

# Dessin Industriel 9

## Transmission de puissance

SMT 1

Etude de mécanismes

Kostas Politis

# Les pièces normalisées sont :

## 1. Pièces de fixation :

- a) Par serrage : vis, écrous, goudjons
- b) Par surfaces d'appuie : clavettes, goupilles, anneaux élastiques

## 2. Pièces de guidage en rotation :

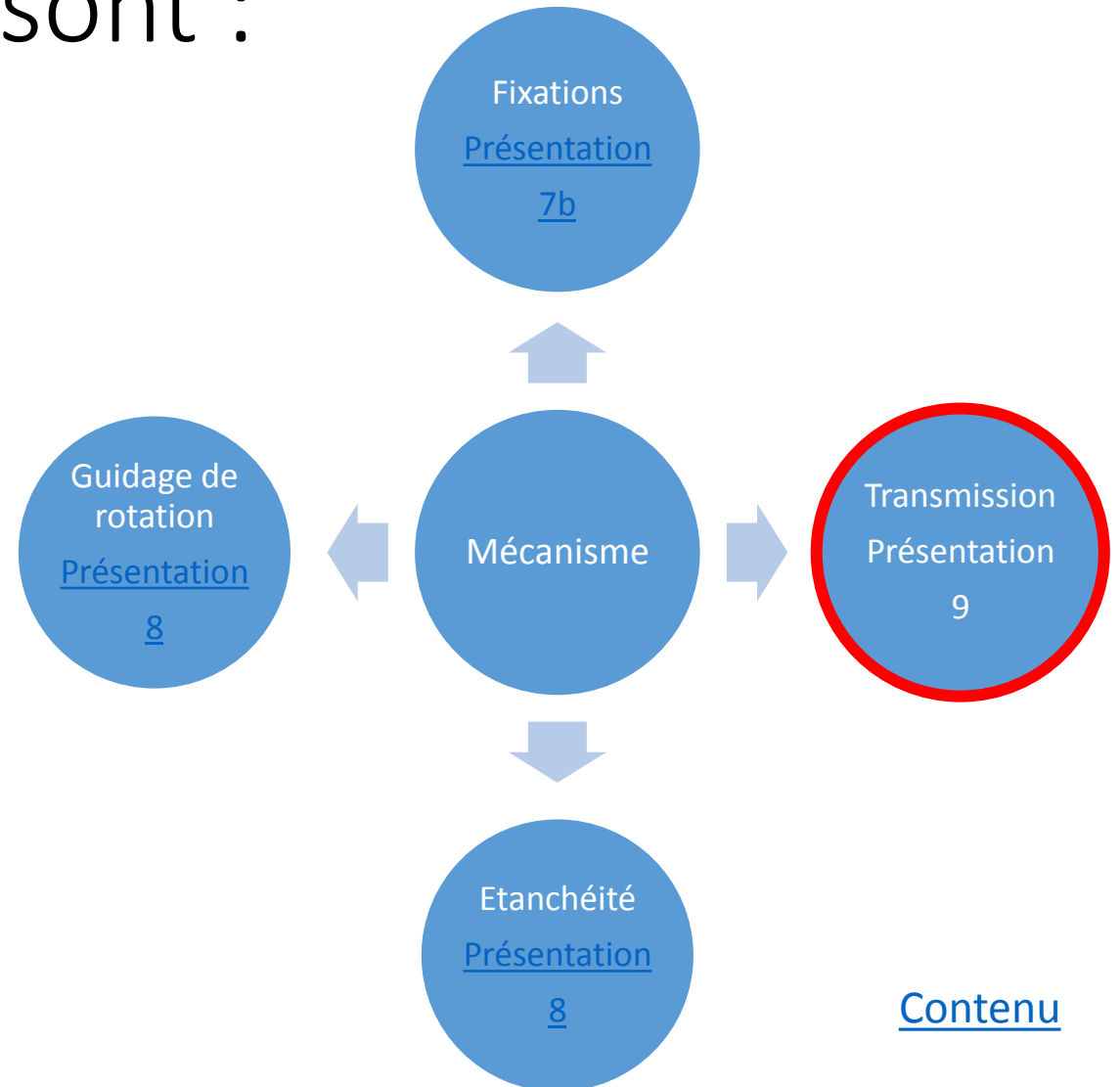
paliers, roulements

## 3. Pièces d'étanchéité :

joints toriques joints à lèvres

## 4. Pièces de transmission :

poulies-courroie, chaîne, engrenages



# Pièces de transmission

La transmission, en général, réfère à la transmission de puissance d'un arbre à l'autre. Quand on parle de pièce de transmission on décrit les pièces intermédiaires entre deux arbres qui permettent la transmission de la puissance.

# Pièces de transmission

La transmission, en général, réfère à la transmission de puissance d'un arbre à l'autre. Quand on parle de pièce de transmission on décrit les pièces intermédiaires entre deux arbres qui permettent la transmission de la puissance.

Ces pièces sont, au sens large, de transformateurs du couple et de la vitesse rotationnel. Pour toutes ces pièces, la transmission de puissance est subie à l'équation de conservation de l'énergie (par rapport au temps) : la puissance de l'arbre d'entrée doit être égale à la puissance de l'arbre de sortie (ou la somme des puissances des arbres de sortie).

# Pièces de transmission

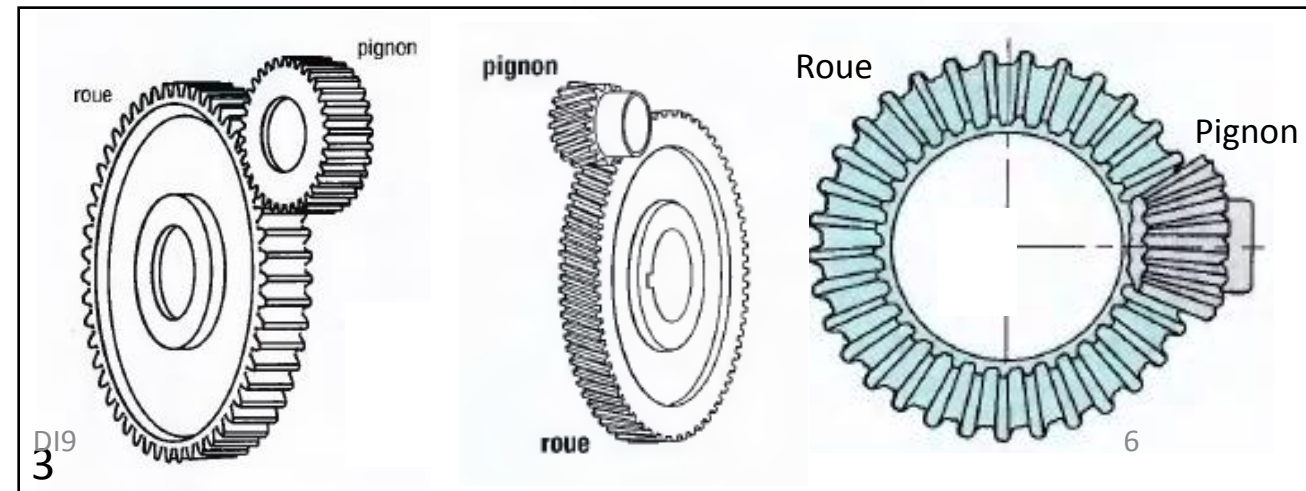
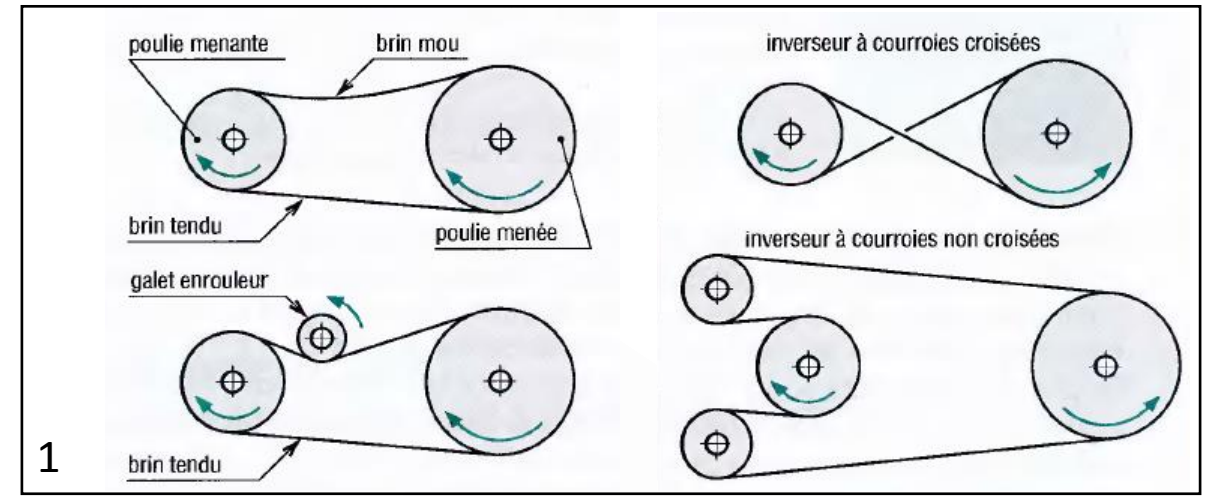
La transmission, en général, réfère à la transmission de puissance d'un arbre à l'autre. Quand on parle de pièce de transmission on décrit les pièces intermédiaires entre deux arbres qui permettent la transmission de la puissance.

Ces pièces sont, au sens large, de transformateurs du couple et de la vitesse rotationnel. Pour toutes ces pièces, la transmission de puissance est subie à l'équation de conservation de l'énergie (par rapport au temps) : la puissance de l'arbre d'entrée doit être égale à la puissance de l'arbre de sortie (ou la somme des puissances des arbres de sortie).

**Aucune équation est nécessaire pour ce cours, par contre vous devrez toujours se souvenir que la puissance d'un arbre est le produit du couple fois sa vitesse rotationnelle.**

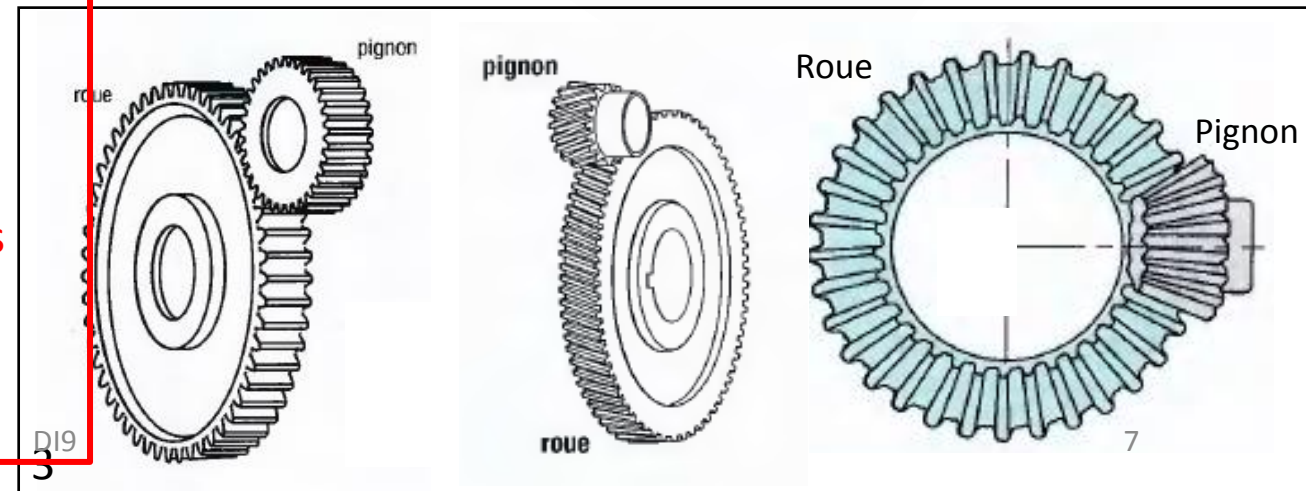
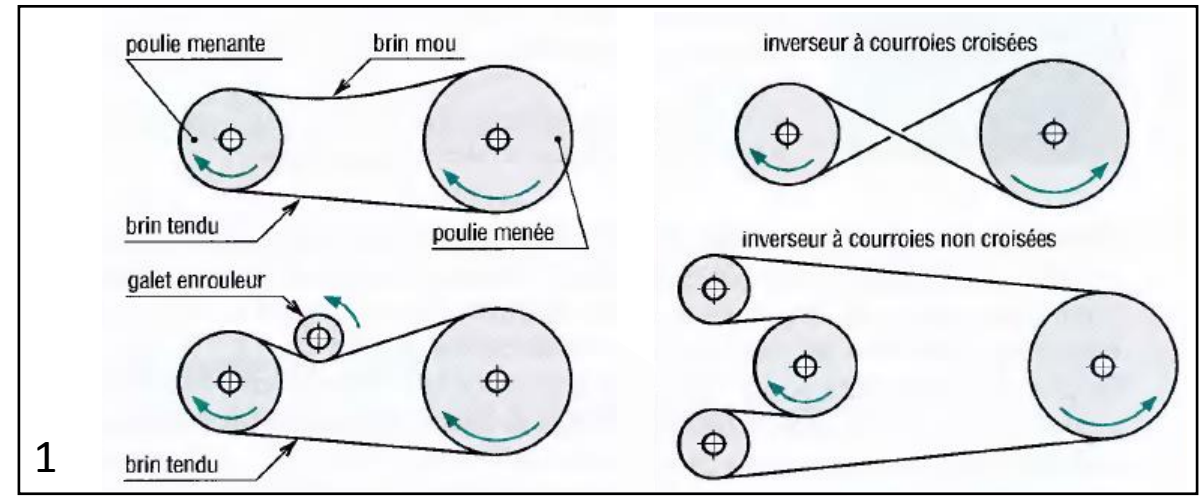
# Les trois catégories des pièces de transmission

1. Par poulies-courroie
2. Par chaîne
3. Par engrenages



# Les trois catégories des pièces de transmission

1. Par poulies-courroie
2. Par chaîne
3. Par engrenages



Les dessins détaillés de ces pièces peuvent être très compliqués. En dessins normalisés, on les indique de manière simplifiée comme de roues (cercles) d'un diamètre appelé **diamètre primitif** représenté comme une ligne en trait mixte. Ce diamètre est utilisé pour la plupart de calculs et rendre ces pièces « équivalentes » aux roues de friction ou à une poulie simple à courroie plate.



# Les trois catégories des pièces de transmission

1. Par poulies-courroie

2. Par chaîne

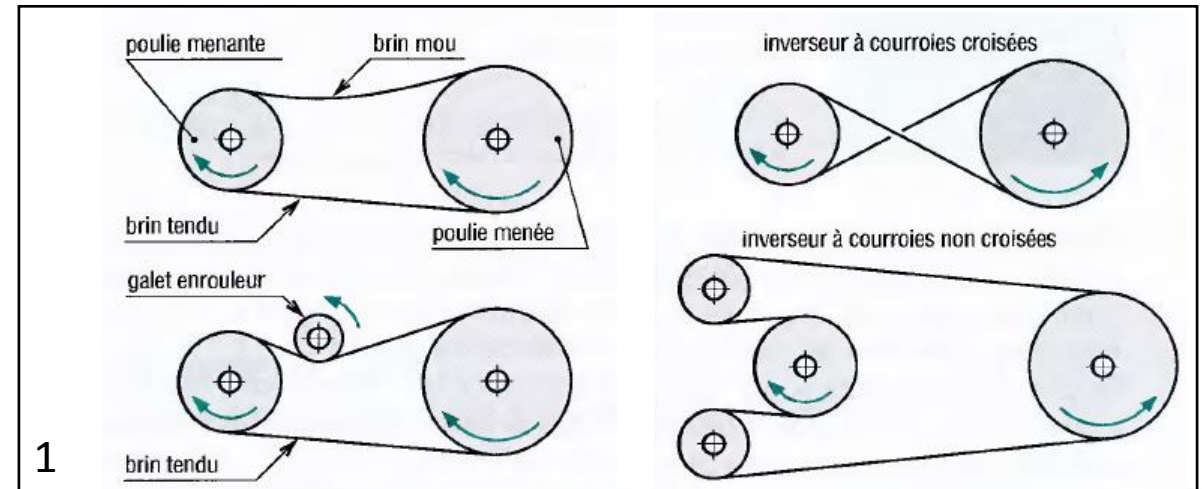
3. Par engrenages

Deux exemples d'utilisation des  
diamètres primitifs

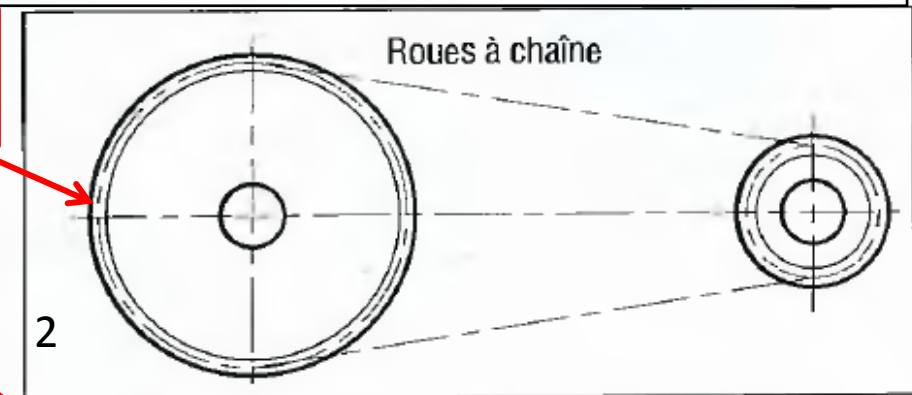
Les dessins détaillés de ces pièces peuvent être très compliqués.

En dessins normalisés, on les indique de manière simplifiée comme de roues (cercles) d'un diamètre appelé diamètre primitif représenté comme une ligne en trait mixte.

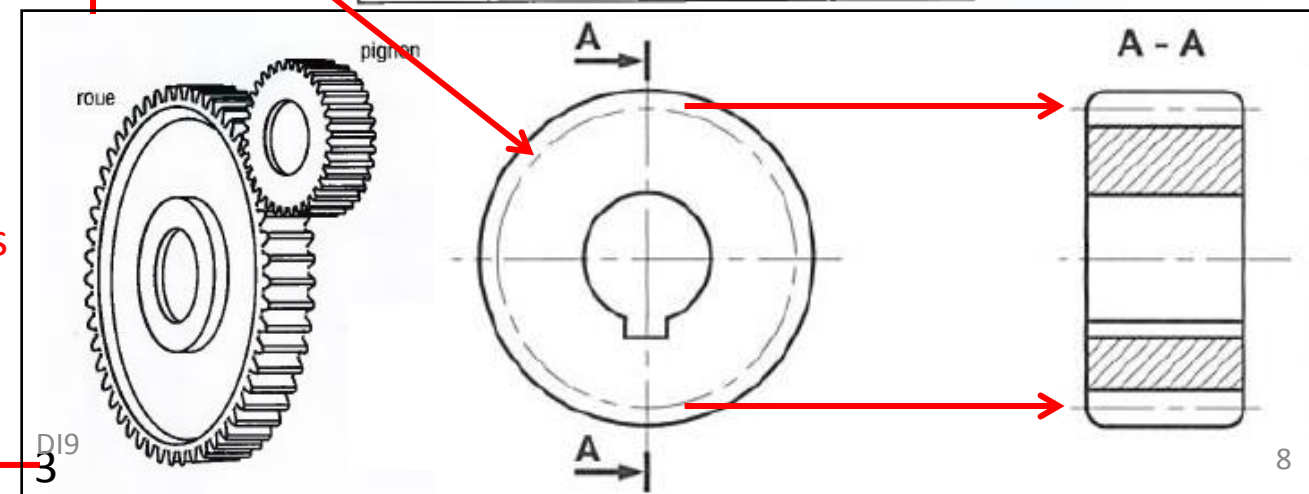
Ce diamètre est utilisé pour la plupart de calculs et rendre ces pièces « équivalentes » aux roues de friction ou à une poulie simple à courroie plate.



1



2



3



# Les trois catégories des pièces de transmission

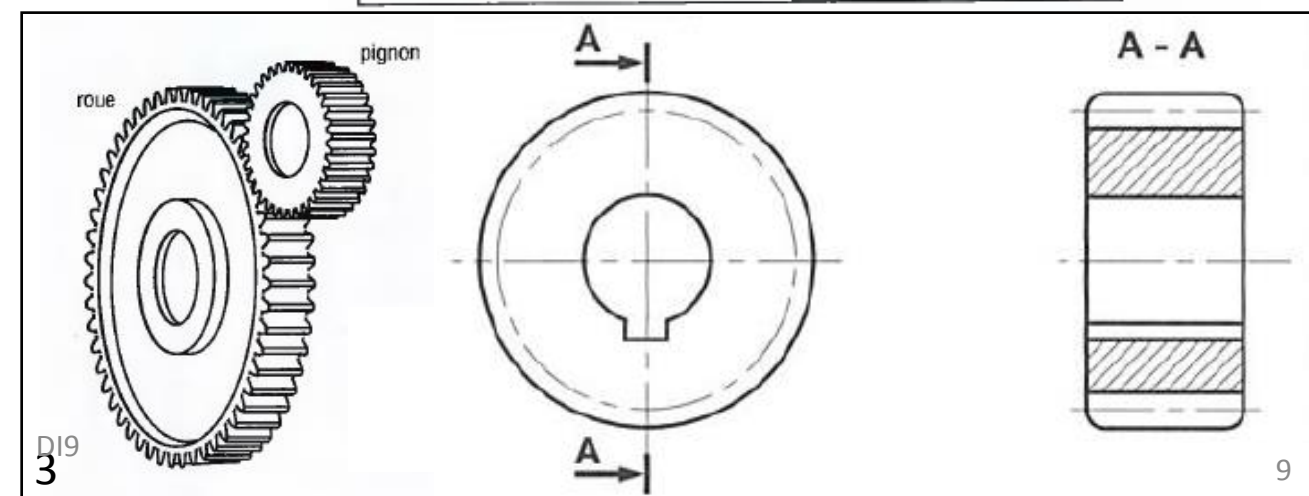
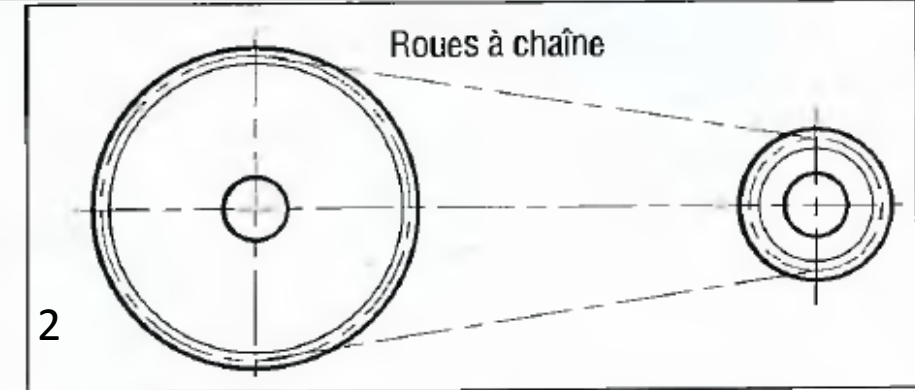
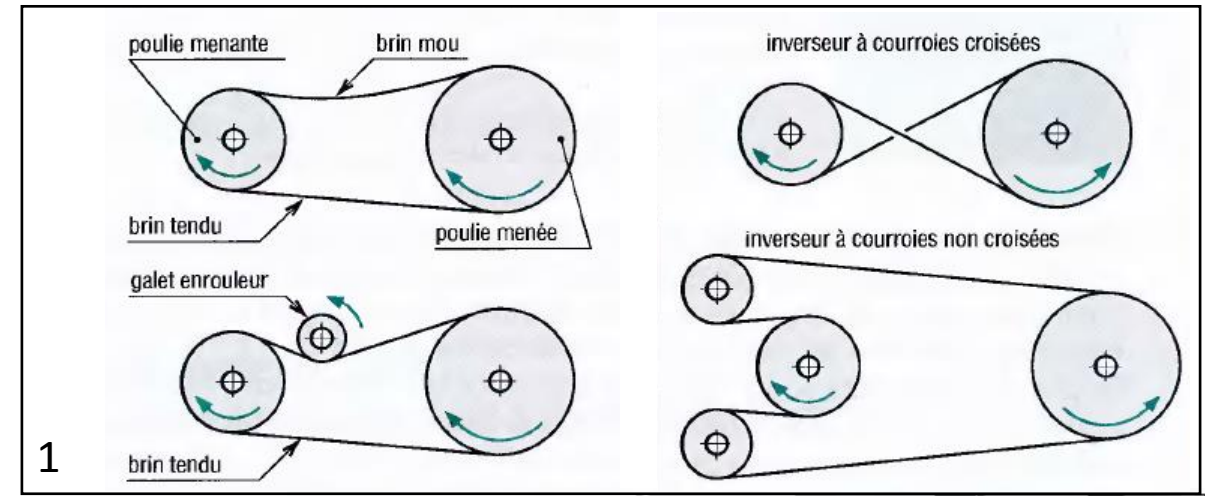
1. Par poulies-courroie

2. Par chaîne

3. Par engrenages

C'est la catégorie la plus importante pour la transmission des fortes puissances.

