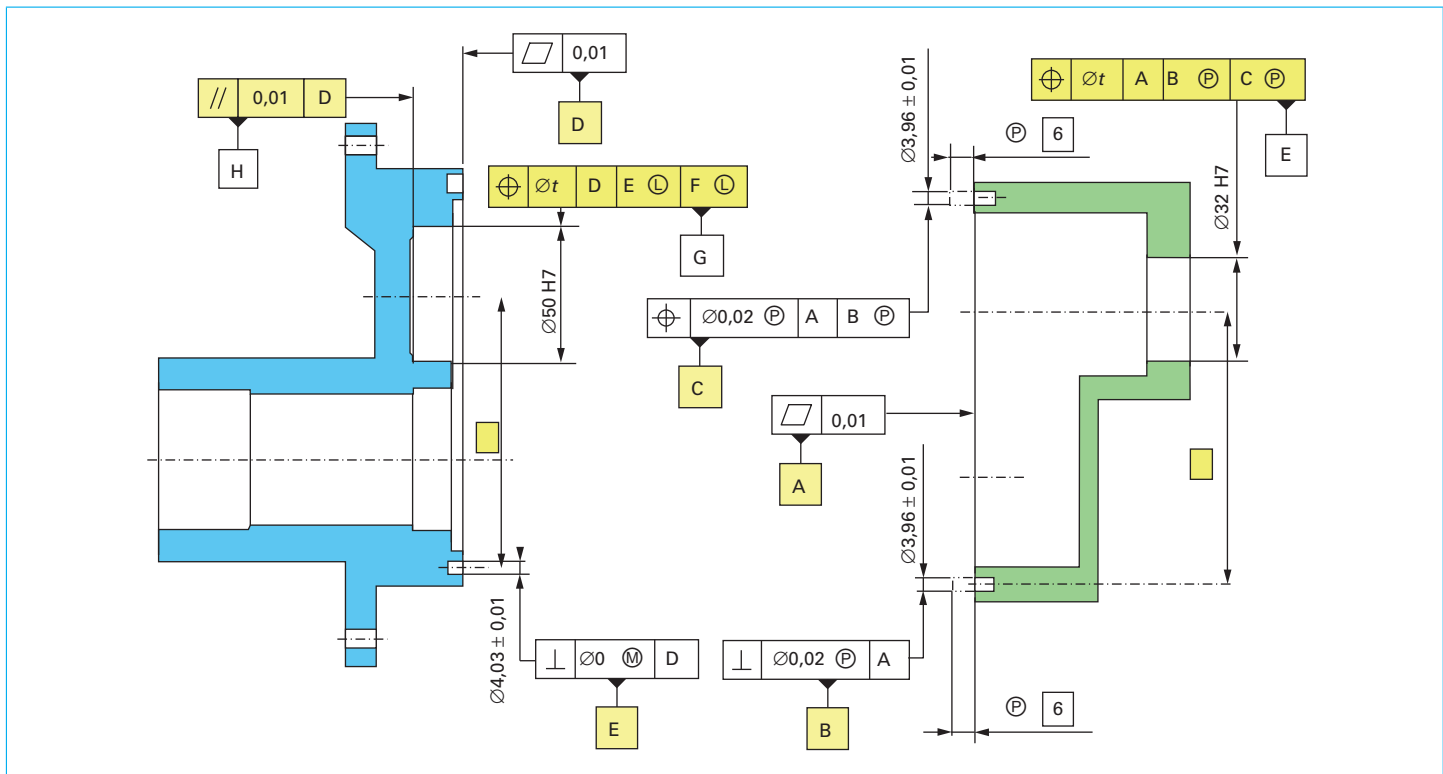


Figure 24 – Cotation des surfaces d’une entité fractionnée

Pour la cotation séparée de l’embase et du carter (figure 24), les deux alésages sont donc localisés par rapport aux systèmes de références définis sur la jonction commune entre le carter et l’embase. Il y a du jeu dans l’embase. Il y a donc un modificateur au minimum de matière. Les pions sont serrés dans le carter. Il y a donc un modificateur de zone projetée P sur B et C.

## 4. Tolérancement général

### 4.1 Tolérancement de toutes les surfaces

Toutes les surfaces de la pièce peuvent être définies par des cotes encadrées rattachées au système de références principal de la pièce A|B|C. Une spécification de position de surface quelconque (avec une tolérance très large) est appliquée à l’ensemble des surfaces de la pièce par rapport à ce système de références (figure 25a). Cette spécification évite les collisions avec les pièces voisines et impose une épaisseur minimale de paroi.

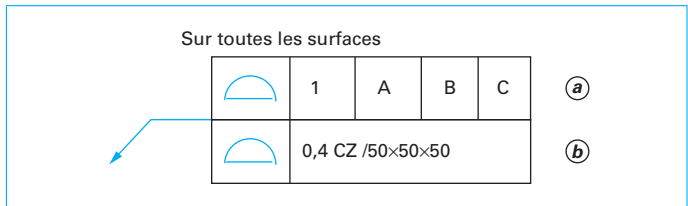


Figure 25 – Tolérancement général des surfaces non fonctionnelles

#### ■ Surfaces non fonctionnelles

L’ensemble des surfaces, notamment les surfaces du brut, sont ainsi positionnées par rapport au système de références principal de la pièce. Le tolérancement général du carter par rapport au système de références A|B|C est représenté figure 31.

Si les dimensions de la pièce sont grandes, la tolérance est nécessairement large. Il peut être utile d’ajouter la spécification de forme figure 25b qui impose une tolérance plus sévère entre toutes les surfaces contenues dans un volume restreint, par exemple dans un cube de dimensions 50 x 50 x 50, quelles que soient la position et l’orientation du cube ou dans une sphère S de diamètre 50.

Cette seconde spécification impose alors localement une bonne précision.

#### ■ Congés et chanfreins

Le tolérancement général n’étant pas suffisant, il est nécessaire de préciser les chanfreins ou les congés maxi et mini admissibles sur chaque arête (figure 26).