Nous nous intéressons principalement à cette catégorie, mais tout d'abord une courte description des deux autres catégories.



# poulies-courroie

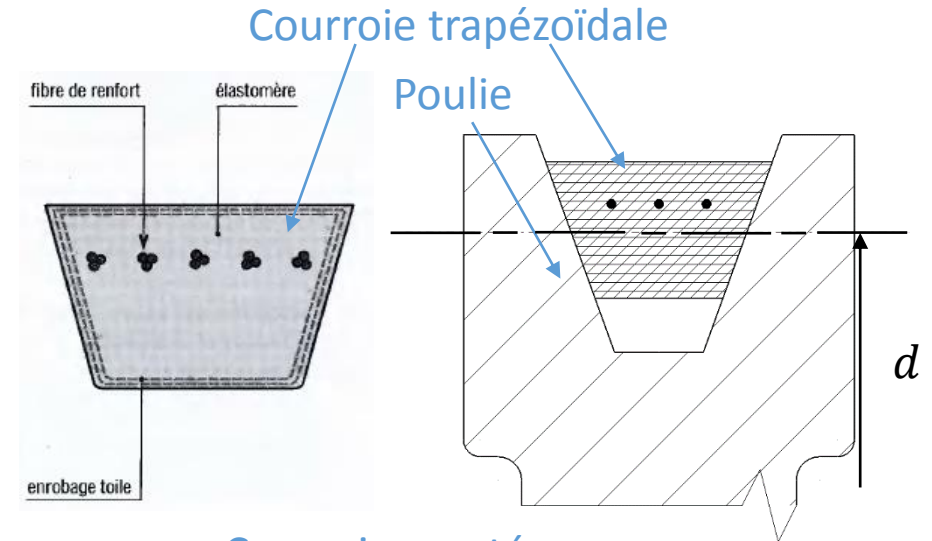
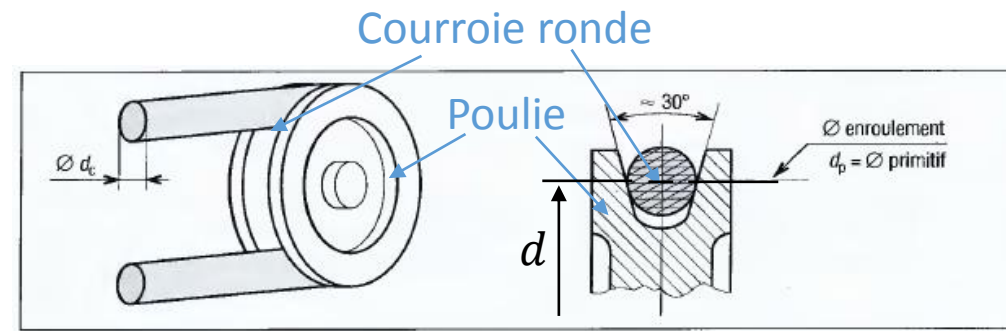
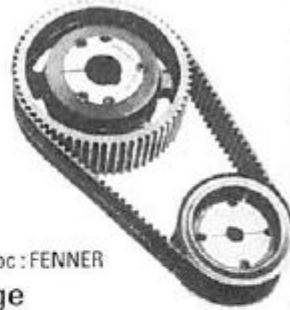
(ang : pulley / belt drive)

Les courroies permettent la transmission de puissance entre deux arbres éloignés, avec modification du couple transmis et de la vitesse de rotation. Les arbres moteurs et récepteurs sont souvent parallèles mais peuvent cependant prendre des positions quelconques. Le rapport des vitesses est égal en principe au rapport inverse des diamètres. Notons qu'il existe toujours un glissement de l'ordre de 2 à 3 % entre poulies et courroies.

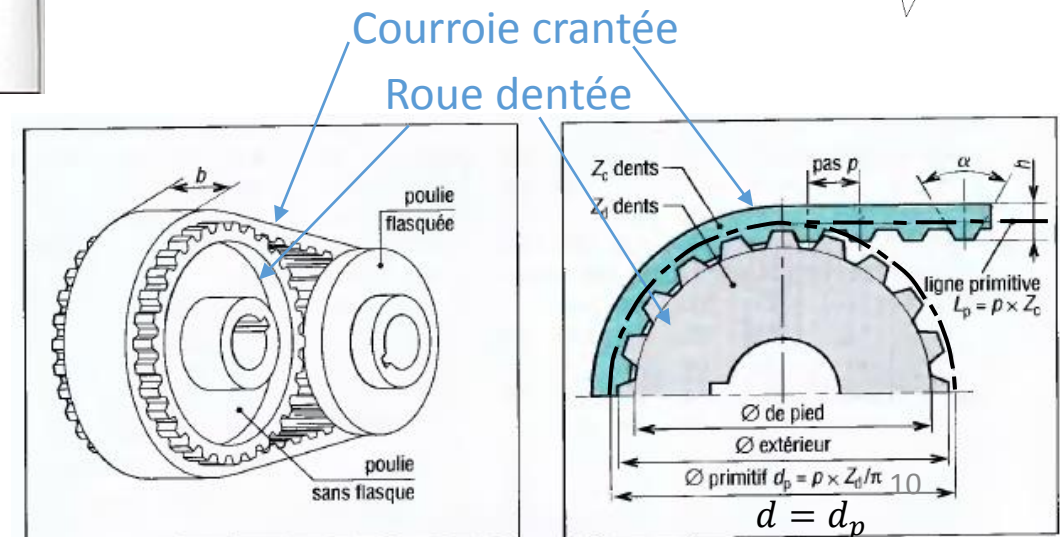
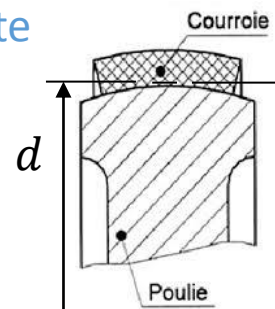
## Conditions d'emploi :

- Transmission souple, silencieuse, de bon rendement, montage et entretien faciles.
- L'enroulement de la courroie se situe à la fois dans le plan médian des poulies et le plan médian de la courroie.
- La présence d'un galet enrouleur placé le plus près possible de la petite poulie et sur le brin mou permet :
  - d'augmenter l'axe d'enroulement de la courroie sur les poulies ;
  - donc d'élever le rapport entre les diamètres des deux poulies,
  - et de transmettre des couples plus importants.

Doc : FENNER



## Courroie Plate





# poulies-courroie

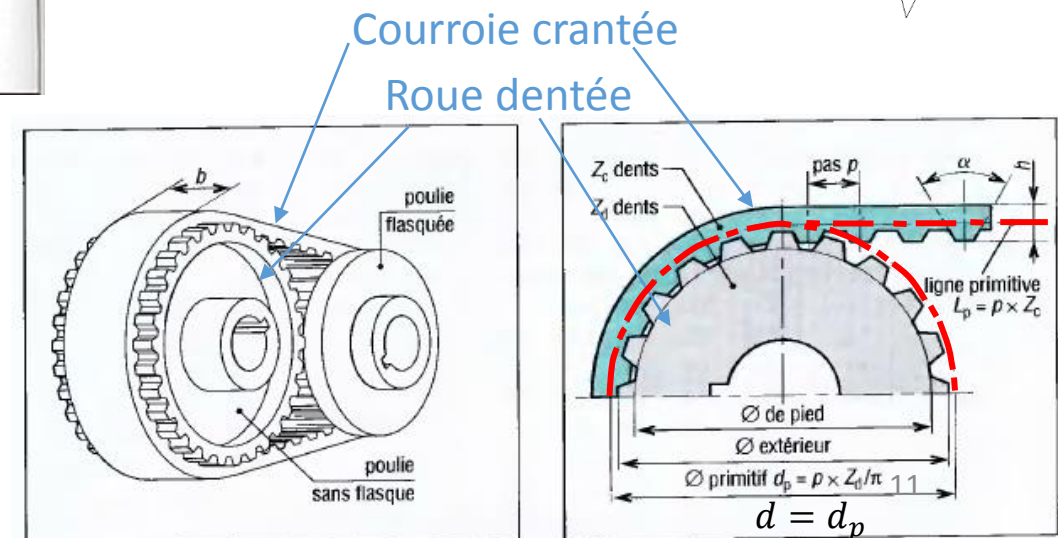
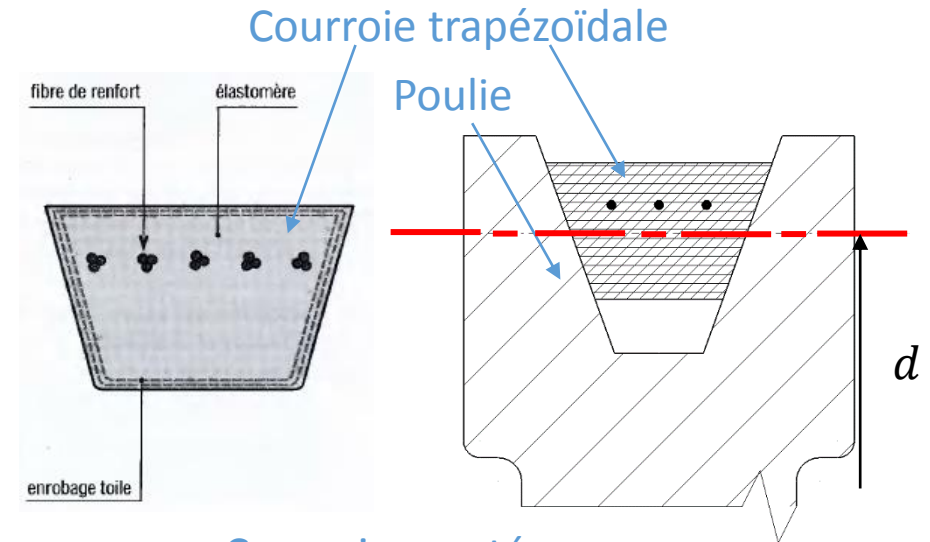
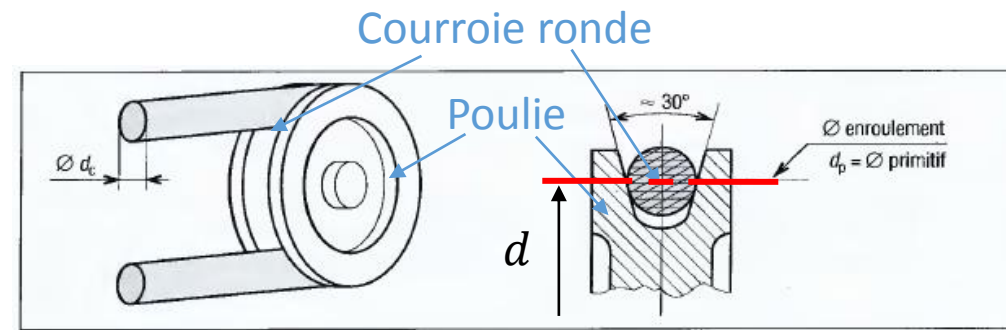
(ang : pulley / belt drive)

Les courroies permettent la transmission de puissance entre deux arbres éloignés, avec modification du couple transmis et de la vitesse de rotation. Les arbres moteurs et récepteurs sont souvent parallèles mais peuvent cependant prendre des positions quelconques. Le rapport des vitesses est égal en principe au rapport inverse des diamètres. Notons qu'il existe toujours un glissement de l'ordre de 2 à 3 % entre poulies et courroies.

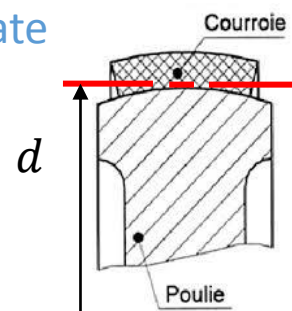
## Conditions d'emploi :

- Transmission souple, silencieuse, de bon rendement, montage et entretien faciles.
- L'enroulement de la courroie se situe à la fois dans le plan médian des poulies et le plan médian de la courroie.
- La présence d'un galet enrouleur placé le plus près possible de la petite poulie et sur le brin mou permet :
  - d'augmenter l'axe d'enroulement de la courroie sur les poulies ;
  - donc d'élever le rapport entre les diamètres des deux poulies,
  - et de transmettre des couples plus importants.

Doc : FENNER



## Courroie Plate



$d$  : diamètre primitif  
Indiqué avec une ligne en  
trait mixte

# poulies-courroie

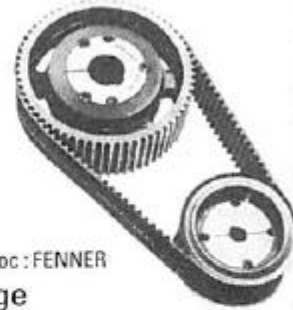
(ang : pulley / belt drive)

Les courroies permettent la transmission de puissance entre deux arbres éloignés, avec modification du couple transmis et de la vitesse de rotation. Les arbres moteurs et récepteurs sont souvent parallèles mais peuvent cependant prendre des positions quelconques. Le rapport des vitesses est égal en principe au rapport inverse des diamètres. Notons qu'il existe toujours un glissement de l'ordre de 2 à 3 % entre poulies et courroies.

## Conditions d'emploi :

- Transmission souple, silencieuse, de bon rendement, montage et entretien faciles.
- L'enroulement de la courroie se situe à la fois dans le plan médian des poulies et le plan médian de la courroie.

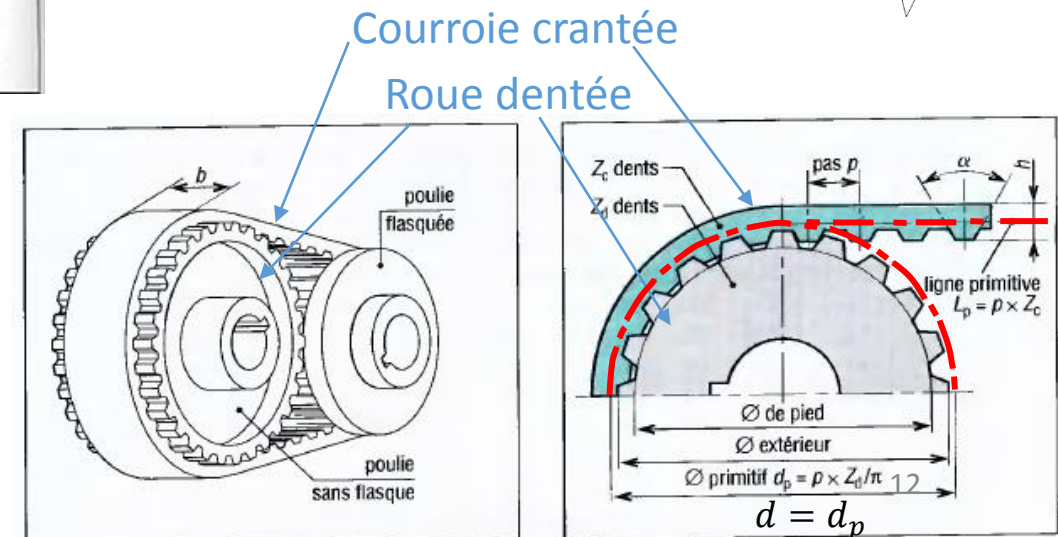
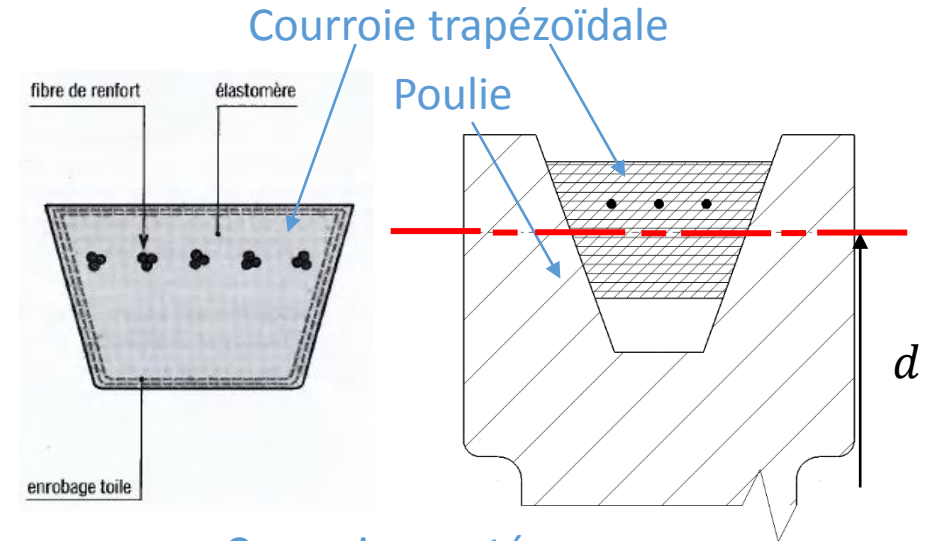
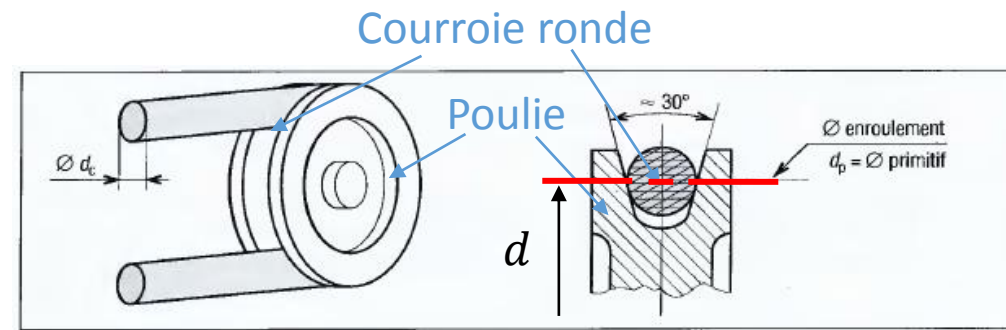
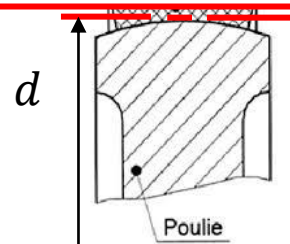
Doc : FENNER



## Réagir!!!

Trouvez les poulies sur les dessins des pages 1 et 4 de votre « Recueil A3 » et expliquez leurs montages aux axes.  
(Note : C'est très important de savoir la réponse à cette question)

$d$  : diamètre primitif  
Indiqué avec une ligne en trait mixte



# Représentations simplifiées avec le diamètre primitif

La représentation avec la diamètre primitif simplifie beaucoup tous les dessins de pièces de transmission.

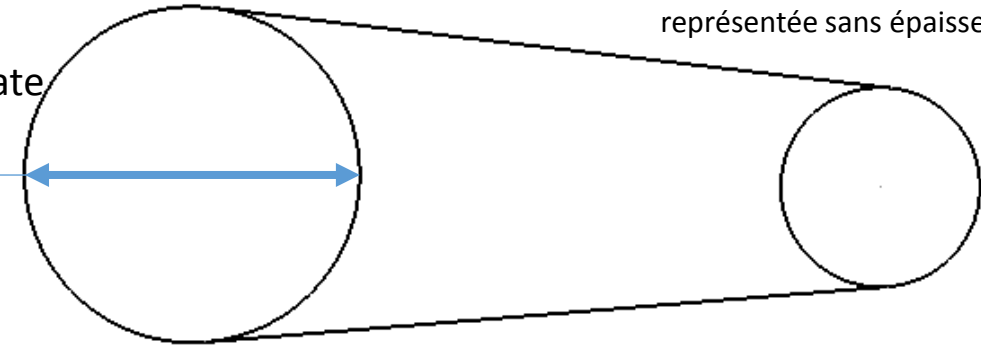
Nous pouvons dessiner les équivalents très simples où l'on distingue le type du courroie à partir de la relation entre le diamètre extérieur ( $d_e$ ) de la poulie et le diamètre primitif ( $d$ ).

Nous notons que ici les dessins sont très simplifiés pour indiquer l'idée de base d'utilisation du diamètre primitif (les autres lignes visibles – ici l'alésage d'arbre, les linges cachées et les lignes d'axe sont absentes).

La ligne en trait mixte n'est pas visible.  
La courroie est représentée sans épaisseur

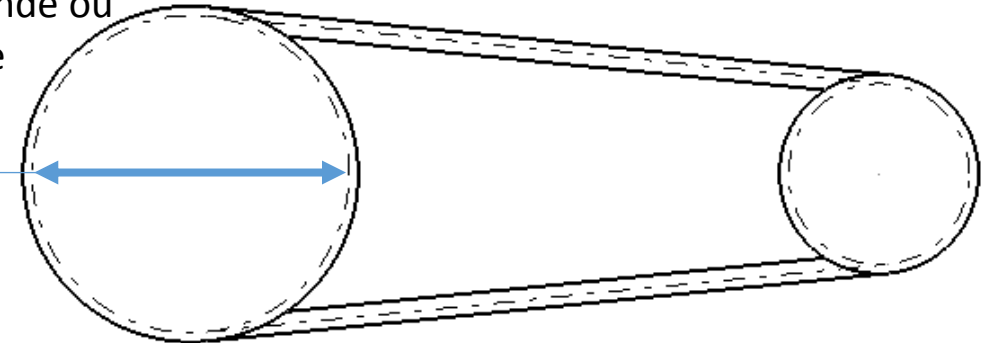
Courroie Plate

$$d = d_e$$



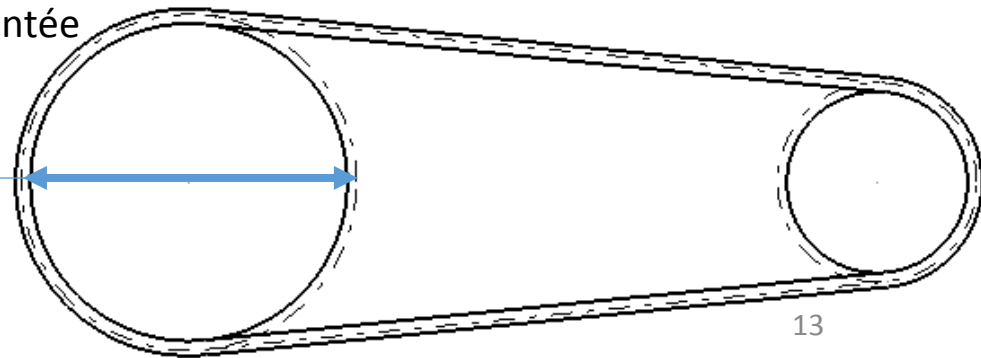
Courroie Ronde ou Trapézoïdale

$$d < d_e$$



Courroie Crantée

$$d > d_e$$





# Représentations simplifiées avec le diamètre primitif

La représentation avec la diamètre primitif simplifie beaucoup tous les dessins de pièces de transmission.