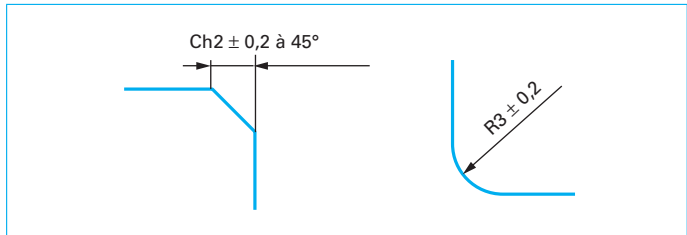


Figure 26 – Spécification des chanfreins et des congés

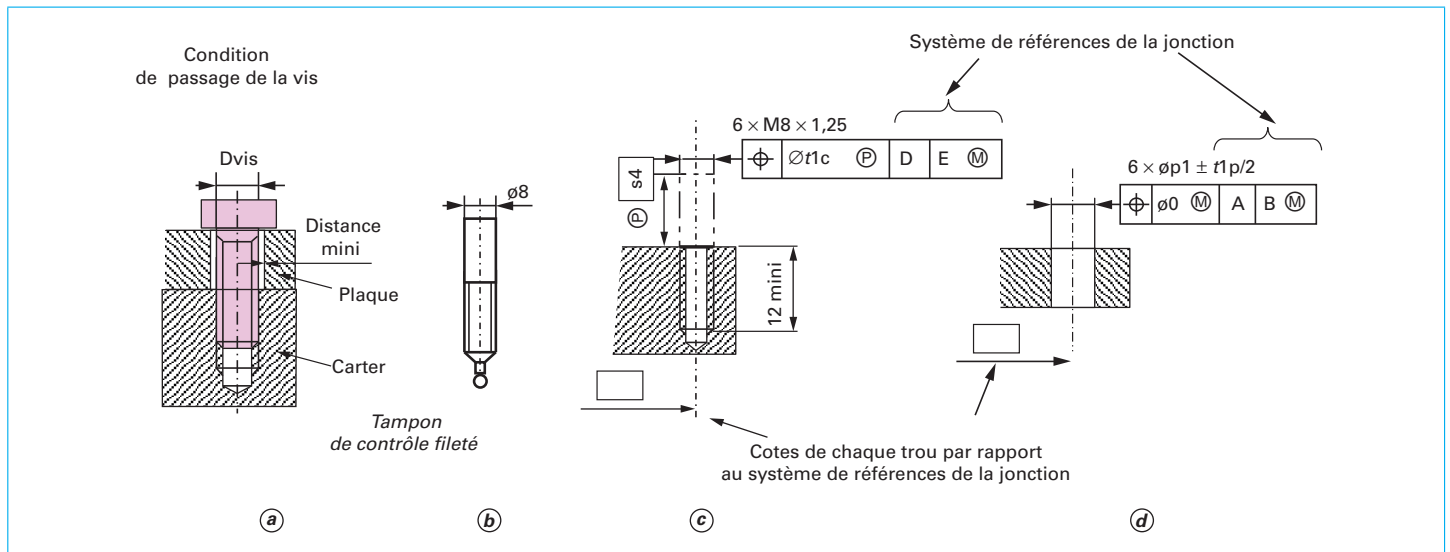


Figure 27 – Cotation d'un assemblage vissé

## 4.2 Cotation des surfaces d'assemblage par vis

Lorsque deux pièces sont reliées par une jonction, elles peuvent être fixées par un ensemble de vis. Dans ce cas, la cotation est toujours la même (figure 27) : les trous de passage des vis sont localisés au maximum de matière par rapport au système de références sur la jonction. Les taraudages sont localisés dans une plage de projection sur une étendue qui correspond à la longueur des trous de passage des vis de l'autre pièce. Le prolongement des axes des taraudages est simulé en plaçant 6 tampons filetés dans les 6 taraudages.

Tant que les vis ne sont pas serrées, le jeu dans la jonction est favorable. Ce jeu impose un modificateur au maximum de matière sur les surfaces de références avec du jeu.

L'inéquation à assurer pour garantir la montabilité des vis est :

$$(p_1 - t_1 p/2 - D_{\max\text{vis}} - t_1 c)/2 \geq \text{distance mini}$$

### Remarque

Si la pièce à assembler est très lourde, il n'y a plus de mobilité. Le jeu dans la liaison est défavorable, les références sont au minimum de matière.

## 5. Position relative des jonctions et des surfaces

### 5.1 Objectif

Le tolérancement des jonctions et le tolérancement général sont suffisants pour caractériser complètement la pièce. Toutefois, certaines exigences entre des surfaces appartenant à des pièces différentes imposent des positions relatives des jonctions avec des tolérances plus précises.

L'approche proposée permet de définir les maillons à imposer sur une pièce, sans avoir à étudier complètement toutes les chaînes de cotes correspondant aux exigences.

## 5.2 Étude des défaillances

### 5.2.1 Recherche des défaillances dues aux défauts de position des jonctions

La méthode *QUICK GPS* fait appel à l'expertise du concepteur. Celui-ci doit déterminer l'influence d'un décalage de chacune des jonctions de 0,3 mm dans toutes les directions par rapport à la jonction principale (la valeur recommandée de 0,3 mm est généralement suffisamment grande pour mettre en évidence des défaillances).

La figure 28 synthétise les défaillances pouvant être induites par des défauts du carter. La flèche rouge représente l'écart de position de l'entité de liaison ou de la surface fonctionnelle. Le commentaire indique la défaillance selon le sens de déplacement de l'entité.

■ **Si le plan D est trop décalé en X+**, il sera impossible de régler la précontrainte des roulements avec les cales pelables. Pas d'effet pour un décalage en X-.

■ **Si l'alésage E est décalé en Y+**, la distance entre les axes de l'engrenage sera trop grande et il y aura un mauvais engrènement. En Y-, le décalage donnera une interférence entre les dentures. Si l'alésage E est décalé en Z+ ou Z-, il y a peu d'effet sur l'entraxe. Par contre, il y aura un mauvais alignement des deux alésages recevant les roulements R3 et R4.

■ **Si la surface G est décalée en X-**, il y a une interférence avec l'extrémité de l'arbre de sortie.

Ce document d'analyse des défaillances peut être joint au dossier technique du produit.

### 5.2.2 Recherche des maillons à créer

La défaillance est souvent définie par une distance entre deux surfaces terminales. On appelle « droites d'analyse » les droites perpendiculaires à l'une des surfaces en tous les points de cette surface.



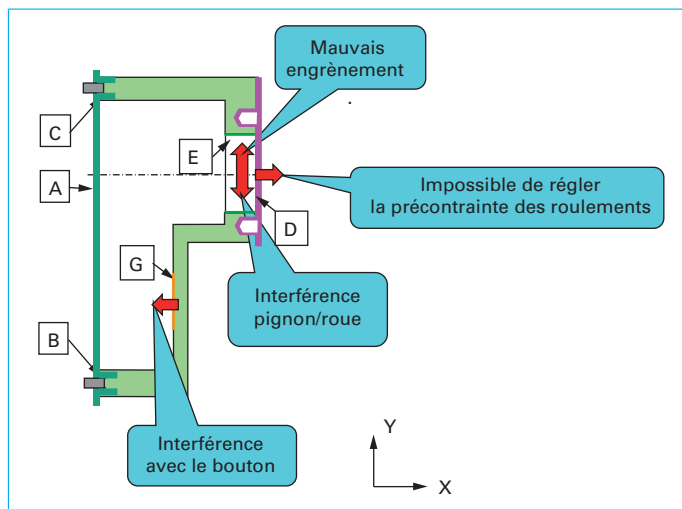


Figure 28 – Défaillances dues à des écarts des jonctions du carter

La méthode est la suivante :

- si la même défaillance apparaît pour deux jonctions, il faut une localisation entre ces jonctions en prenant référence sur l'une d'elles (au choix) ;
- si une défaillance n'apparaît que pour une seule jonction, il faut localiser cette jonction par rapport au système de références principal ;
- si une droite d'analyse ne coupe pas la surface primaire spécifiée, il faut ajouter une spécification d'orientation sur la surface primaire.

Dans la figure 29, le décalage suivant  $X+$  de la jonction avec la pièce b ou le décalage suivant  $X-$  de la jonction avec la pièce a peuvent générer une collision des surfaces des pièces a et b, dans la direction d'analyse perpendiculaire à ces surfaces (figure 30). Il faut donc imposer une bonne position relative de ces deux jonctions au moyen de deux localisations des surfaces G et H par rapport au système de références DJE|F. De plus, la droite d'analyse ne coupant pas la surface primaire de la jonction, il faut ajouter une spécification d'orientation.

Dans la figure 29, le décalage suivant  $X+$  ou  $X-$  de la jonction avec la pièce a génère un défaut d'affleurement de la pièce a par rapport à la pièce c. Cette défaillance n'apparaissant pour aucune autre jonction, il faut imposer une bonne position de cette jonction avec la pièce a par rapport au système de références principal au moyen des trois localisations des surfaces D, E et F. La droite d'analyse coupant la surface primaire D, il n'est pas nécessaire d'ajouter une spécification d'orientation.

Le jeu étant défavorable à la précision du mécanisme, un modificateur au minimum de matière  $\ominus$  doit être placé sur toutes les surfaces de liaison avec jeu (surface tolérancée et surface de référence).

### 5.2.3 Recherche des autres surfaces à spécifier

La pièce étudiée peut comporter d'autres surfaces qui ne participent pas à la mise en position des pièces :

- les **surfaces fonctionnelles** avec une précision imposée par le cahier des charges du mécanisme ;
- les **surfaces extérieures visibles** du mécanisme, avec une fonction esthétique ou éventuellement aérodynamique ;
- les **surfaces de frottement** des joints ;
- les **surfaces dont il faut assurer la position** pour éviter les interférences avec les pièces voisines (fonction passive « laisse passer »).

Pour détecter de telles surfaces, une méthode rapide consiste à prendre successivement toutes les surfaces de la pièce et de considérer un écart de position de 0,3 mm (trop ou pas assez de matière), ou un écart de forme en déterminant les défaillances pouvant se produire.

Chaque surface doit être localisée par rapport au système de références du maillon avec un minimum de matière  $\ominus$  sur les références avec jeu (figure 30).

### 5.3 Cotation complète d'une pièce

La figure 31 regroupe la cotation complète du carter.

Toutes les surfaces de la jonction avec le flasque sont localisées par rapport au système de références principal A|B|C. Les cotes encadrées relient les surfaces concernées, et soit A, soit B suivant