Nous pouvons dessiner les équivalents très simples où l'on distingue le type du courroie à partir de la relation entre le diamètre extérieur ( $d_e$ ) de la poulie et le diamètre primitif ( $d$ ).

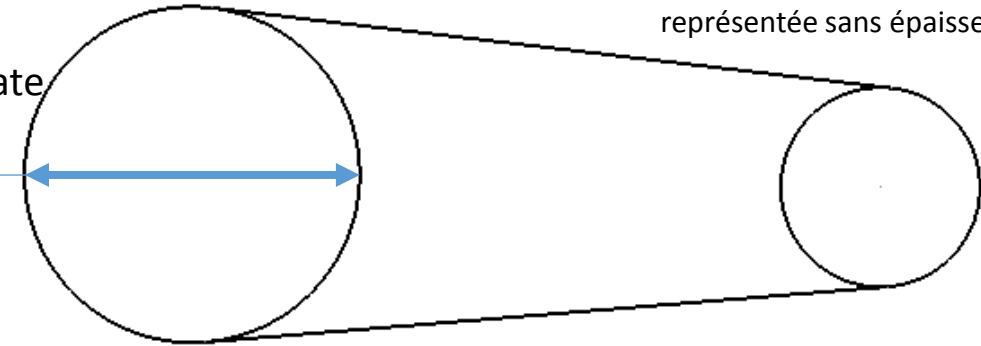
Nous notons que ici les dessins sont très simplifiés

**NOTE : En général une observation pour les lignes cachées sur les dessins des pièces de transmission est qu'elles ne sont pas représentées. Dans la plupart de cas, elles ne démontrent pas de détails indispensables car ces détails sont déjà indiqués sur une coupe.**

La ligne en trait mixte n'est pas visible.  
La courroie est représentée sans épaisseur

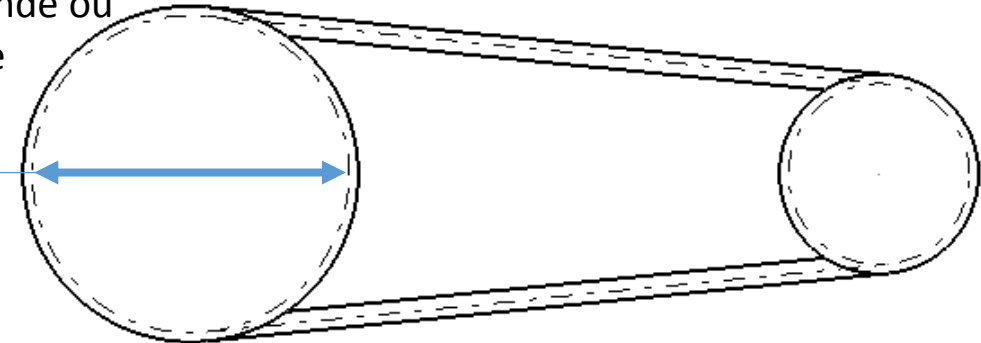
Courroie Plate

$$d = d_e$$



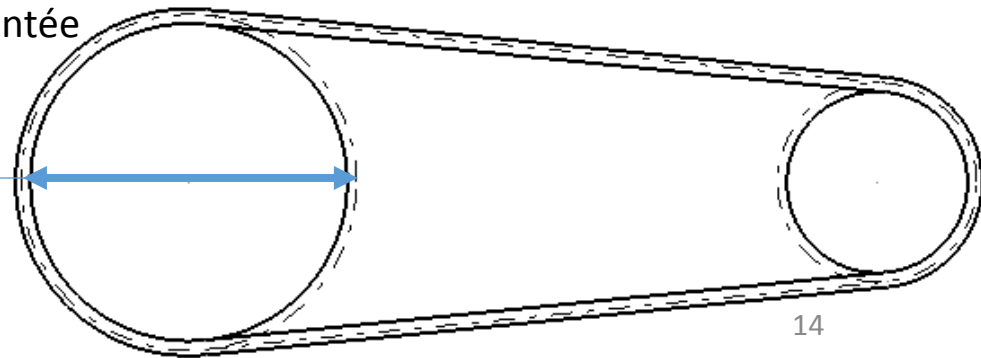
Courroie Ronde ou Trapézoïdale

$$d < d_e$$



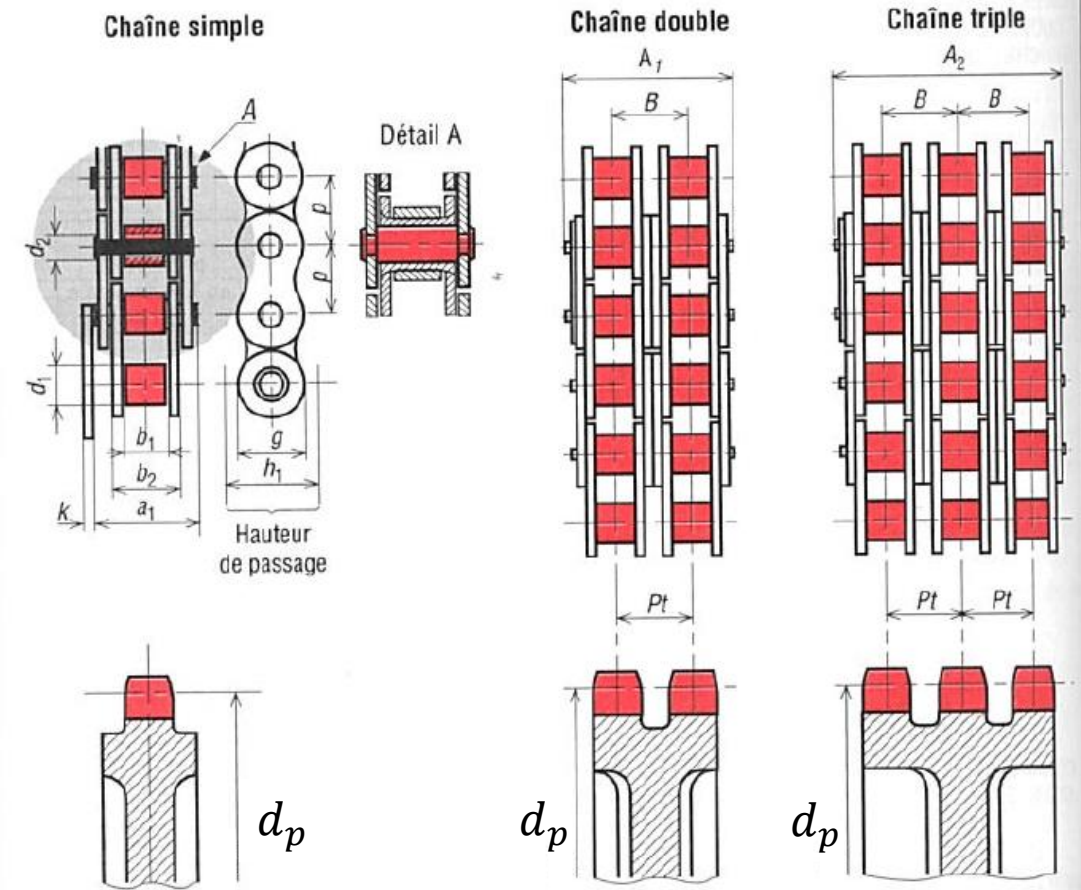
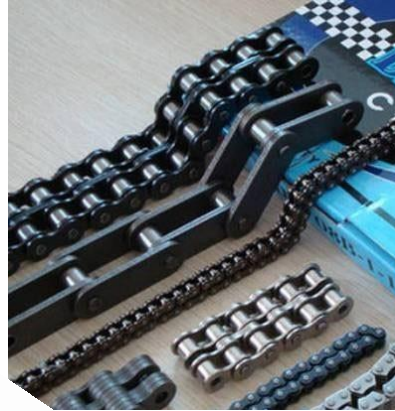
Courroie Crantée

$$d > d_e$$



# Roues à chaîne (ang : roller chain)

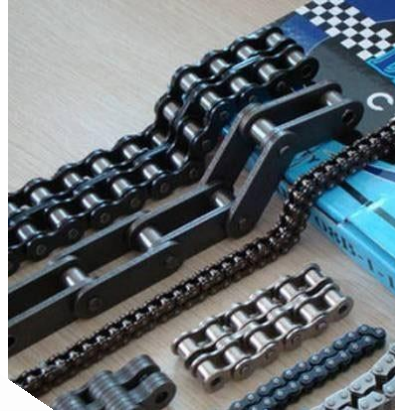
Une chaîne est composée d'une suite de maillons articulés formés de flasques reliant des axes porteurs de rouleaux. L'engrènement des rouleaux sur les roues dentées permet de transmettre le mouvement de rotation entre la roue menante et la roue menée sans contact entre elles. Trois séries de dimensions sont normalisées : la **série A** (chaînes dérivées des séries américaines), la **série B** (chaînes européennes), la **série pour cycles et motocycles**.



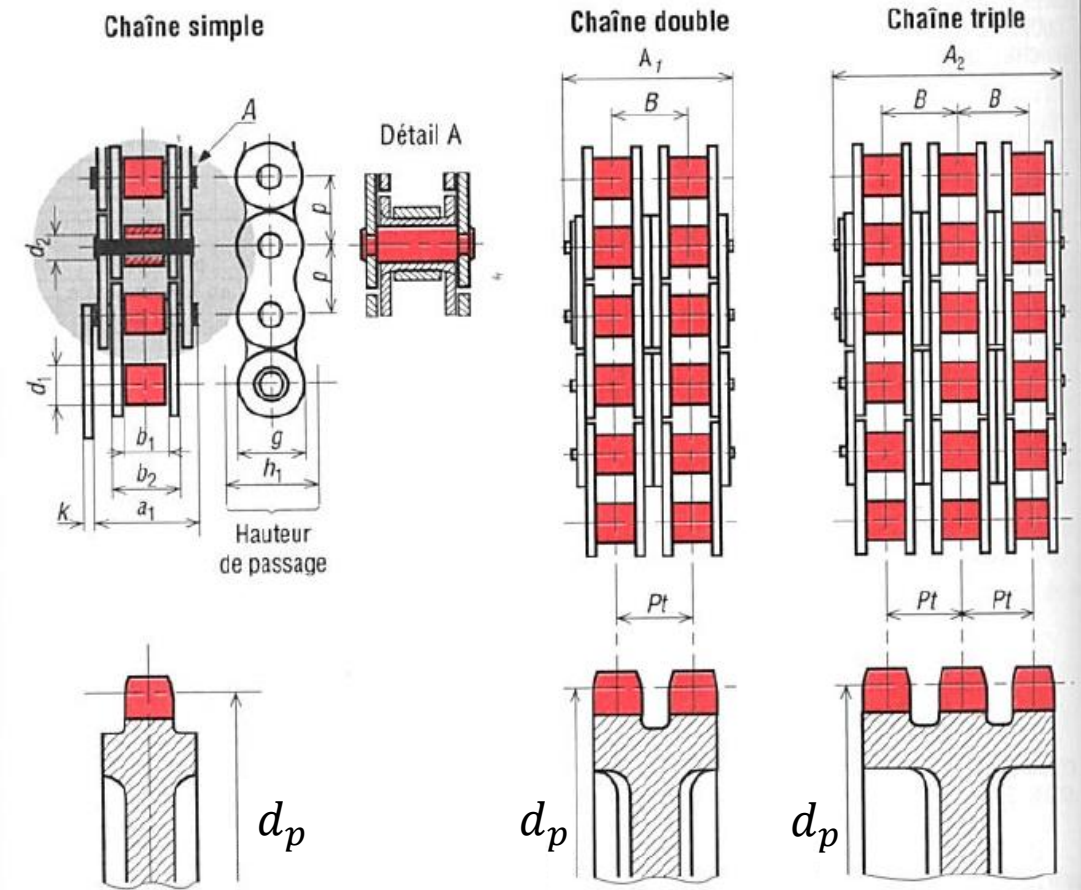


# Roues à chaîne (ang : roller chain)

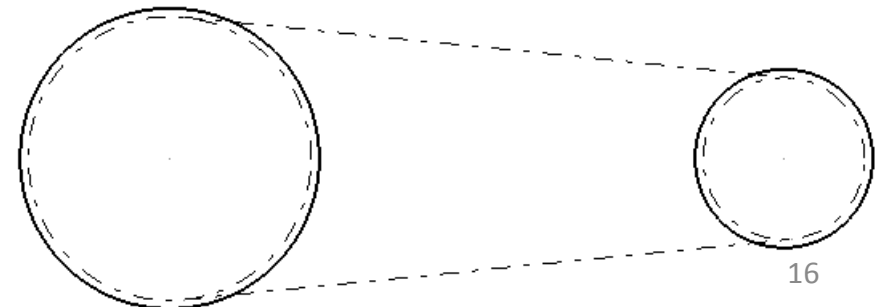
Une chaîne est composée d'une suite de maillons articulés formés de flasques reliant des axes porteurs de rouleaux. L'engrènement des rouleaux sur les roues dentées permet de transmettre le mouvement de rotation entre la roue menante et la roue menée sans contact entre elles. Trois séries de dimensions sont normalisées : la **série A** (chaînes dérivées des séries américaines), la **série B** (chaînes européennes), la **série pour cycles et motocycles**.



Pour arbre cannelé



Dessin : La chaîne est représentée par une ligne en trait mixte (sans épaisseur)



# Engrenages

Les mécanismes basés sur des engrenages sont connus depuis l'antiquité. La première calculatrice analogique au fonctionnement basé sur des engrenages est le mécanisme d'Anticythères (vidéo en français 8mn) :

<https://www.youtube.com/watch?v=BG-YxFV8wE8>



Le mécanisme d'Anticythères  
100 av J.-C.

# Engrenages

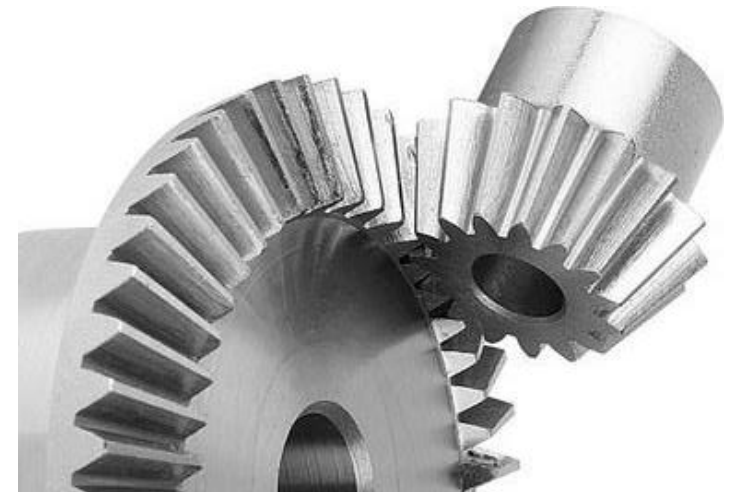
Les mécanismes basés sur des engrenages sont connus depuis l'antiquité. La première calculatrice analogique au fonctionnement basé sur des engrenages est le mécanisme d'Anticythères (vidéo en français 8mn) :

<https://www.youtube.com/watch?v=BG-YxFV8wE8>

Par contre les plus grandes problèmes du fonctionnement des engranges, les vibrations, devront attendre le 18e siècle pour être résolus. A ce moment, les charges des engrenages sont devenues très importantes et la forme de la denture a été revisitée. Depuis, la forme géométrique du profil des engranges est basée sur la développante du cercle et elle est toujours utilisée.



Denture 17ème siècle



Denture moderne



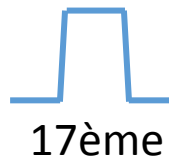
# Engrenages

Les mécanismes basés sur des engrenages sont connus depuis l'antiquité. La première calculatrice analogique au fonctionnement basé sur des engrenages est le mécanisme d'Anticythères (vidéo en français 8mn) :

<https://www.youtube.com/watch?v=BG-YxFV8wE8>

Par contre les plus grandes problèmes du fonctionnement des engranges, les vibrations, devront attendre le 18e siècle pour être résolus. A ce moment, les charges des engrenages sont devenues très importantes et la forme de la denture a été revisitée. Depuis, la forme géométrique du profil des engranges est basée sur la développante du cercle et elle est toujours utilisée.

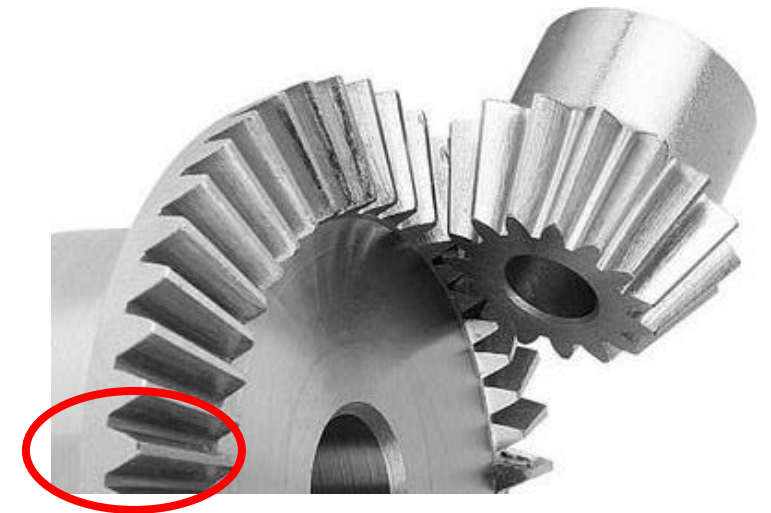
Observez les **différences** aux deux profils de la dent :



DI9



Denture 17ème siècle



Denture moderne

# Engrenages

Les mécanismes basés sur des engrenages sont connus depuis l'antiquité. La première calculatrice analogique au fonctionnement basé sur des engrenages est le mécanisme d'Anticythères (vidéo en français 8mn) :

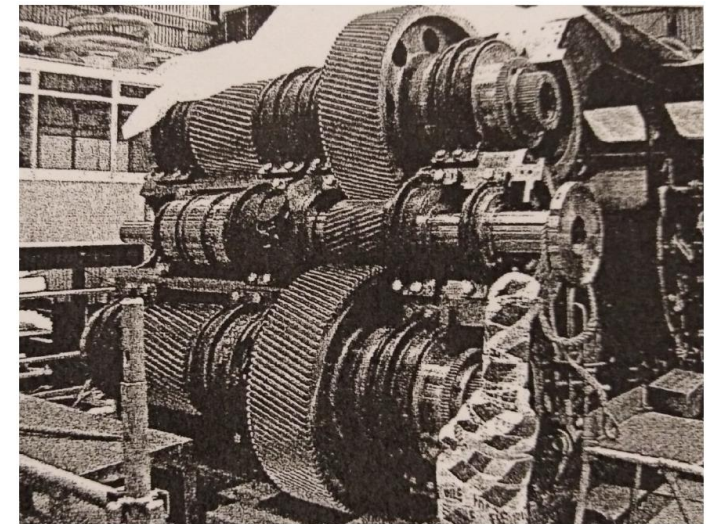
<https://www.youtube.com/watch?v=BG-YxFV8wE8>

Par contre les plus grandes problèmes du fonctionnement des engranges, les vibrations, devront attendre le 18e siècle pour être résolus. A ce moment, les charges des engrenages sont devenues très importantes et la forme de la denture a été revisitée. Depuis, la forme géométrique du profil des engranges est basée sur la développante du cercle et elle est toujours utilisée.

Cette forme nous permet d'avoir de mécanismes basés sur engrenages très performants, fiables et de transmettre des charges très importantes.



Denture moderne



Réducteur du Forbin  
(frégate en service depuis 2010,  
propulsion type CODOG)

# Caractérisations des engrenages

- Par rapport au placement relatif de ses axes :

1. Axes parallèles
2. Axes concourants
3. Axes aux différentes plans

- Par rapport à leurs dentures :

1. Denture Droite
2. Denture Hélicoïdale
3. Denture Hypoïde

- Par rapport à la forme de la roue :

1. Cylindrique
2. Conique
3. Crémaillère
4. Vis sans fin
5. Extérieur/Intérieur

# Caractérisations des engrenages

- Par rapport au placement relatif de ses axes :

1. Axes parallèles
2. Axes concourants
3. Axes aux différentes plans

- Par rapport à leurs dentures :

1. Denture Droite
2. Denture Hélicoïdale
3. Denture Hypoïde

- Par rapport à la forme de la roue :