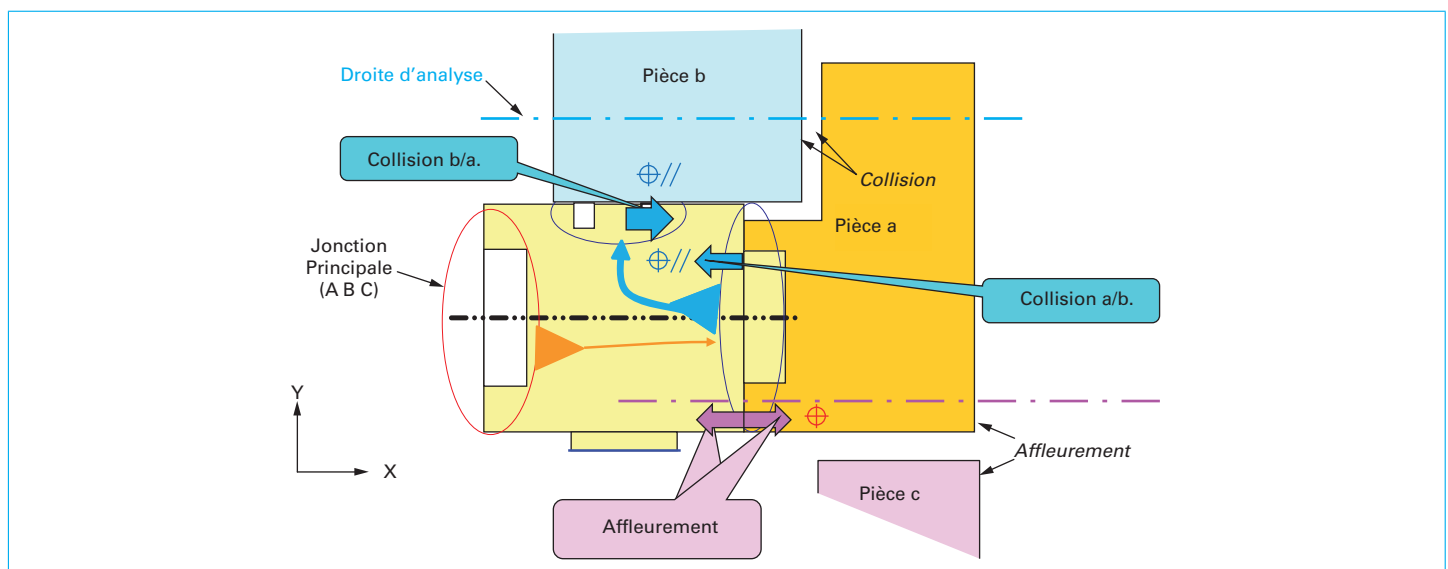


Figure 29 – Fonction des maillons entre jonctions

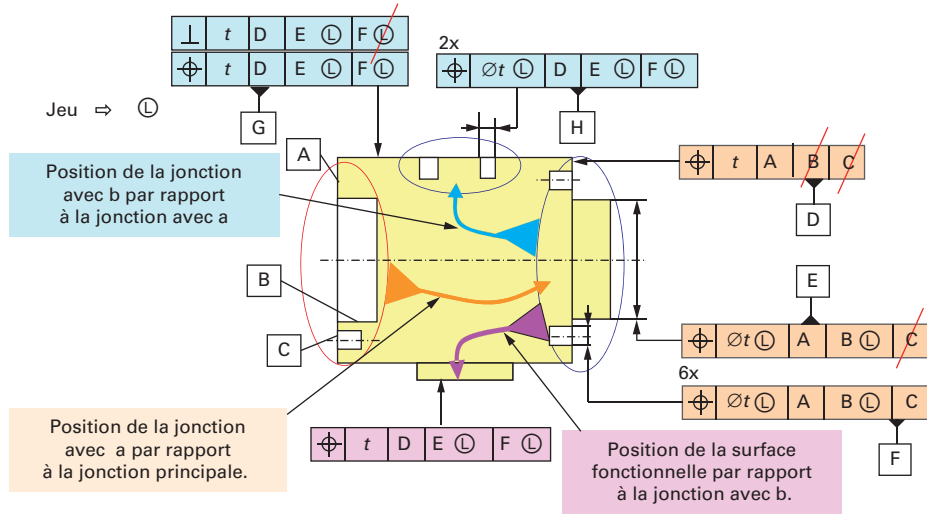


Figure 30 – Principe de cotation des maillons

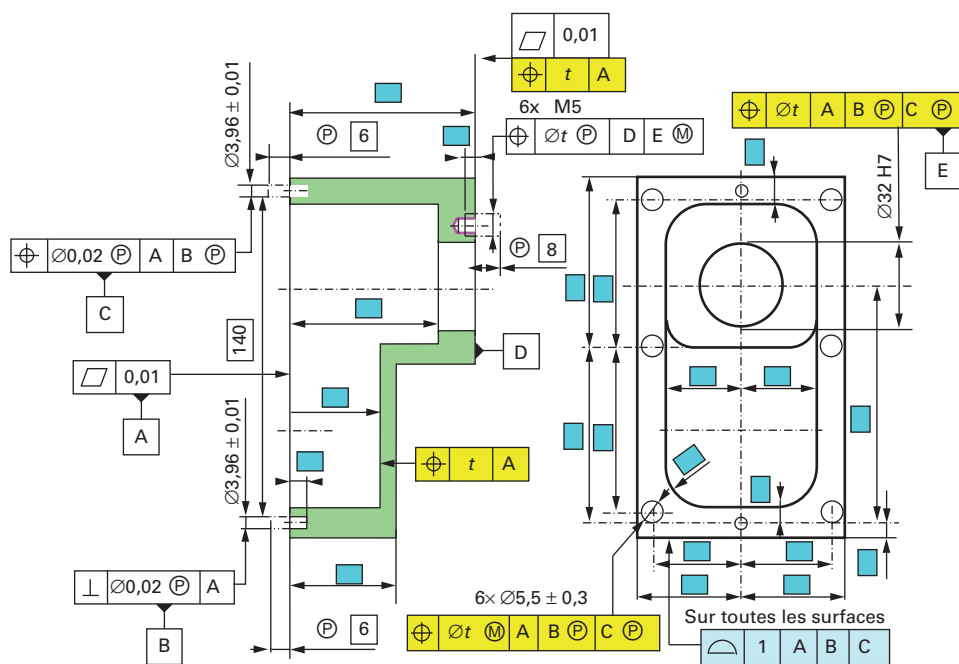


Figure 31 – Cotation fonctionnelle du carter

la direction. De même, la surface fonctionnelle en vis-à-vis du bouton de l'arbre de sortie est localisée par rapport à A.

## 6. Conclusion

La méthode *QUICK GPS* repose sur l'analyse des mises en position des pièces et l'analyse des défaillances, deux tâches qui nécessitent toute l'expertise des concepteurs. Cette démarche permet de constituer un dossier technique pour la capitalisation des

informations et les échanges avec tous les partenaires du projet, concepteurs, décideurs, fabricants, clients, fournisseurs. Cette méthode permet notamment de valider un projet très tôt, avant de passer à la cotation. Très souvent, cette analyse révèle des lacunes et permet d'améliorer la conception du produit ou de le simplifier.

L'écriture des spécifications devient ensuite quasi-automatique et très rapide, car les règles sont très bien définies.

La méthode *QUICK GPS* peut être appliquée par tous les professionnels sans outils supplémentaires. Elle donne une cotation cohérente du mécanisme, même en cas de partage des pièces par différents concepteurs. La cotation est très complète et rigoureuse.

Toutefois, il faut parfois adapter légèrement la cotation obtenue, par exemple en regroupant les surfaces spécifiées restreintes en une seule surface.

La cotation est ainsi standardisée et parfaitement compatible avec les normes actuelles. Il faudra sans doute l'adapter à l'avenir, compte tenu des évolutions prévisibles des normes de cotation qui risquent de changer la signification des symboles.