1. Cylindrique
2. Conique
3. Crémaillère
4. Vis sans fin
5. Extérieur/Intérieur

**ATTENTION :**  
**C'est très important le savoir**  
**caractériser les engrenages en**  
**utilisant ce vocabulaire**



# Engrenages aux axes parallèles



Pour montage  
à un arbre  
cannelé

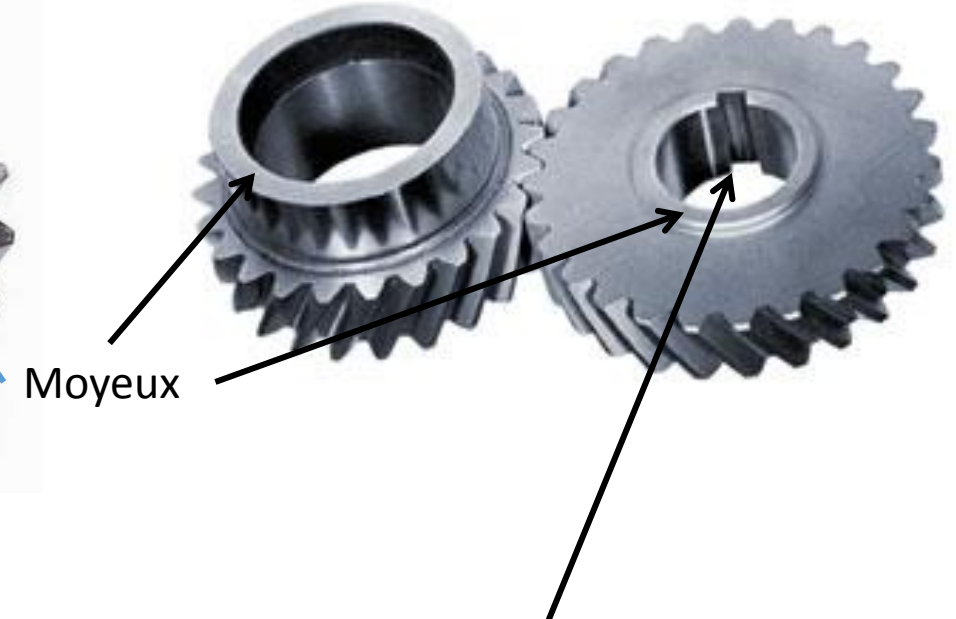


Rainure pour montage  
avec clavette

# Engrenages aux axes parallèles



Pour montage  
à un arbre  
cannelé



Moyeux

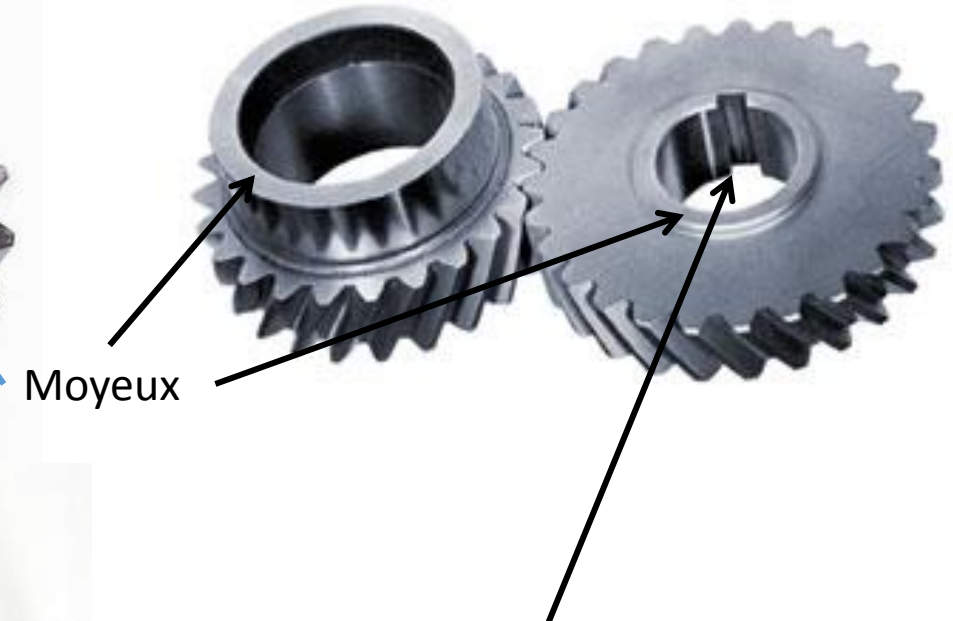
Rainure pour montage  
avec clavette

# Engrenages aux axes parallèles

Roues  
Extérieures



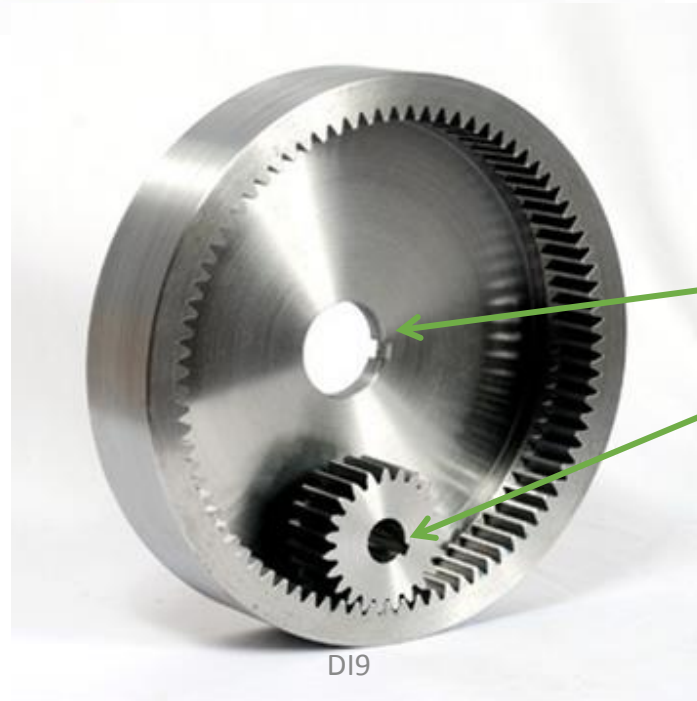
Pour montage  
à un arbre  
cannelé



Moyeux

Rainure pour montage  
avec clavète

Roues  
Intérieures



DI9



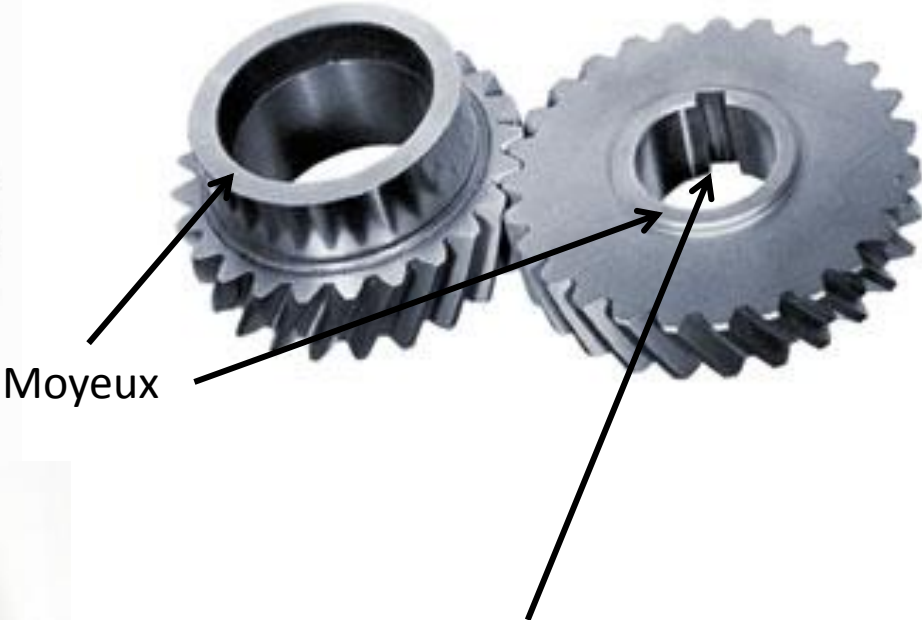
# Engrenages aux axes parallèles

Roues  
Extérieures



Pour montage  
à un arbre  
cannelé

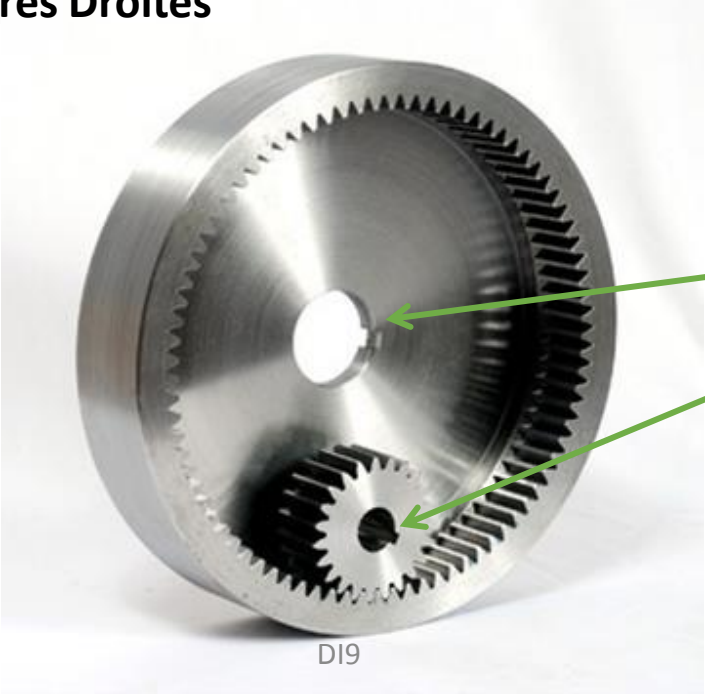
Dentures  
Hélicoïdales



Moyeux

Rainure pour montage  
avec clavète

Roues  
Intérieures



D19

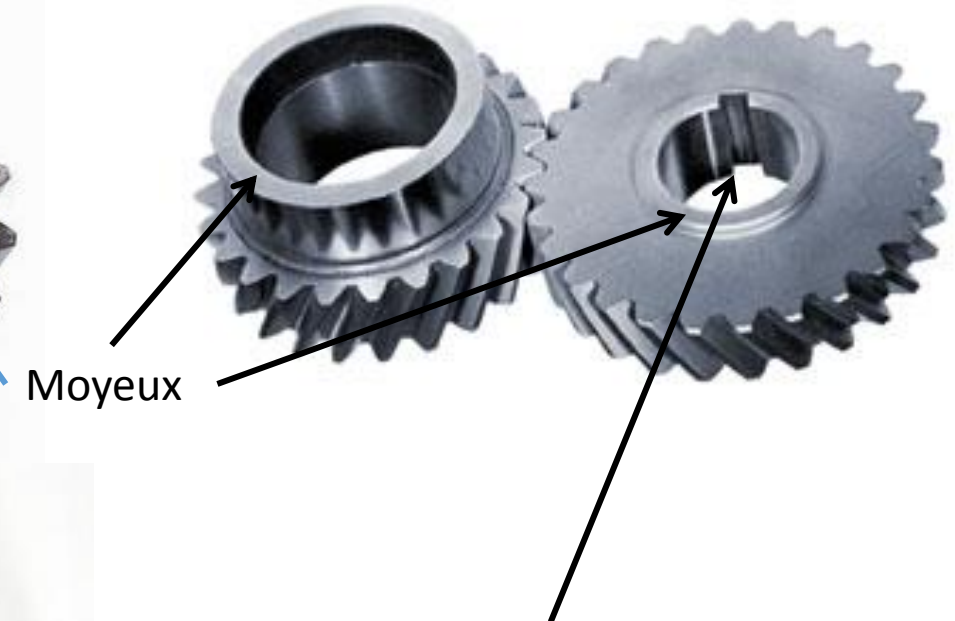
# Engrenages aux axes parallèles

Roues  
Extérieures



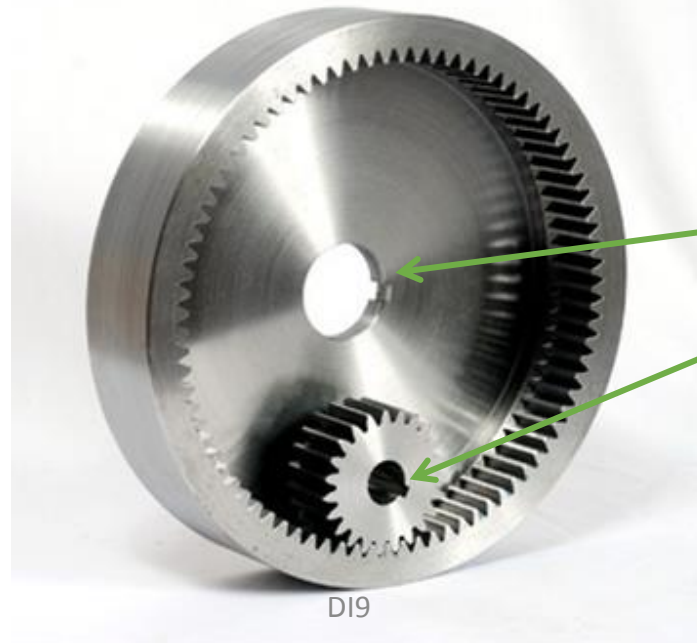
Pour montage  
à un arbre  
cannelé

Dentures  
Hélicoïdales



Tous ces  
engrenages sont  
**cylindriques**  
(ang : spur gears)

Roues  
Intérieures



Rainure pour montage  
avec clavète

# Engrenages aux axes concourants

Axes à 90°



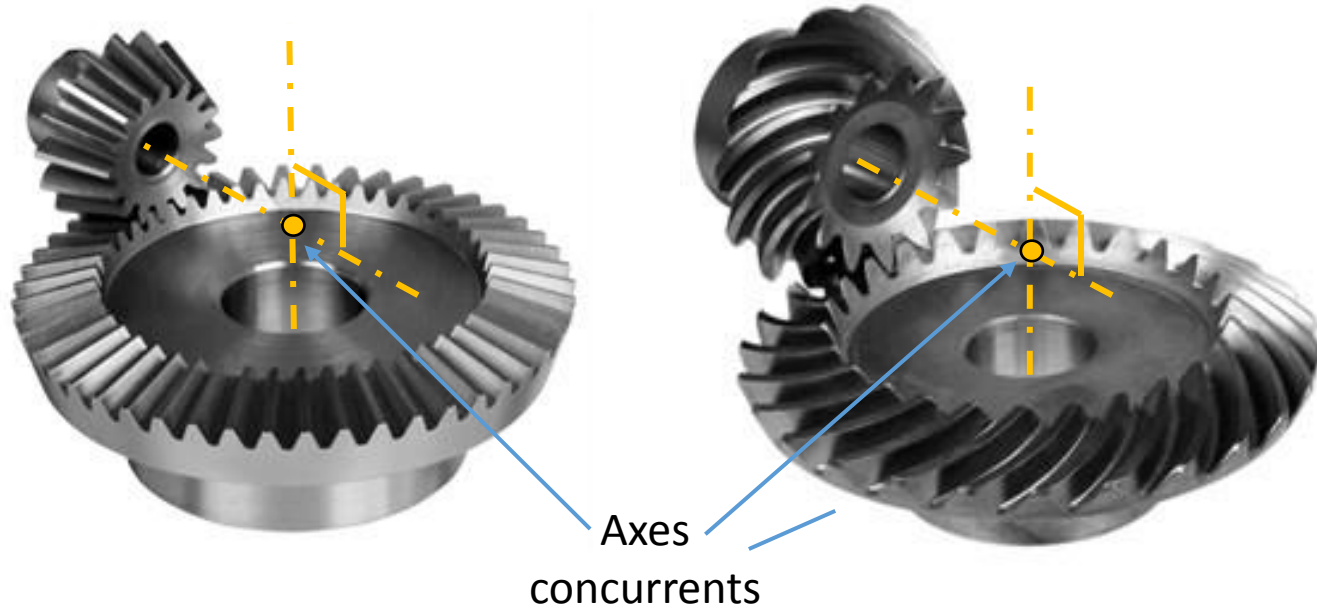
Axes à 60°





# Engrenages aux axes concourants

Axes à 90°



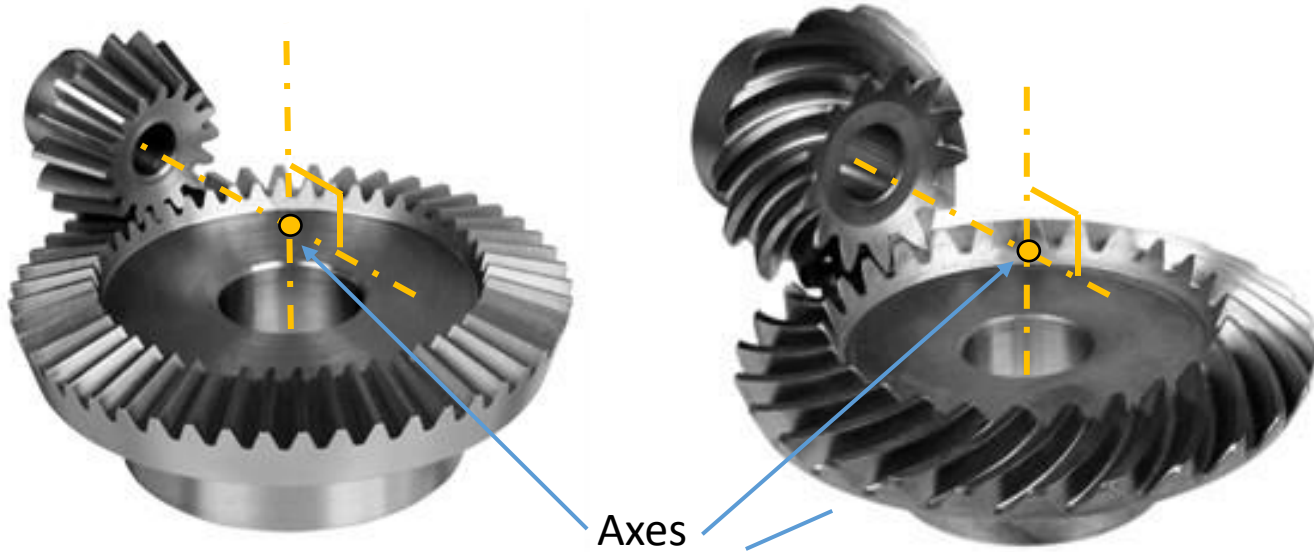
Axes à 60°





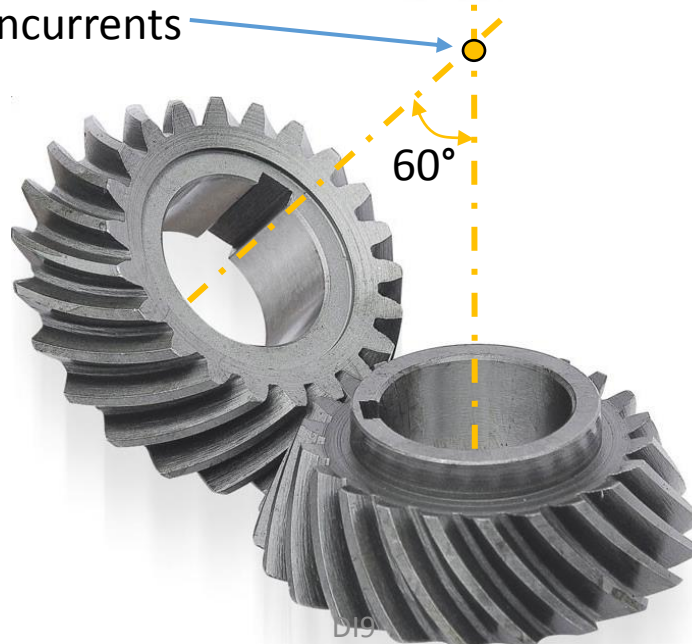
# Engrenages aux axes concourants

Axes à 90°



Axes  
concurrents

Axes à 60°



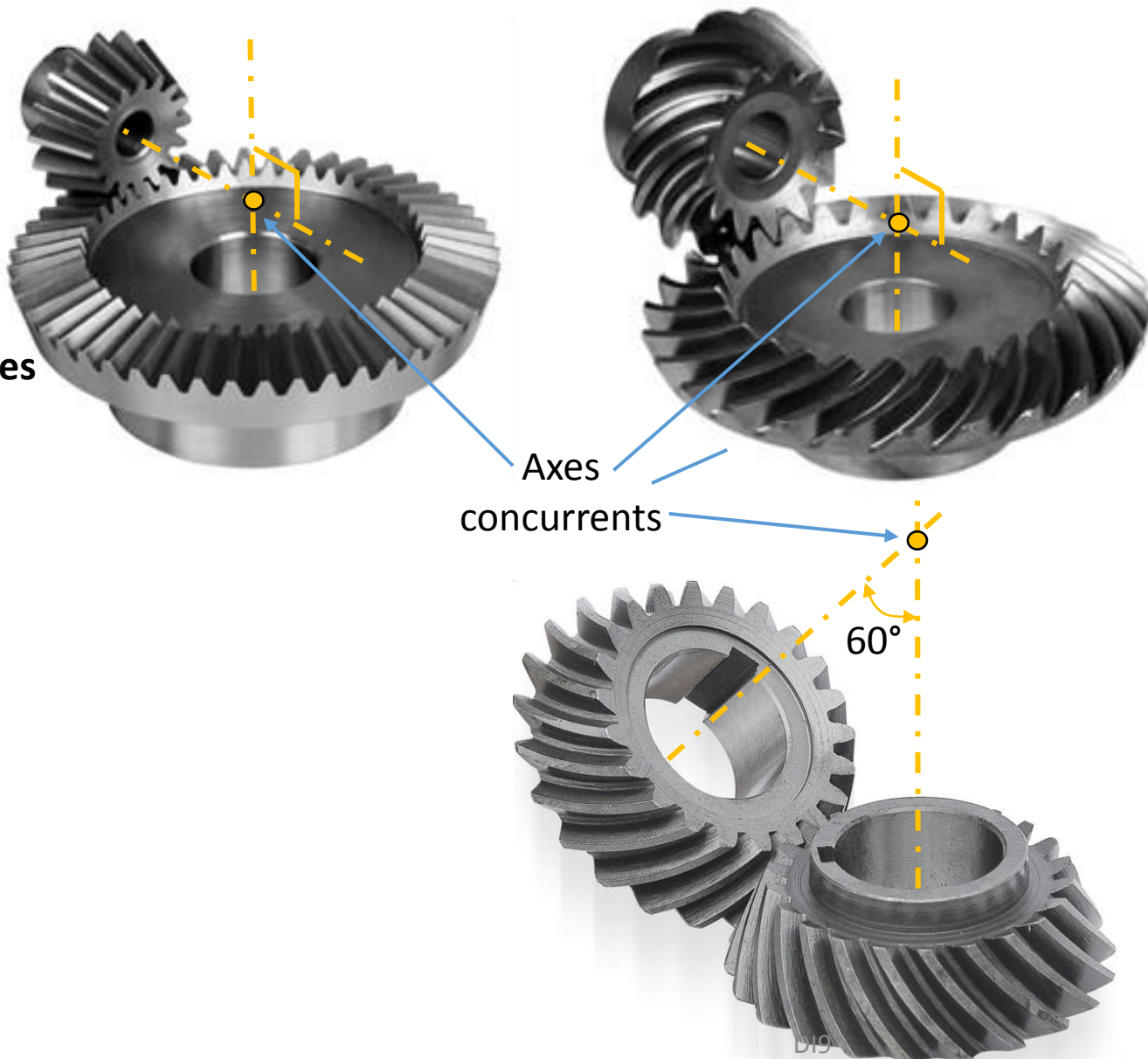
# Engrenages aux axes concourants

Axes à 90°

Dentures Droites

Axes  
concurrents

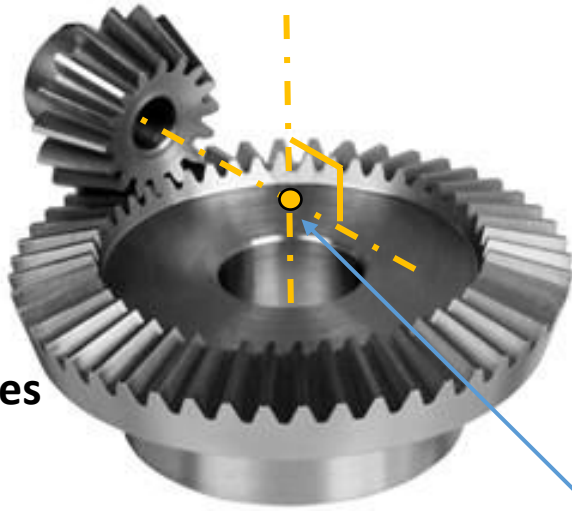
Axes à 60°



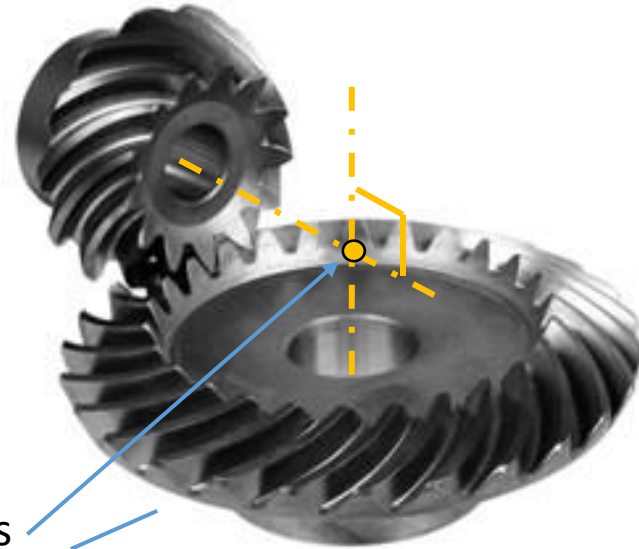
# Engrenages aux axes concourants

Axes à 90°

Dentures Droites



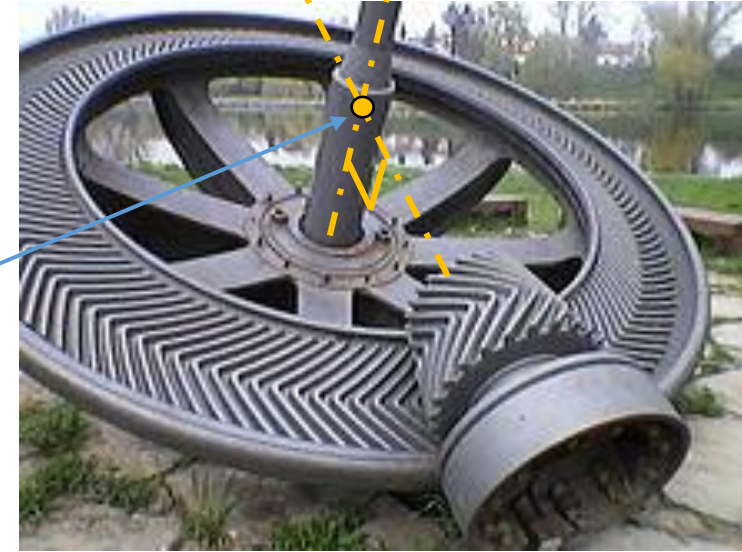
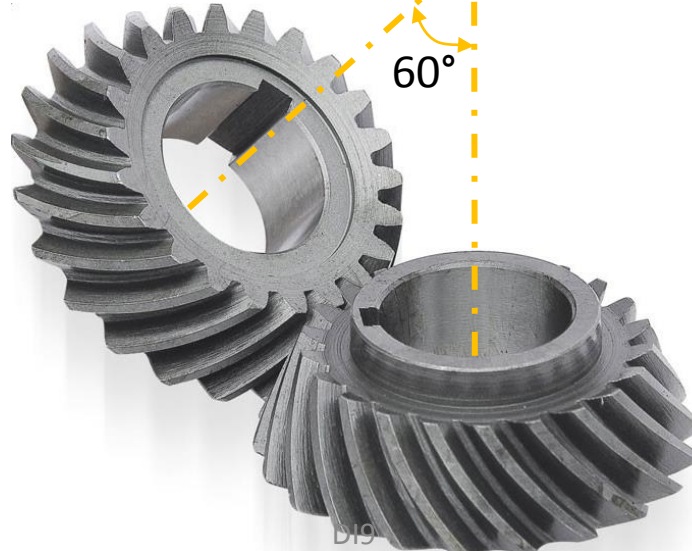
Axes  
concurrents



Dentures  
Hélicoïdales

60°

Axes à 60°



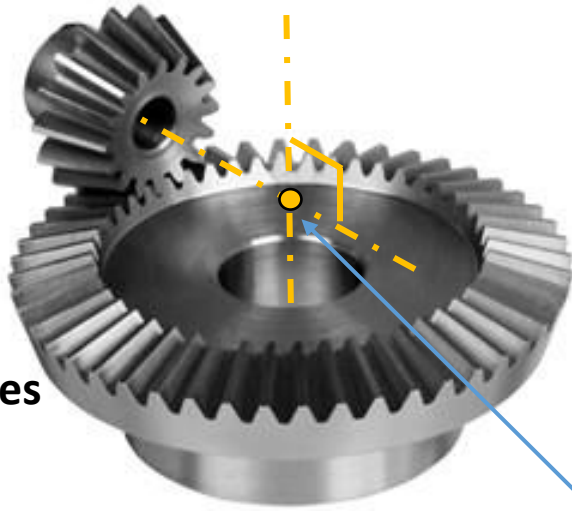
Roues à  
chevrons



# Engrenages aux axes concourants

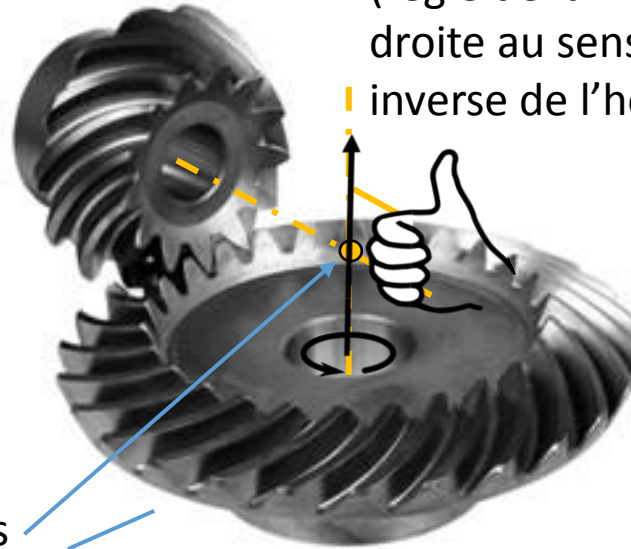
Axes à 90°

Dentures Droites



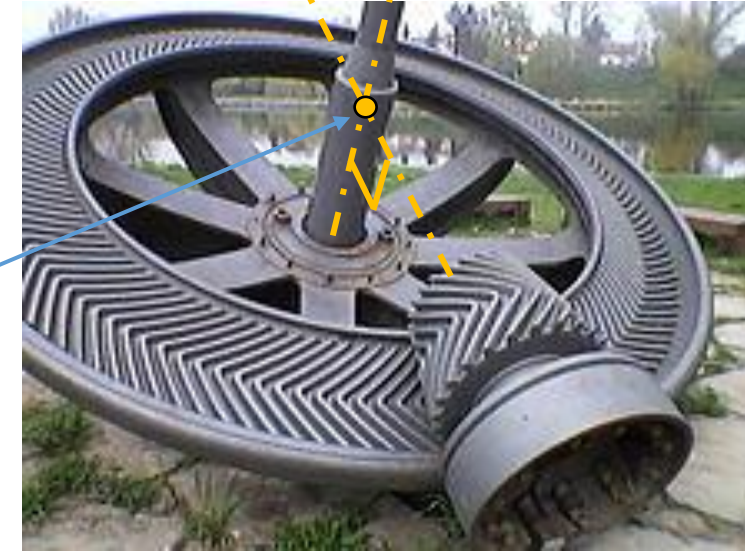
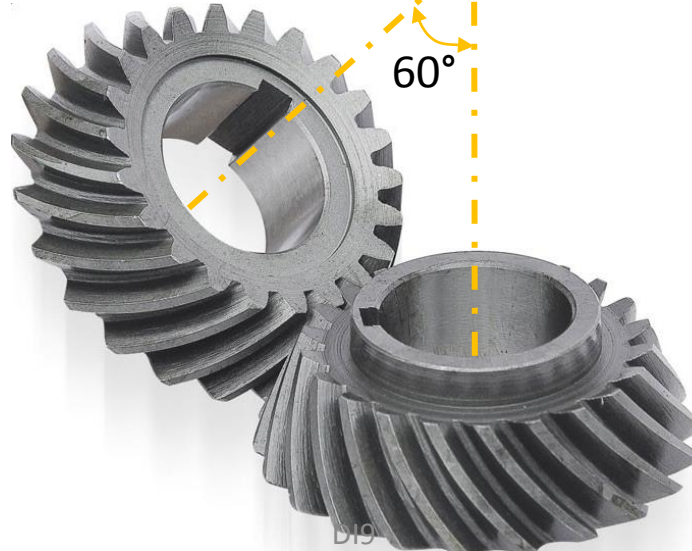
Axes  
concurrents

Avec hélice à droite  
(règle de la main  
droite au sens  
inverse de l'hélice)



Dentures  
Hélicoïdales

60°



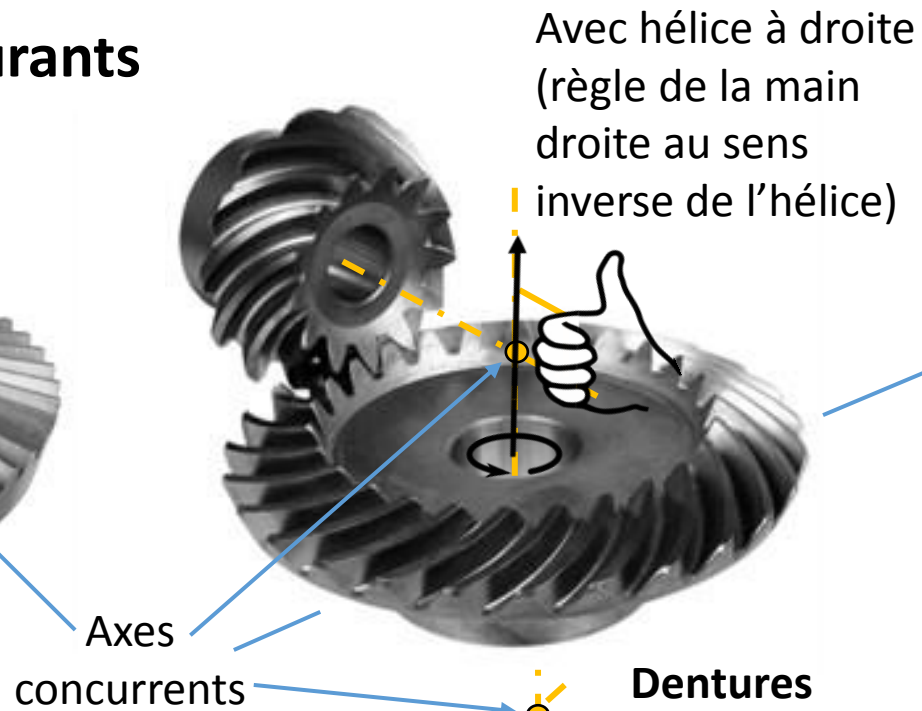
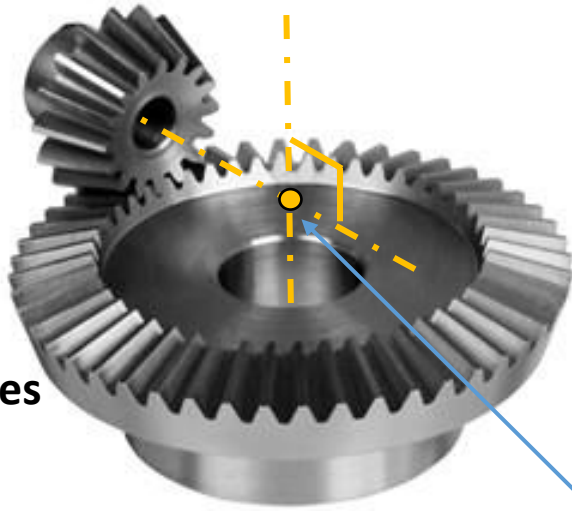
Roues à  
chevrons

Axes à 60°

# Engrenages aux axes concourants

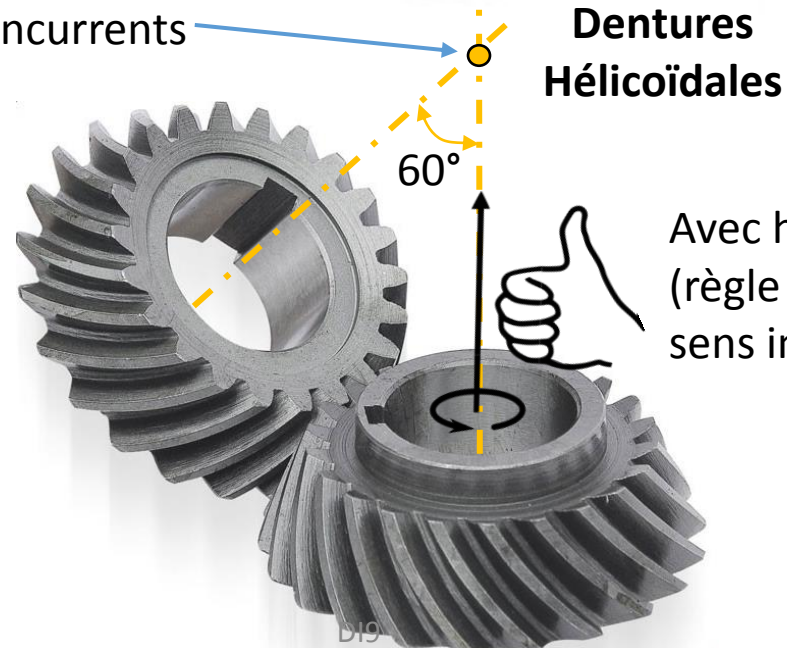
Axes à 90°

Dentures Droites



Roues à chevrons

Axes à 60°



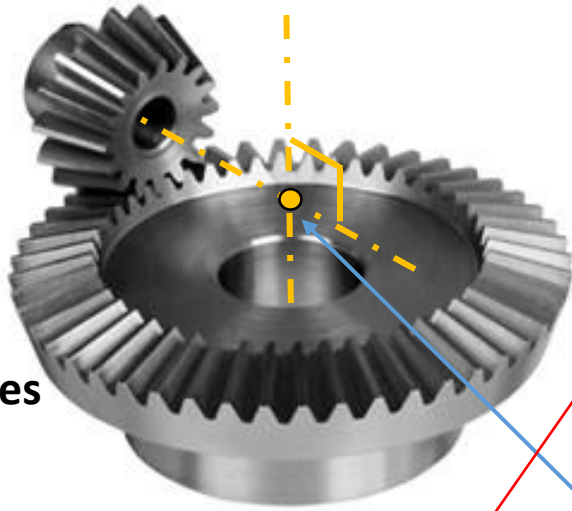
Dentures Hélicoïdales



# Engrenages aux axes concourants

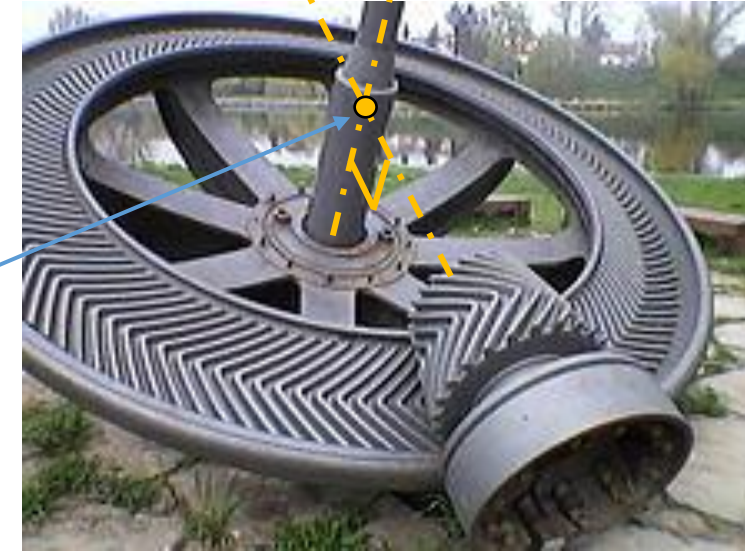
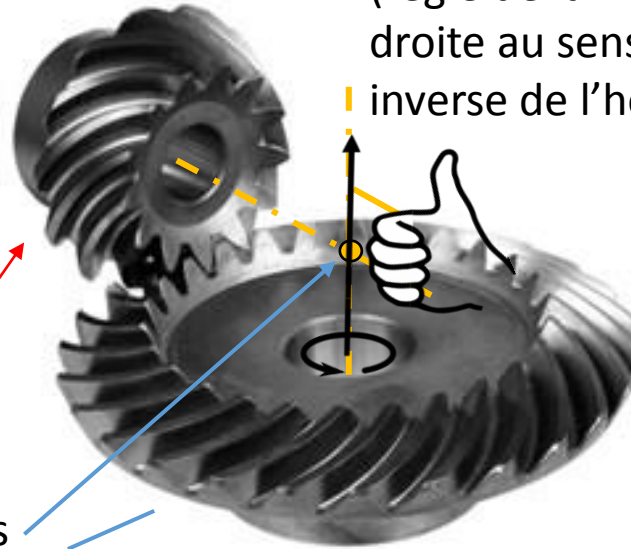
Axes à 90°

Dentures Droites



Avec hélice à droite  
(règle de la main  
droite au sens  
inverse de l'hélice)

Axes  
concurrents

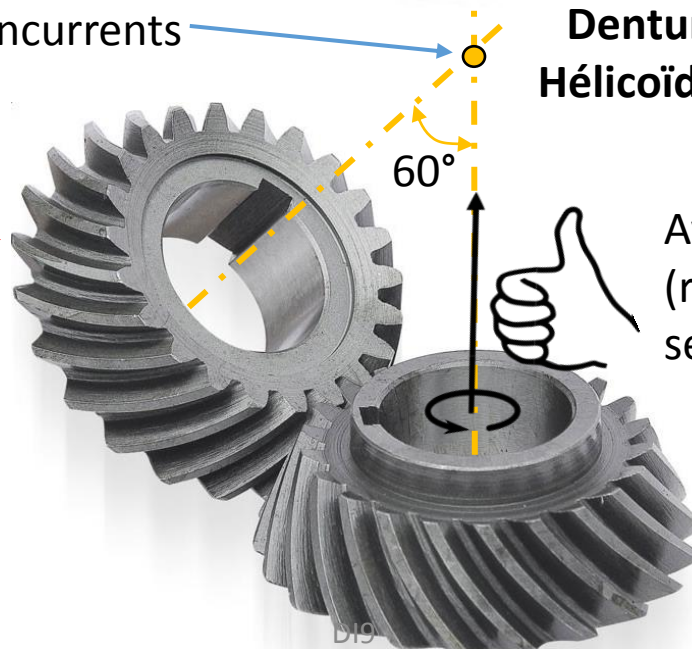


Roues à  
chevrons

Dentures  
Hélicoïdales

Caractérisez l'hélice du pignon  
et de cette roue  
comme droite/gauche.  
Quelle est votre observation ?

Axes à 60°



Avec hélice à gauche  
(règle de la main droite au  
sens inverse de l'hélice)

# Engrenages aux axes concourants

Axes à 90°

Dentures Droites

Tous ces engrenages sont **coniques**  
(ang : bevel gears)

Axes à 60°

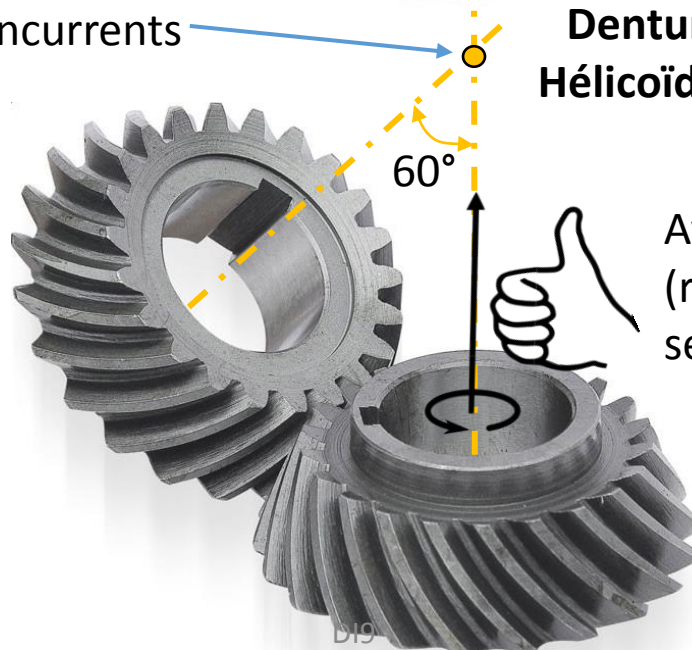
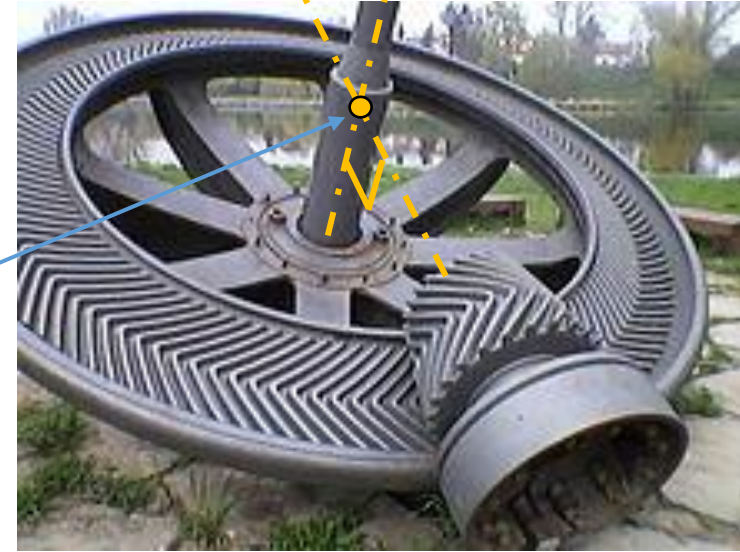
Avec hélice à droite  
(règle de la main droite au sens inverse de l'hélice)

Axes concurrents

Dentures Hélicoïdales

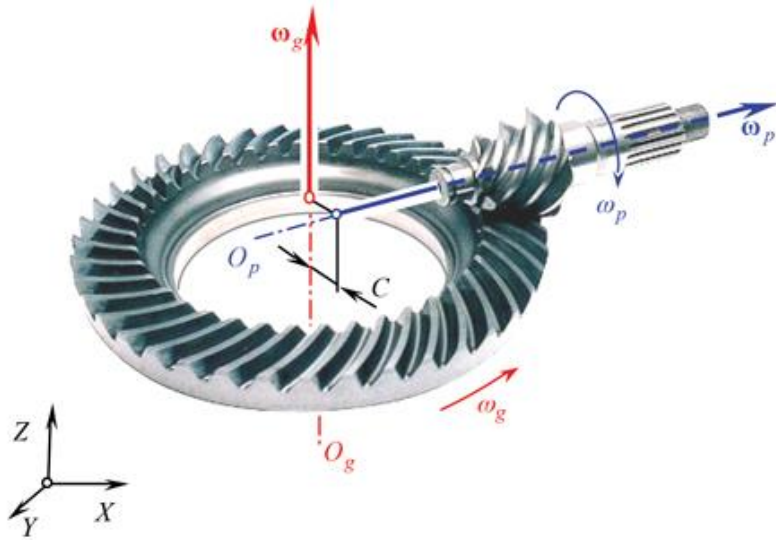
Avec hélice à gauche  
(règle de la main droite au sens inverse de l'hélice)

Roues à chevrons





## Autres Engrenages



Engrenages avec **denture hypoïde**  
=  
Engrenages conique aux axes non  
concourants

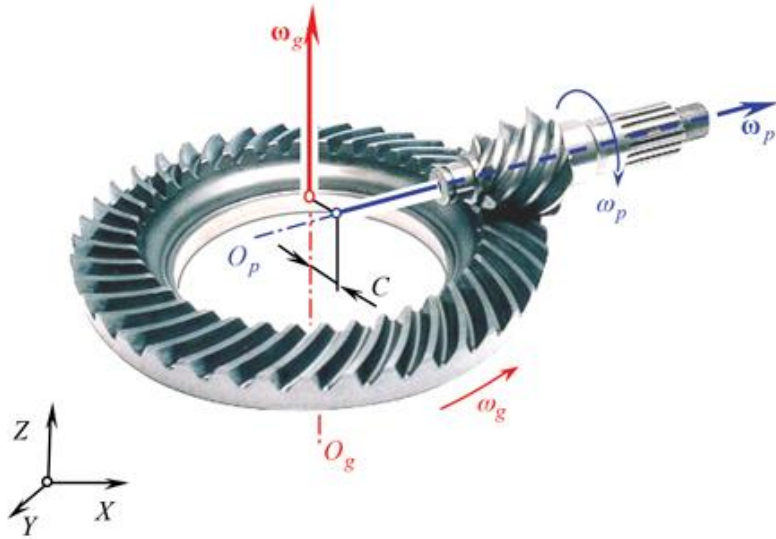


**Vis ou sans fin et roue**  
(ang : worm gears)  
NOTE : on ne dit pas pignon dans ce cas



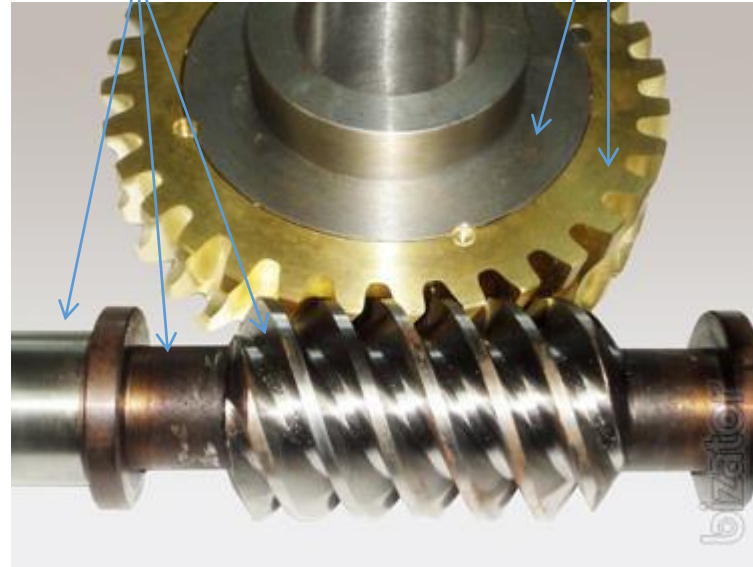
**Pignon et crémaillère**  
(ang : rack and pinion)  
NOTE : on ne dit pas roue dans ce cas

# Autres Engrenages



Engrenages avec **denture hypoïde**  
 =  
 Engrenages conique aux axes non  
 concourants

Différentes matières!!!  
 (très souvent)



**Vis ou sans fin et roue**  
 (ang : worm gears)

NOTE : on ne dit pas pignon dans ce cas

Différentes matières!!!  
 (très souvent)



**Pignon et crémaillère**  
 (ang : rack and pinion)

NOTE : on ne dit pas roue dans ce cas

# Caractérisations des engrenages

- Par rapport au placement relatif de ses axes :

1. Axes parallèles
2. Axes concourants
3. Axes aux différentes plans

- Par rapport à leurs dentures :

1. Denture Droite
2. Denture Hélicoïdale
3. Denture Hypoïde

- Par rapport à leur forme :

1. Cylindrique
2. Conique
3. Crémaillère
4. Vis sans fin
5. Extérieur/Intérieur

NOTE : Avant de passer aux explications des représentations normalisées (du dessin industriel) de ces engrenages, **il est très important de savoir :**

- 1. La notion de module**
- 2. Que le module est relié directement avec la géométrie des engrenages**

# Caractérisations des engrenages

## - Par rapport au placement relatif de ses axes :

1. Axes parallèles
2. Axes concourants
3. Axes aux différentes plans

## - Par rapport à leurs dentures :

1. Denture Droite
2. Denture Hélicoïdale
3. Denture Hypoïde

## - Par rapport à leur forme :

1. Cylindrique
2. Conique
3. Crémaillère
4. Vis sans fin
5. Extérieur/Intérieur

NOTE : Avant de passer aux explications des représentations normalisées (du dessin industriel) de ces engrenages, **il est très important de savoir :**

- 1. La notion de module**
- 2. Que le module est relié directement avec la géométrie des engrenages**

Sur les diapositifs suivants on décrit le module et ses connections avec trois diamètres des engranges : du cercle de la tête, du pied et le cercle primitif.