Si les projets de normes en cours sont publiés, le modificateur CZ (zone commune) dans le cadre de tolérance devra être remplacé par un UF (*United feature*) placé au-dessus du cadre de tolérance pour que toutes les compositions de surfaces soient considérées comme une seule surface. Par contre, toutes les spécifications portant sur un groupe de trous ou de surfaces, avec l'indication Nx au-dessus du cadre, nécessiteront un modificateur CZ (*Composed Zones*) à côté de la tolérance.

Ce chapitre est limité à la création de la cotation. Il faut ensuite choisir les tolérances et faire les chaînes de cotes. Le concepteur pourra éventuellement simplifier la cotation si certaines spécifications sont très peu influentes.

Dans un contexte numérique, la mise en position des pièces peut être décrite par le concepteur directement dans le 3D, soit sur une pièce isolée, soit dans un produit. Le concepteur doit également indiquer les maillons à imposer entre les différentes jonctions. La cotation des jonctions et des maillons, ainsi que le tolérancement général peuvent alors être générés automatiquement. Un démonstrateur a été réalisé dans un environnement CATIA (Dassault Systèmes) [3].

Lorsque toutes les pièces du mécanisme sont ainsi spécifiées, il est possible d'exploiter les logiciels d'analyse de tolérance pour estimer l'influence du cumul de toutes les tolérances sur les caractéristiques des exigences à garantir.

Dans un avenir assez proche, il est envisageable d'avoir une génération automatique des chaînes de cotes pour toutes les conditions d'assemblages et plus généralement pour toutes les exigences ([4] [5]).

## 7. Glossaire

### **Mécanisme ; *mechanism***

Assemblage mobile composé d'assemblages fixes ou de pièces isolées.