# Module

Le nombre le plus important pour les engrenages (que vous devrez toujours mémoriser) est le module :

$$m = \frac{\text{diametre primitif}}{\text{numero des dents}} = \frac{d}{Z}$$

Pour que deux engrenages fonctionnent ensemble, **ils doivent avoir le même module.**

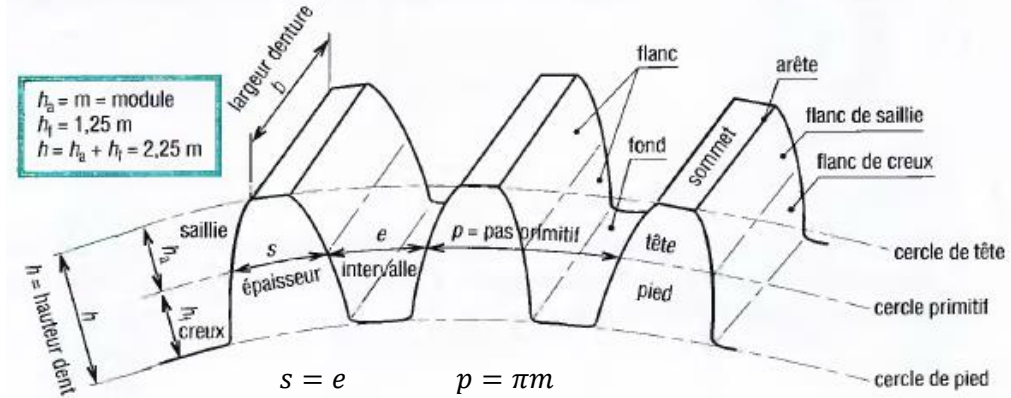
# Module

Le nombre le plus important pour les engrenages (que vous devrez toujours mémoriser) est le module :

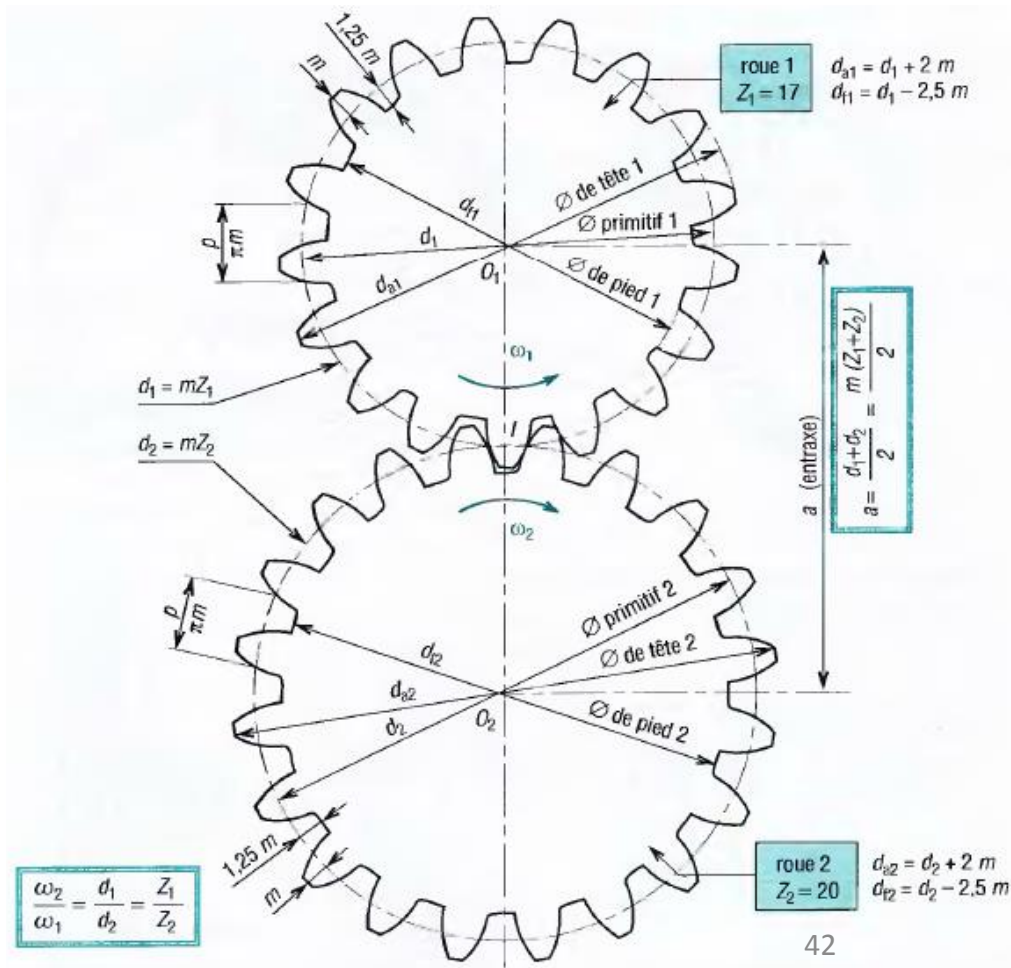
$$m = \frac{\text{diametre primitif}}{\text{numero des dents}} = \frac{d}{Z}$$

Pour que deux engrenages fonctionnent ensemble, **ils doivent avoir le même module.**

Si on connaît le module et un des trois diamètres, soit du cercle de la tête (extrémités des dents) ou du pied (où les dents commencent) ou du cercle primitif (entre les deux autres),



Nomenclature du profil des dents basé sur la développante du cercle



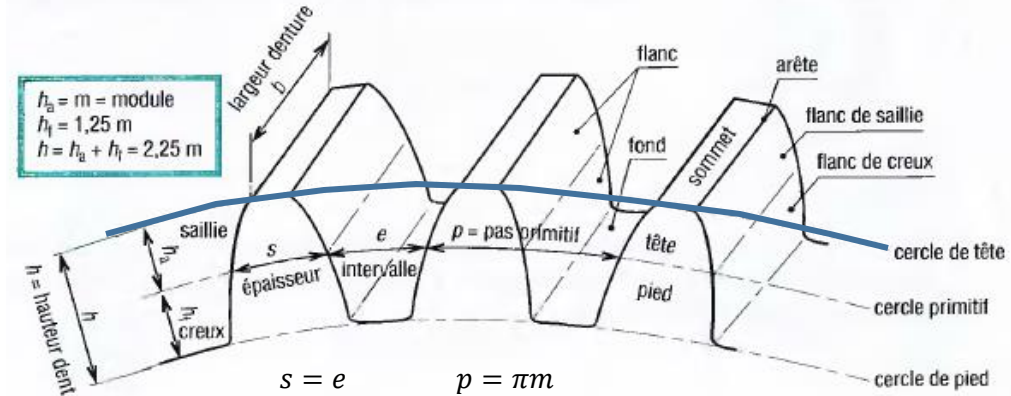
# Module

Le nombre le plus important pour les engrenages (que vous devrez toujours mémoriser) est le module :

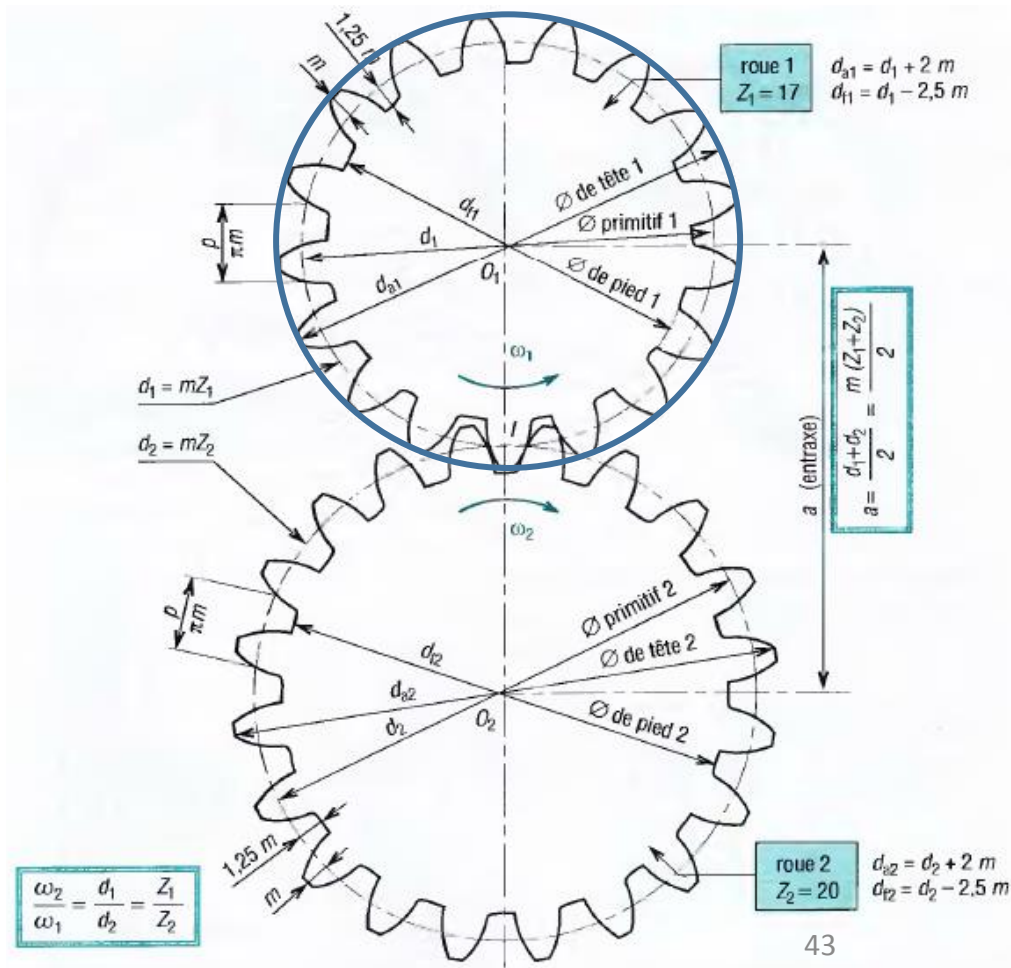
$$m = \frac{\text{diametre primitif}}{\text{numero des dents}} = \frac{d}{Z}$$

Pour que deux engrenages fonctionnent ensemble, **ils doivent avoir le même module**.

Si on connaît le module et un des trois diamètres, soit du **cercle de la tête** (extrémités des dents) ou du pied (où les dents commencent) ou du cercle primitif (entre les deux autres),



Nomenclature du profil des dents basé sur la développante du cercle





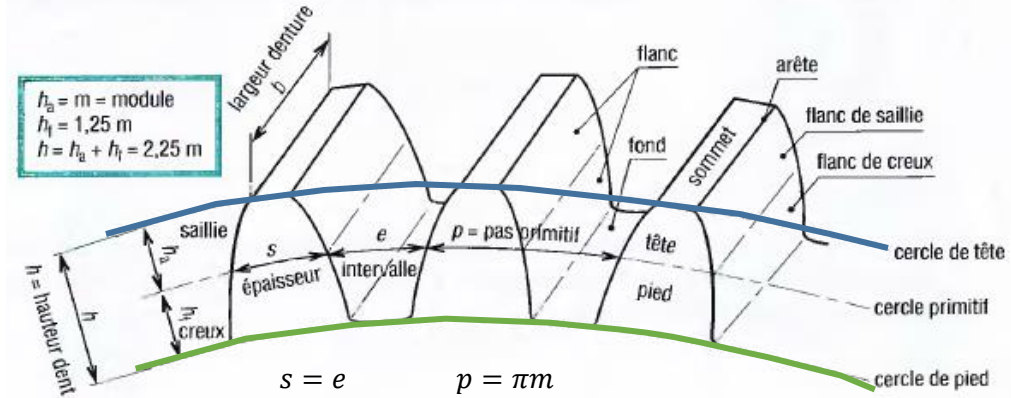
# Module

Le nombre le plus important pour les engrenages (que vous devrez toujours mémoriser) est le module :

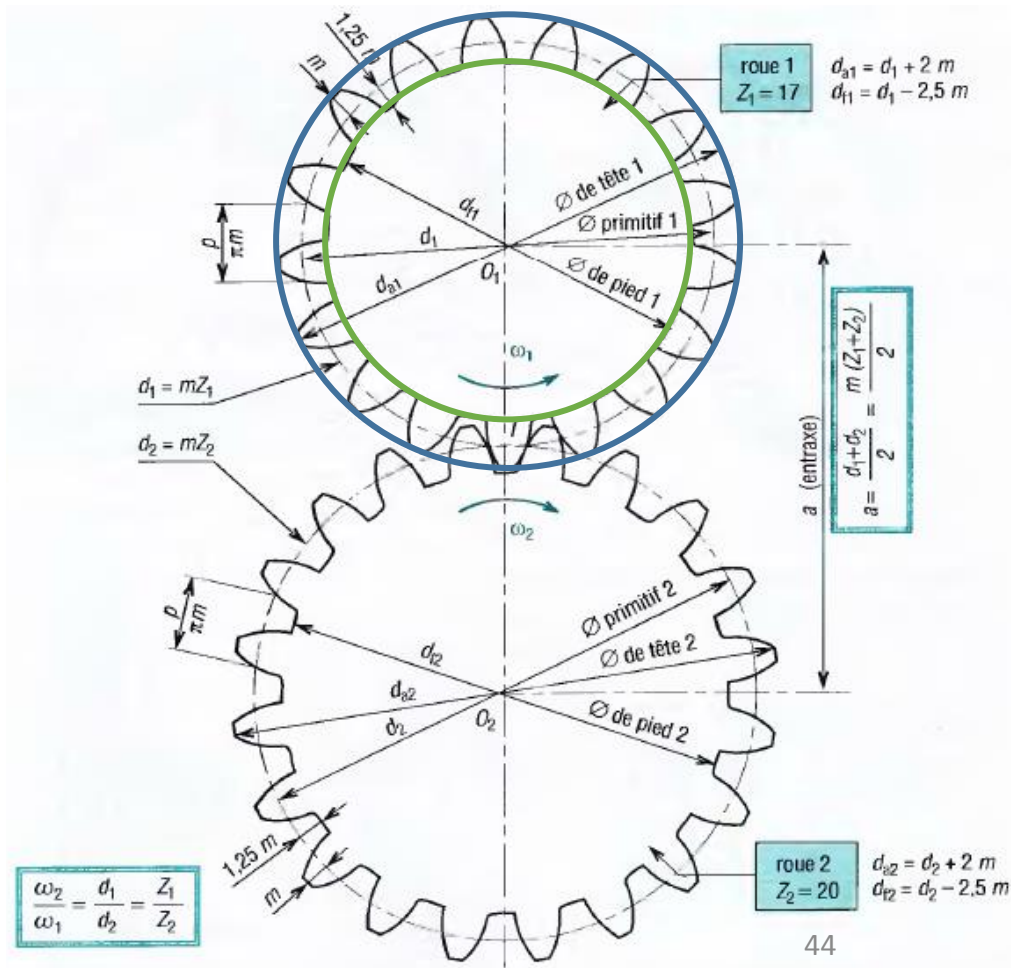
$$m = \frac{\text{diametre primitif}}{\text{numero des dents}} = \frac{d}{Z}$$

Pour que deux engrenages fonctionnent ensemble, **ils doivent avoir le même module**.

Si on connaît le module et un des trois diamètres, soit du **cercle de la tête** (extrémités des dents) ou du **pied** (où les dents commencent) ou du cercle primitif (entre les deux autres),



Nomenclature du profil des dents basé sur la développante du cercle



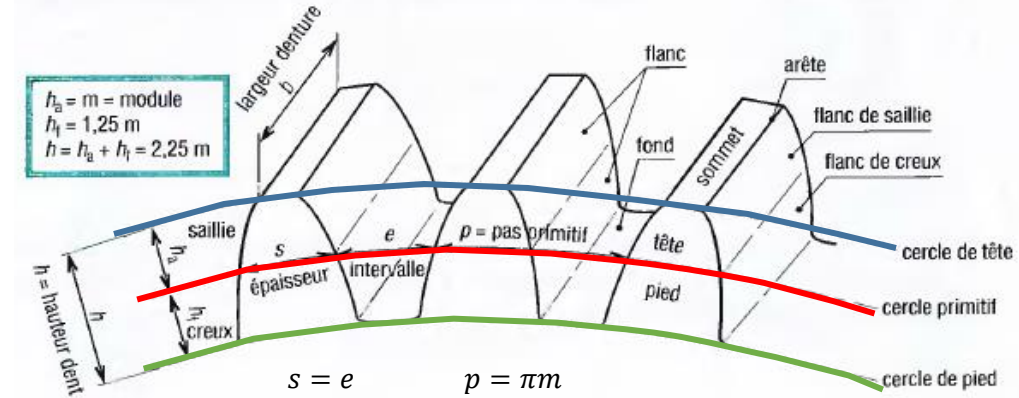
# Module

Le nombre le plus important pour les engrenages (que vous devrez toujours mémoriser) est le module :

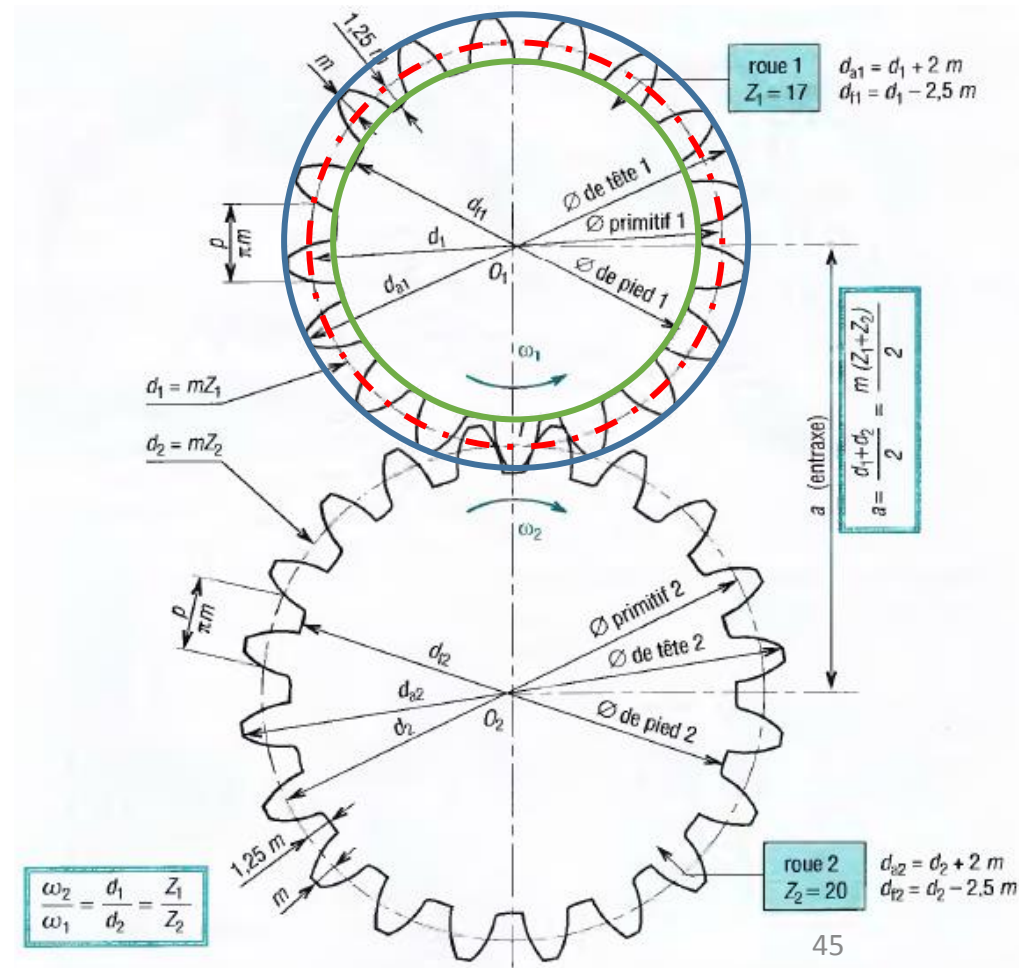
$$m = \frac{\text{diametre primitif}}{\text{numero des dents}} = \frac{d}{Z}$$

Pour que deux engrenages fonctionnent ensemble, **ils doivent avoir le même module**.

Si on connaît le module et un des trois diamètres, soit du **cercle de la tête** (extrémités des dents) ou du **pied** (où les dents commencent) ou du **cercle primitif** (entre les deux autres),



Nomenclature du profil des dents basé sur la développante du cercle



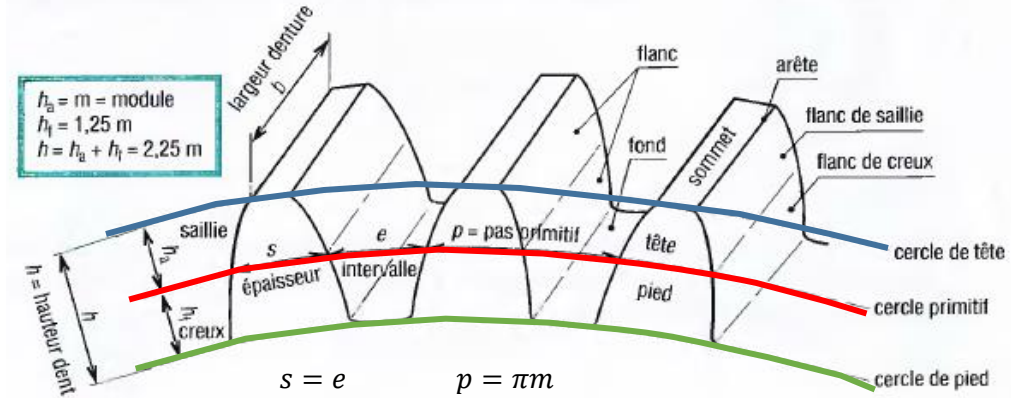
# Module

Le nombre le plus important pour les engrenages (que vous devrez toujours mémoriser) est le module :

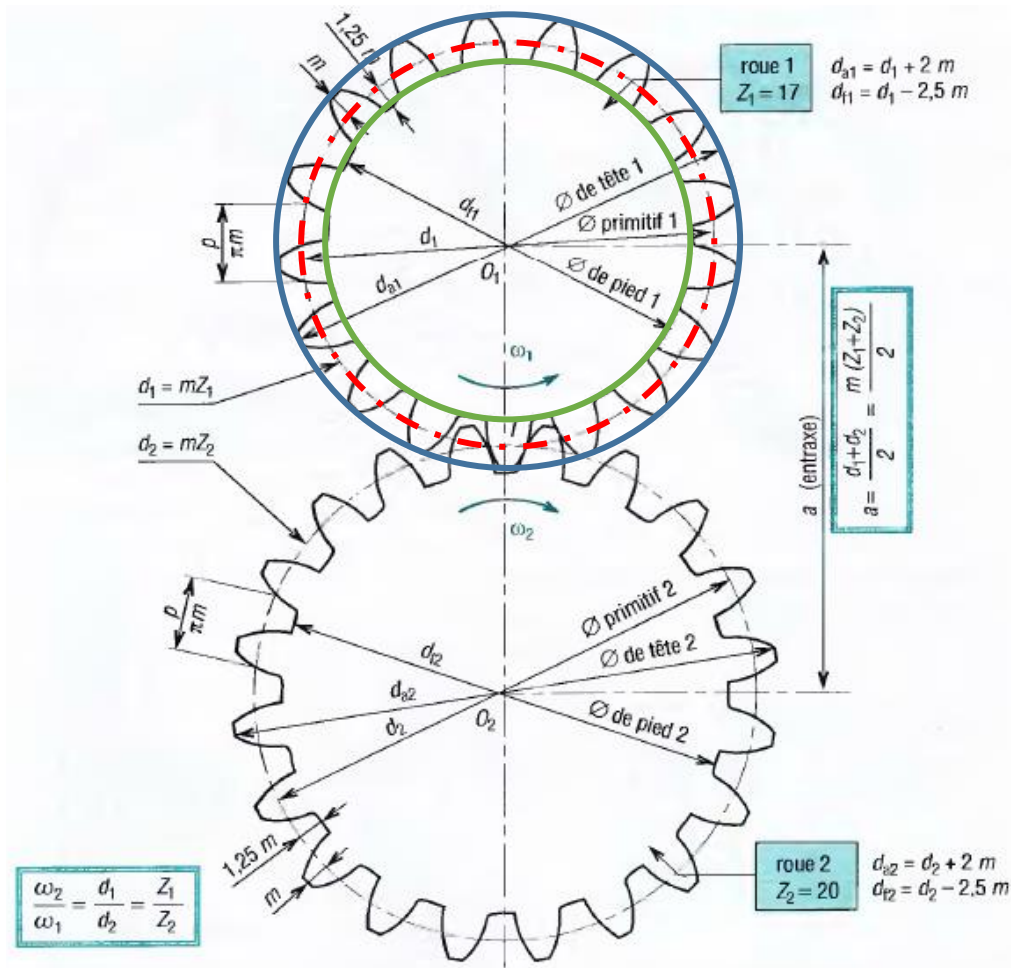
$$m = \frac{\text{diametre primitif}}{\text{numero des dents}} = \frac{d}{Z}$$

Pour que deux engrenages fonctionnent ensemble, **ils doivent avoir le même module**.

Si on connaît le module et un des trois diamètres, soit du **cercle de la tête** (extrémités des dents) ou du **pied** (où les dents commencent) ou du **cercle primitif** (entre les deux autres), du pignon (par définition le pignon est la petite roue) et de la roue (la roue en général est la grande roue) on peut complètement définir le système de nos engrenages.



Nomenclature du profil des dents basé sur la développante du cercle





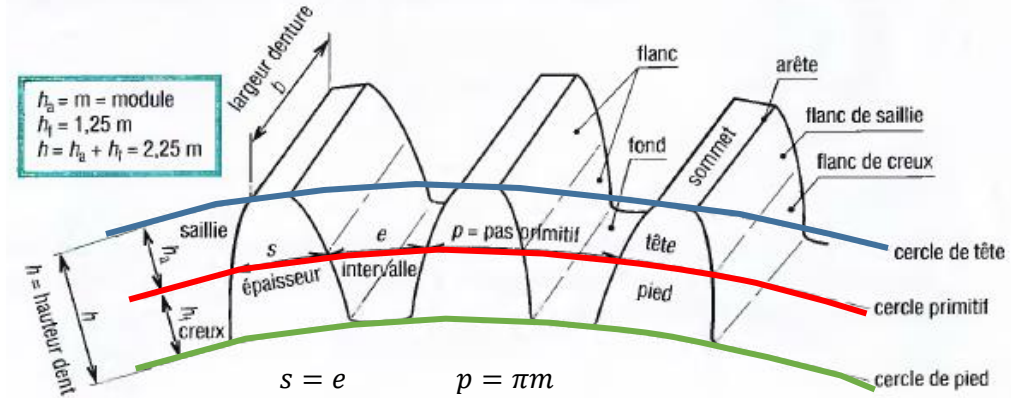
# Module

Le nombre le plus important pour les engrenages (que vous devrez toujours mémoriser) est le module :

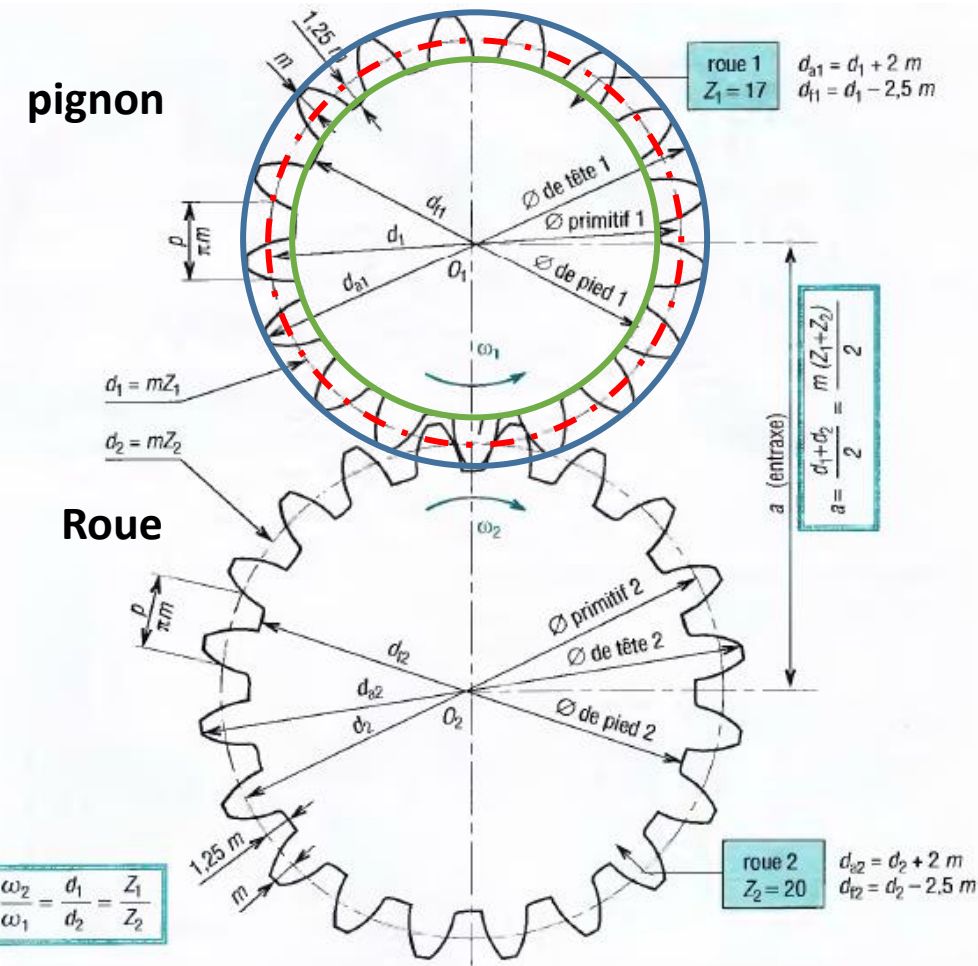
$$m = \frac{\text{diametre primitif}}{\text{numero des dents}} = \frac{d}{Z}$$

Pour que deux engrenages fonctionnent ensemble, **ils doivent avoir le même module**.

Si on connaît le module et un des trois diamètres, soit du **cercle de la tête** (extrémités des dents) ou du **pied** (où les dents commencent) ou du **cercle primitif** (entre les deux autres), du pignon (par définition le pignon est la petite roue) et de la roue (la roue en général est la grande roue) on peut complètement définir le système de nos engrenages.



Nomenclature du profil des dents basé sur la développante du cercle



# Module

Le nombre le plus important pour les engrenages (que vous devrez toujours mémoriser) est le module :

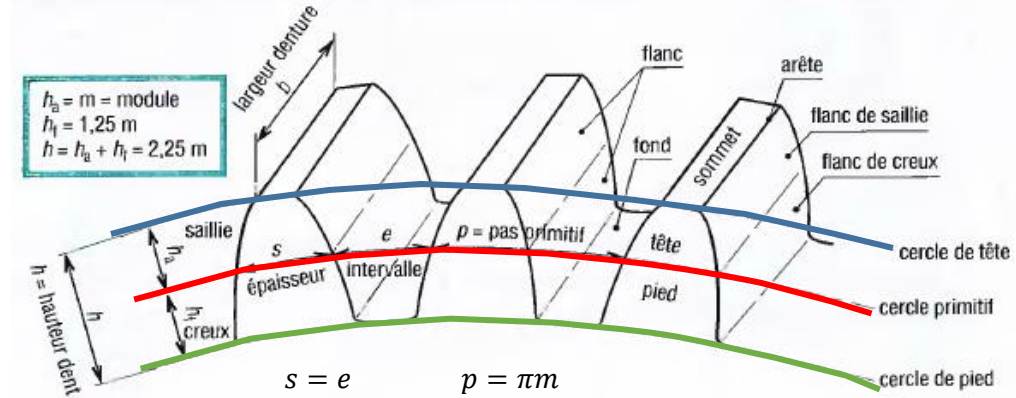
$$m = \frac{\text{diametre primitif}}{\text{numero des dents}} = \frac{d}{Z}$$

Pour que deux engrenages fonctionnent ensemble, **ils doivent avoir le même module**.

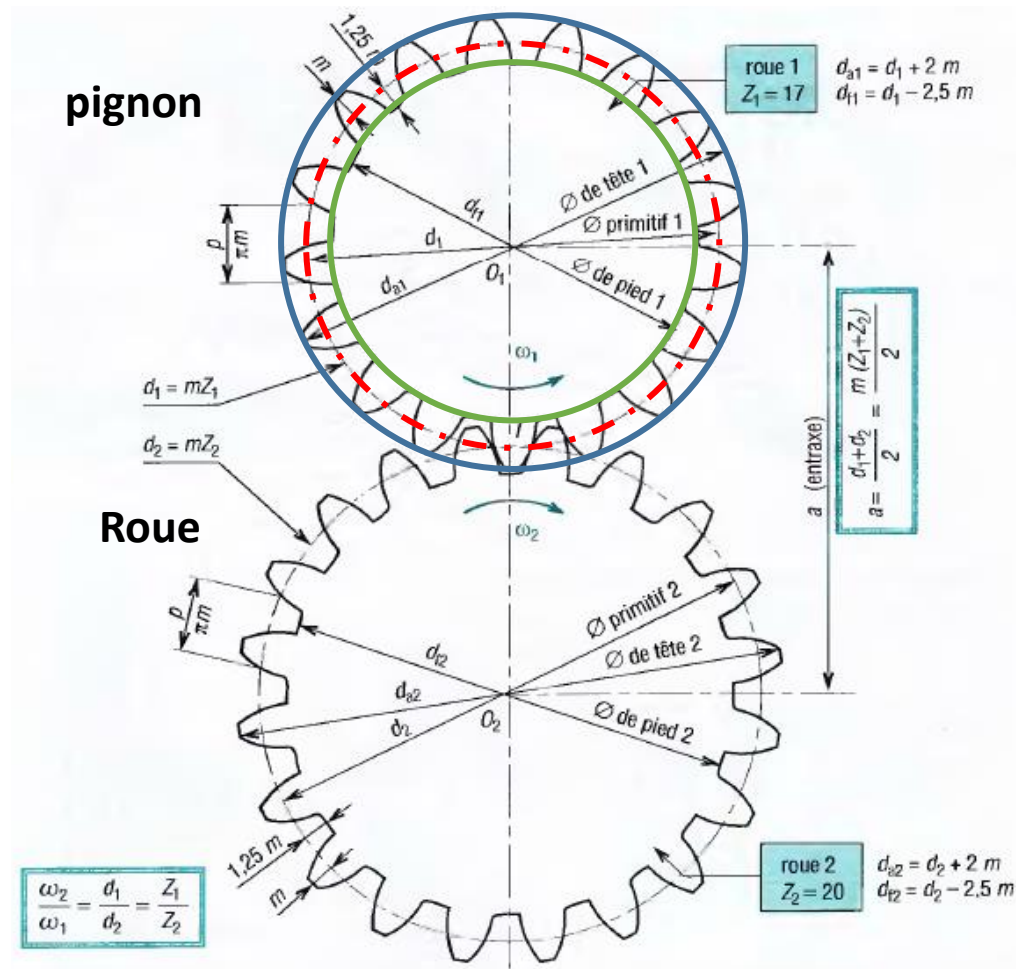
Si on connaît le module et un des trois diamètres, soit du **cercle de la tête** (extrémités des dents) ou du **pied** (où les dents commencent) ou du **cercle primitif** (entre les deux autres), du pignon (par définition le pignon est la petite roue) et de la roue (la roue en général est la grande roue) on peut complètement définir le système de nos engrenages.

Le profil de la denture d'un engrenage a une forme assez compliquée. Il est basé à la développante du cercle et défini par les systèmes de normalisation.

On ne représente jamais les profils de la denture aux dessins industriels.



Nomenclature du profil des dents basé sur la développante du cercle



# Module

Le nombre le plus important pour les engrenages (que vous devrez toujours mémoriser) est le module :

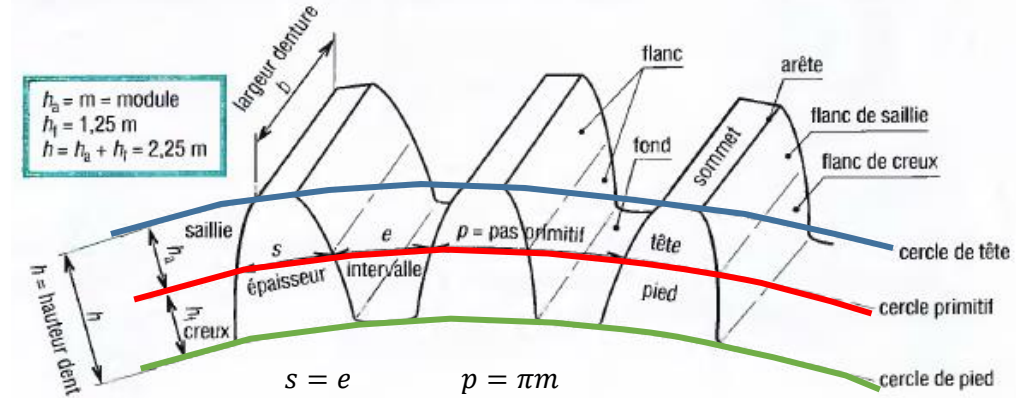
$$m = \frac{\text{diametre primitif}}{\text{numero des dents}} = \frac{d}{Z}$$

Pour que deux engrenages fonctionnent ensemble, **ils doivent avoir le même module.**

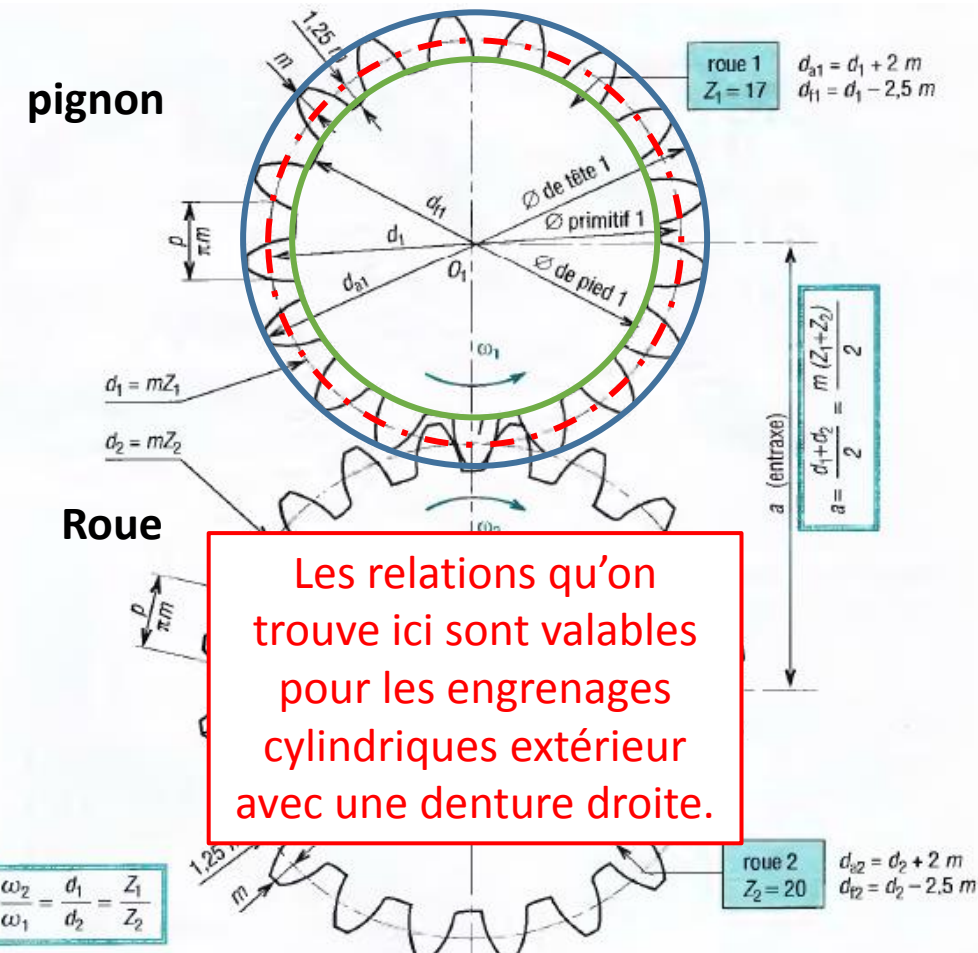
Si on connaît le module et un des trois diamètres, soit du **cercle de la tête** (extrémités des dents) ou du **pied** (où les dents commencent) ou du **cercle primitif** (entre les deux autres), du pignon (par définition le pignon est la petite roue) et de la roue (la roue en général est la grande roue) on peut complètement définir le système de nos engrenages.

Le profil de la denture d'un engrenage a une forme assez compliquée. Il est basé à la développante du cercle et défini par les systèmes de normalisation.

On ne représente jamais les profils de la denture aux dessins industriels.



Nomenclature du profil des dents basé sur la développante du cercle





# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- **Pour les engrenage cylindrique :**



# Représentations normalisées des engrenages

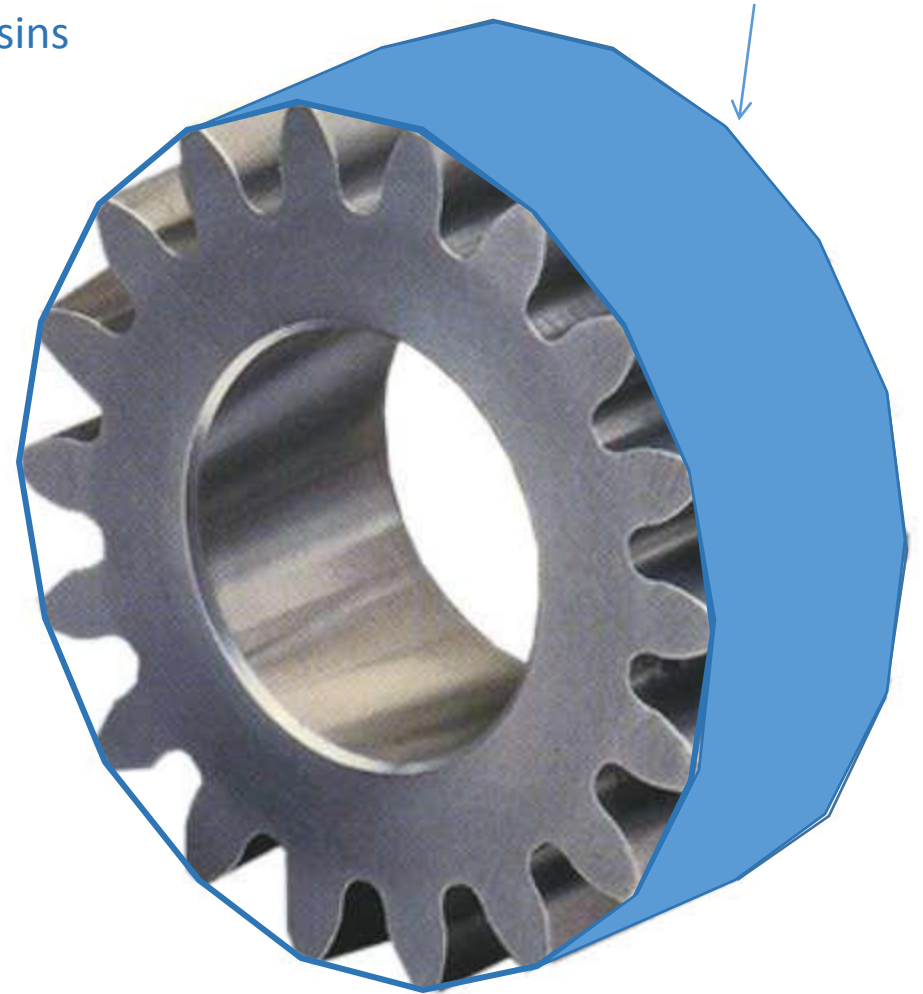
Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre

Cylindre de tête : A représenter comme visible sur les dessins



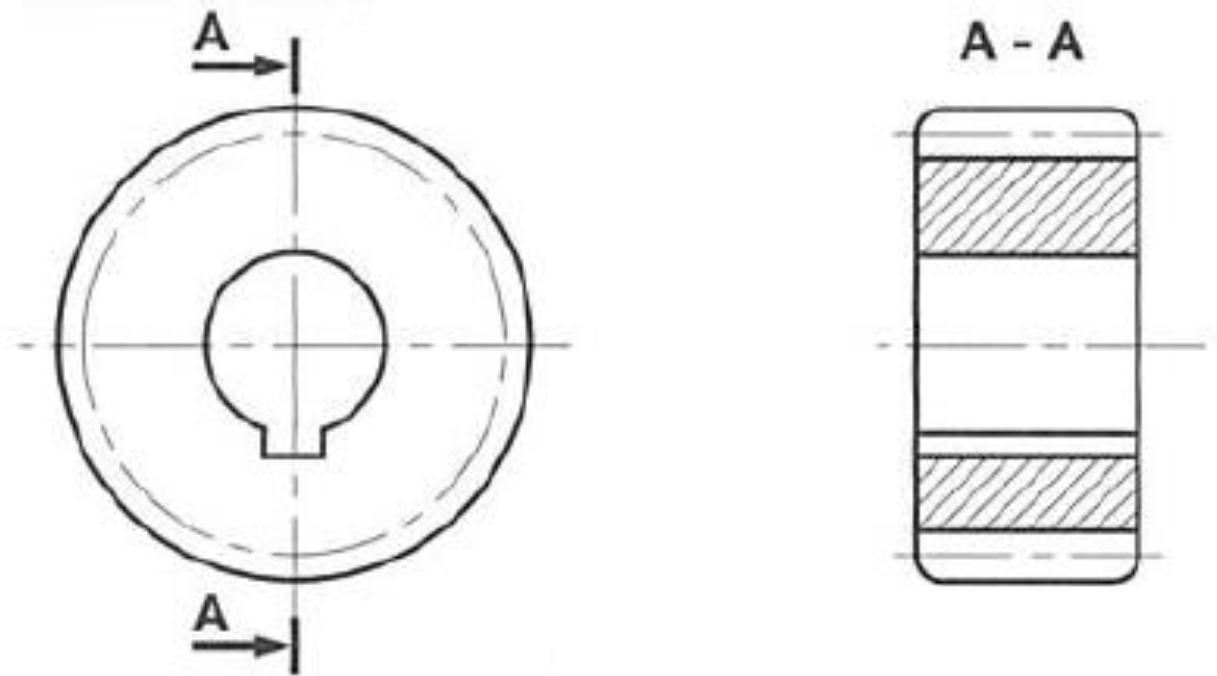
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre





# Représentations normalisées des engrenages

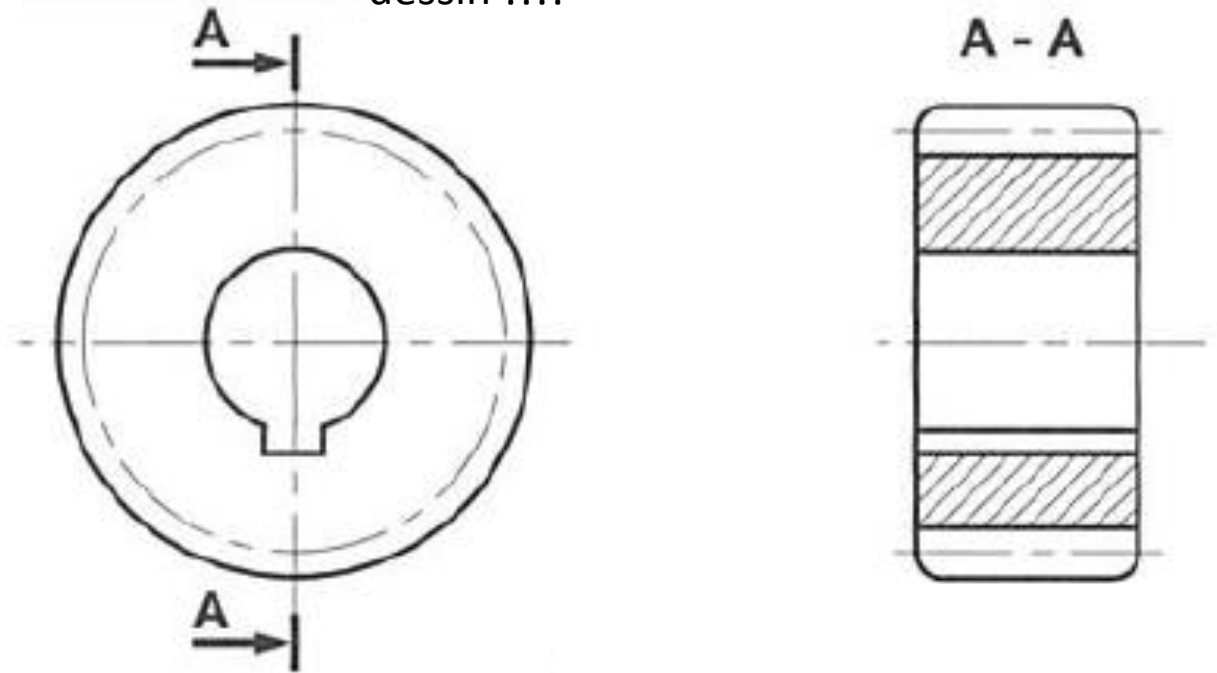
Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre

Avant de continuer vous devrez faire une bonne inspection du dessin !!!!