### **Exigence fonctionnelle ; *functional requirement***

Contrainte géométrique imposée sur le mécanisme entre des surfaces terminales appartenant à ce mécanisme.

### **Surface terminale ; *ending surface***

Surface appartenant à une pièce du mécanisme sur laquelle porte l'exigence fonctionnelle.

### **Composant ; *component***

Composant du commerce assurant la liaison entre les pièces (vis, pion, roulement...). La cotation est imposée par le fournisseur.

### **Dessin de définition ; *definition drawing***

Dessin contractuel de la pièce dans l'état de définition prescrit.

### **Jonction ; *junction***

Ensemble des liaisons primaire, secondaire et tertiaire assurant la mise en position d'une pièce sur le mécanisme.

### **Entité de positionnement ; *positioning feature***

Surface élémentaire ou ensemble de surfaces assurant une liaison entre deux pièces.

### **Jeu ; *clearance***

Le jeu est l'espace entre les pièces dans une liaison pour permettre l'assemblage et la mobilité de la liaison.

### **Serrage ; *Interference***

Le serrage est une valeur positive qui caractérise l'interférence entre l'arbre et l'alésage.

# Cotation fonctionnelle des mécanismes

par **Bernard ANSELMETTI**

Professeur des universités

LURPA, ENS Cachan, univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay (Cachan, France)

## Sources bibliographiques

- [1] ANSELMETTI (B.). – *Tolérancement*. Éditions Hermes Sciences, Lavoisier, Vol. 1 : Langage des normes ISO de cotation, 252 p. (2007)  
Vol. 2 : Bases de la cotation fonctionnelle, 269 p. (2007)  
Vol. 3 : Cotation fonctionnelle tridimensionnelle et statistique, 400 p. (2008).
- [2] ANSELMETTI (B.). – *Generation of functional tolerancing using positioning features*. Computer Aided Design, 38, p. 902-919 (2006).
- [3] ANSELMETTI (B.), CHAVANNE (R.), YANG (J.) et ANWER (N.). – *Quick\_GPS : a new CAT system for single part tolerancing*. Revue Computer Aided Design, 42, p. 768-780 (2010).
- [4] ANSELMETTI (B.). – *Calcul tridimensionnel de la résultante d'une chaîne de cotes en cotation ISO, en vue d'un calcul probabiliste*. Revue Mécanique et Industrie, 8, p. 173-185 (2007).
- [5] ANSELMETTI (B.). – *Part optimization and tolerances synthesis*. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 48, p. 1221-1237 (2010).

## À lire également dans nos bases

BONZOM (C.) et FARGIER (É.). – *Erreurs de forme, de position, d'orientation, de battement. Partie 1*. [R 1 220] (2005).

MARCHÈSE (J.-H.). – *Spécification géométrique des produits (GPS)*. [BM 5 618] (2004).

MARCHÈSE (J.-H.). – *Spécification géométrique des produits (GPS)*. [R 1 210] (2004).

GARDAN (Y.). – *CAO : vers la modélisation fonctionnelle*. [H 3 752] (2003).

PRIEL (M.). – *Incertitudes de mesure et tolérances*. [R 285] (1999).

ZANIN (J.-P.). – *Cahier des charges fonctionnel*. [A 5 090] (1997).

## Sites Internet

### • Page web personnelle professionnelle

<http://www.lurpa.ens-cachan.fr/version-francaise/recherche/equipe-geo3d/bernard-anselmetti-180106.kjsp?RH=1216288647242>

## Normes et standards

NF EN ISO1101	05-13	Spécification géométrique des produits (GPS) – Tolérancement géométrique – Tolérancement de forme, orientation, position et battement
NF EN ISO 5459	11-11	Spécification géométrique des produits (GPS) – Tolérancement géométrique – Références spécifiées et systèmes de références spécifiées
NF EN ISO 2692	12-14	Spécification géométrique des produits (GPS) – Tolérancement géométrique – Exigence du maximum de matière (MMR), exigence du minimum de matière (LMR) et exigence de réciprocité (RPR)

## Annuaire

### Laboratoires

Laboratoire universitaire de recherche en production automatisée  
<http://www.lurpa.ens-cachan.fr/version-francaise/>

# Gagnez du temps et sécurisez vos projets en utilisant une source actualisée et fiable



RÉDIGÉE ET VALIDÉE  
PAR DES EXPERTS




MISE À JOUR  
PERMANENTE



100 % COMPATIBLE  
SUR TOUS SUPPORTS  
NUMÉRIQUES



SERVICES INCLUS  
DANS CHAQUE OFFRE

- + de 340 000 utilisateurs chaque mois
- + de 10 000 articles de référence et fiches pratiques
- Des Quiz interactifs pour valider la compréhension 

## SERVICES ET OUTILS PRATIQUES



### Questions aux experts\*

Les meilleurs experts techniques et scientifiques vous répondent



### Articles Découverte

La possibilité de consulter des articles en dehors de votre offre



### Dictionnaire technique multilingue

45 000 termes en français, anglais, espagnol et allemand



### Archives

Technologies anciennes et versions antérieures des articles



### Info parution

Recevez par email toutes les nouveautés de vos ressources documentaires

\*Questions aux experts est un service réservé aux entreprises, non proposé dans les offres écoles, universités ou pour tout autre organisme de formation.

## Les offres Techniques de l'Ingénieur



### INNOVATION

- Éco-conception et innovation responsable
- Nanosciences et nanotechnologies
- Innovations technologiques
- Management et ingénierie de l'innovation
- Smart city – Ville intelligente



### MATÉRIAUX

- Bois et papiers
- Verres et céramiques
- Textiles
- Corrosion – Vieillessement
- Études et propriétés des métaux
- Mise en forme des métaux et fonderie
- Matériaux fonctionnels. Matériaux biosourcés
- Traitements des métaux
- Élaboration et recyclage des métaux
- Plastiques et composites



### MÉCANIQUE

- Frottement, usure et lubrification
- Fonctions et composants mécaniques
- Travail des matériaux – Assemblage
- Machines hydrauliques, aérodynamiques et thermiques
- Fabrication additive – Impression 3D



### ENVIRONNEMENT – SÉCURITÉ

- Sécurité et gestion des risques
- Environnement
- Génie écologique
- Technologies de l'eau
- Bruit et vibrations
- Métier : Responsable risque chimique
- Métier : Responsable environnement



### ÉNERGIES

- Hydrogène
- Ressources énergétiques et stockage
- Froid industriel
- Physique énergétique
- Thermique industrielle
- Génie nucléaire
- Conversion de l'énergie électrique
- Réseaux électriques et applications



### GÉNIE INDUSTRIEL

- Industrie du futur
- Management industriel
- Conception et production
- Logistique
- Métier : Responsable qualité
- Emballages
- Maintenance
- Traçabilité
- Métier : Responsable bureau d'étude / conception



### ÉLECTRONIQUE – PHOTONIQUE

- Électronique
- Technologies radars et applications
- Optique – Photonique



### TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION

- Sécurité des systèmes d'information
- Réseaux Télécommunications
- Le traitement du signal et ses applications
- Technologies logicielles – Architectures des systèmes
- Sécurité des systèmes d'information



### AUTOMATIQUE – ROBOTIQUE

- Automatique et ingénierie système
- Robotique



### INGÉNIERIE DES TRANSPORTS

- Véhicule et mobilité du futur
- Systèmes aéronautiques et spatiaux
- Systèmes ferroviaires
- Transport fluvial et maritime



### MESURES – ANALYSES

- Instrumentation et méthodes de mesure
- Mesures et tests électroniques
- Mesures mécaniques et dimensionnelles
- Qualité et sécurité au laboratoire
- Mesures physiques
- Techniques d'analyse
- Contrôle non destructif



### PROCÉDÉS CHIMIE – BIO – AGRO

- Formulation
- Bioprocédés et bioproductions
- Chimie verte
- Opérations unitaires. Génie de la réaction chimique
- Agroalimentaire



### SCIENCES FONDAMENTALES

- Mathématiques
- Physique Chimie
- Constantes physico-chimiques
- Caractérisation et propriétés de la matière



### BIOMÉDICAL – PHARMA

- Technologies biomédicales
- Médicaments et produits pharmaceutiques



### CONSTRUCTION ET TRAVAUX PUBLICS

- Droit et organisation générale de la construction
- La construction responsable
- Les superstructures du bâtiment
- Le second œuvre et l'équipement du bâtiment
- Vieillessement, pathologies et réhabilitation du bâtiment
- Travaux publics et infrastructures
- Mécanique des sols et géotechnique
- Préparer la construction
- L'enveloppe du bâtiment
- Le second œuvre et les lots techniques