# Représentations normalisées des engrenages

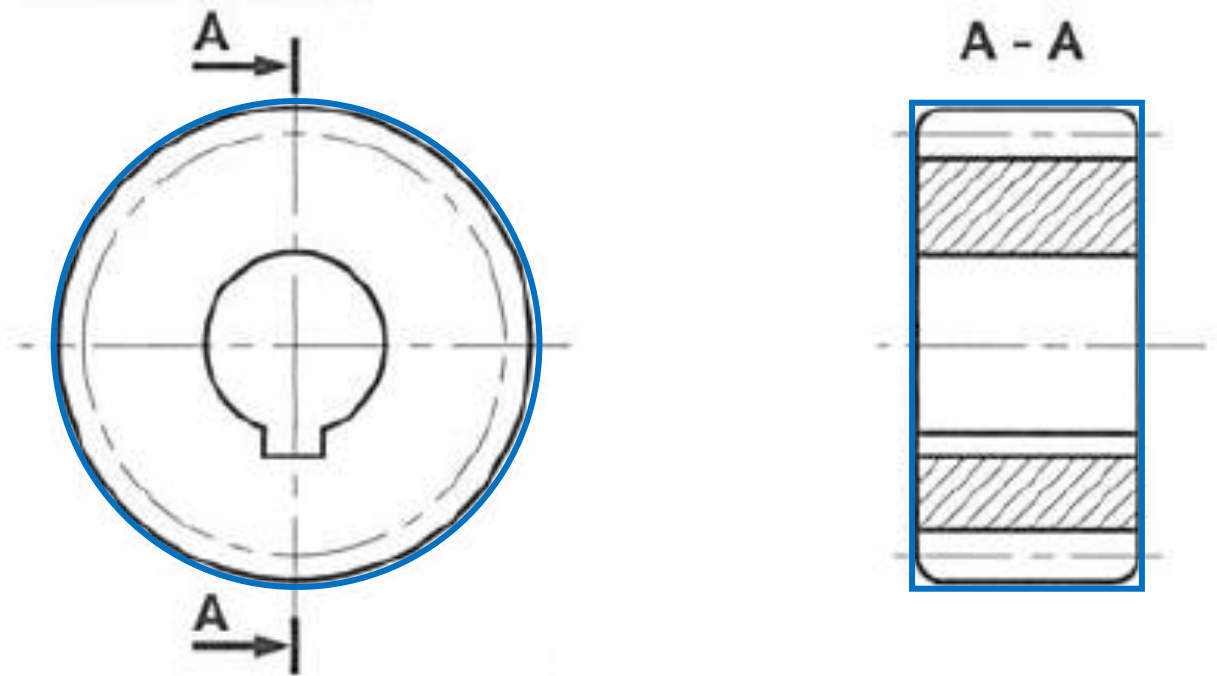
Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre

Contour du cylindre de tête



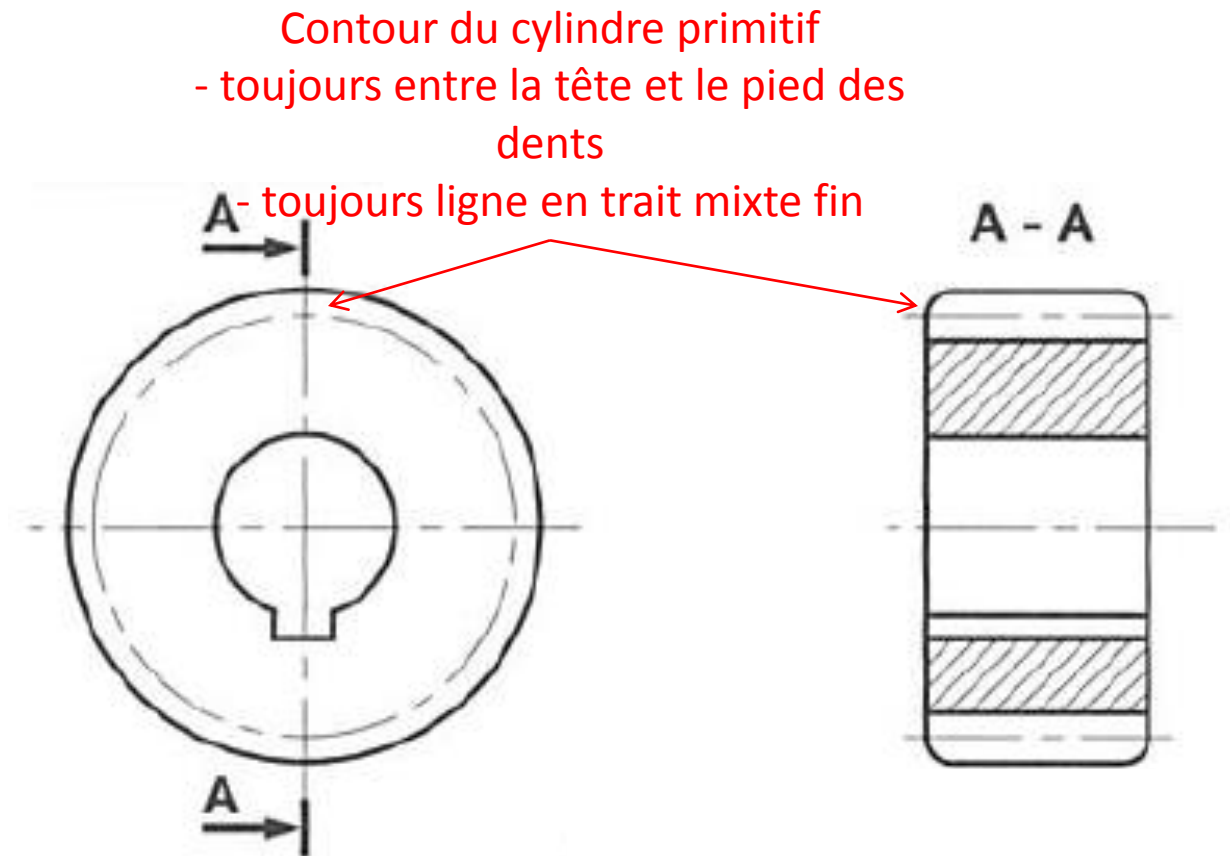
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre



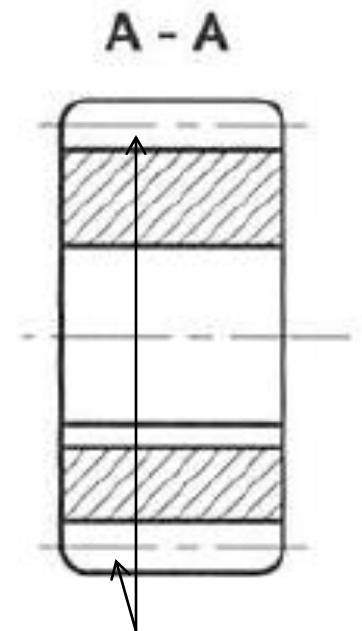
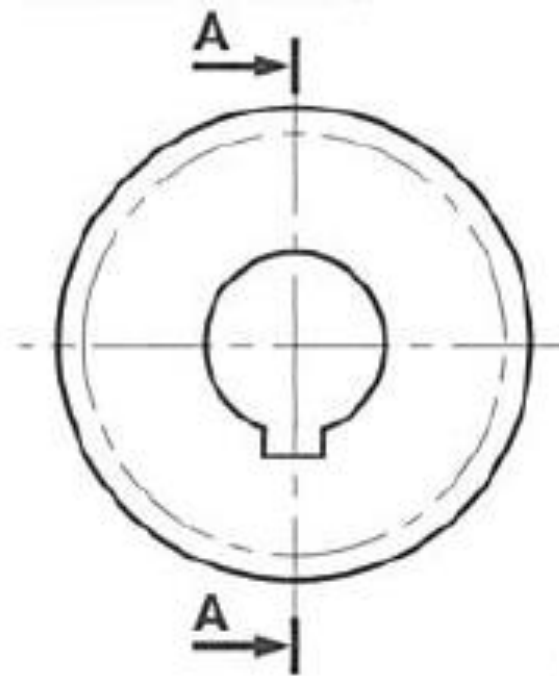
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre



**En coupe les dents ne sont jamais coupées!!!!**



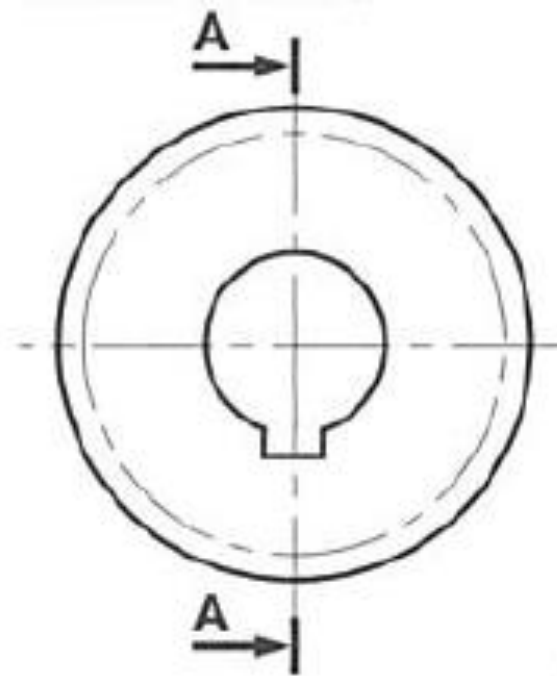
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

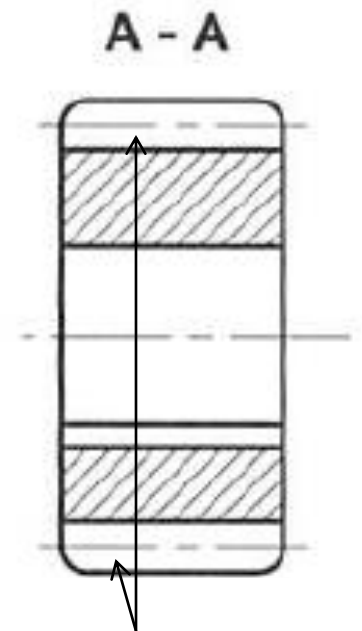
1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre



**Sur les vues sans coupes  
les surfaces de pieds ne  
sont jamais représentées**



**En coupe les dents ne sont  
jamais coupées!!!!**

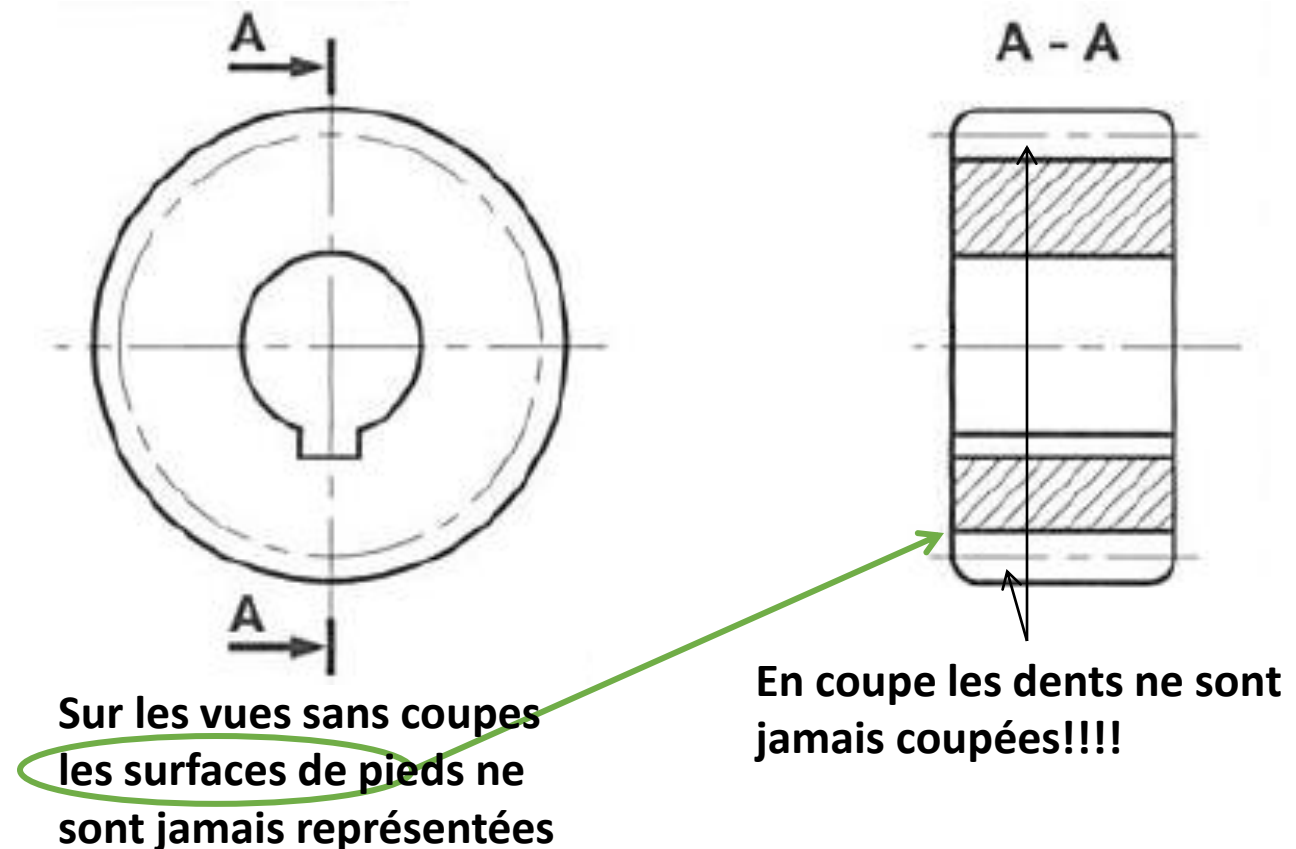
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre



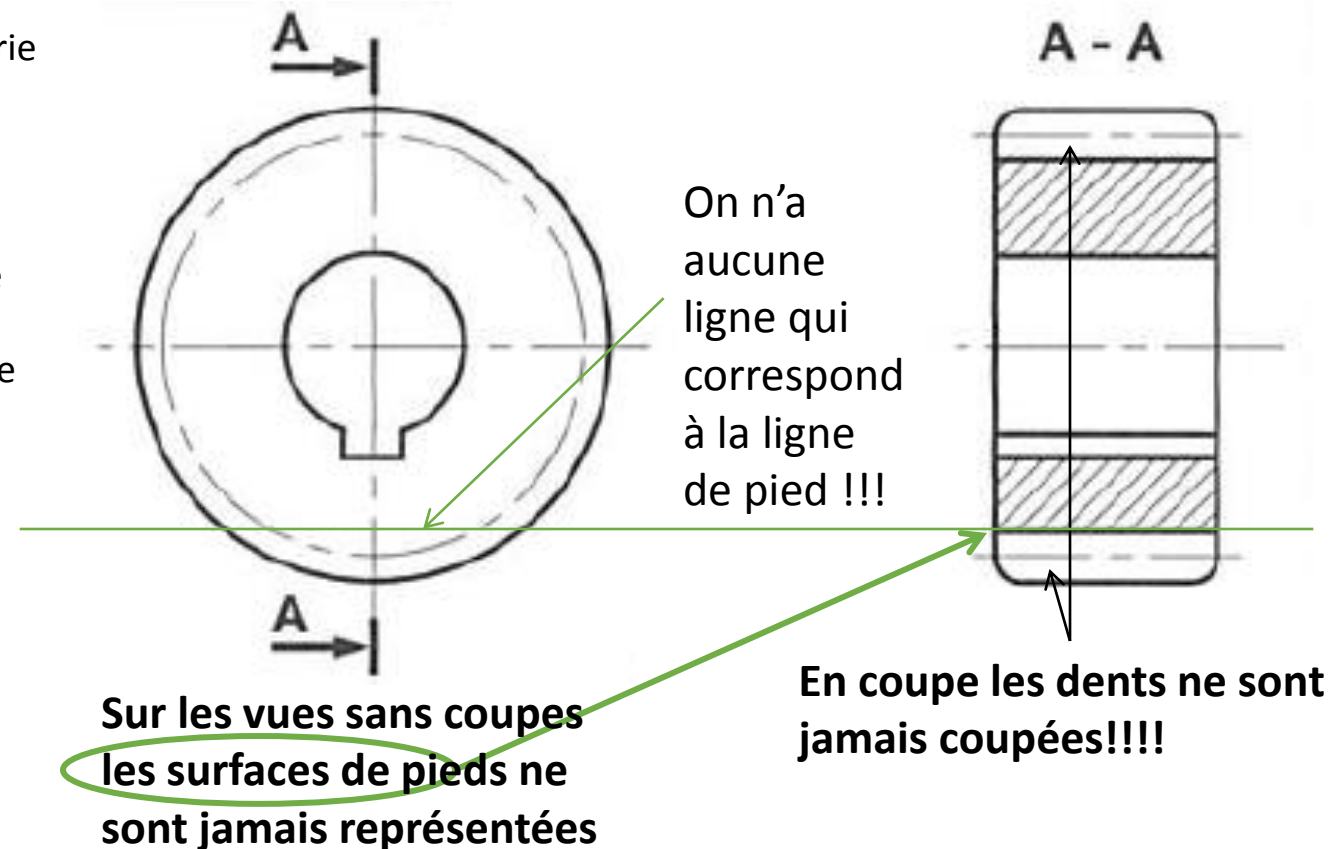
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre



# Représentations normalisées des engrenages

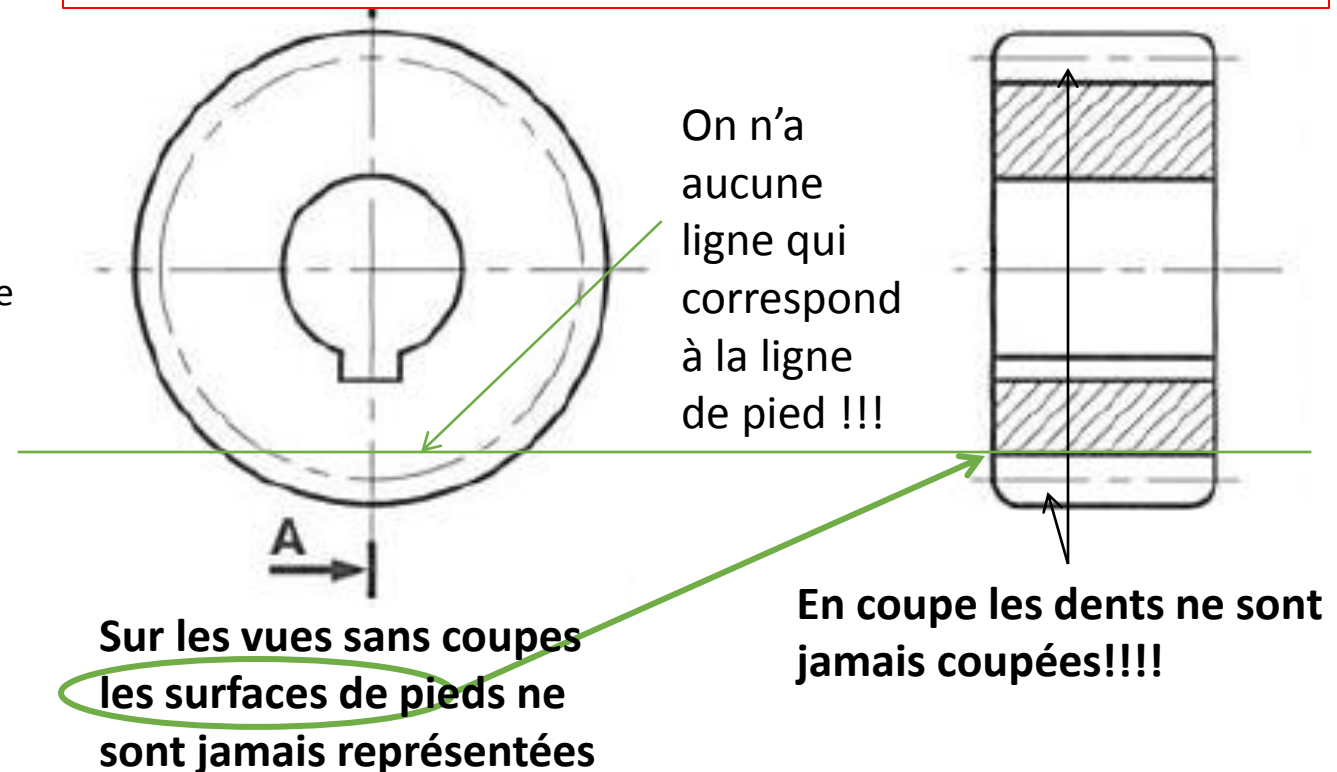
Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre

NOTE : Pour quelques cas, comme par exemple d'une crémaillère, où on veut représenter la fin de la denture, on peut représenter la surface de pied avec un trait fin continu. Vous allez trouver un exemple aux exercices.





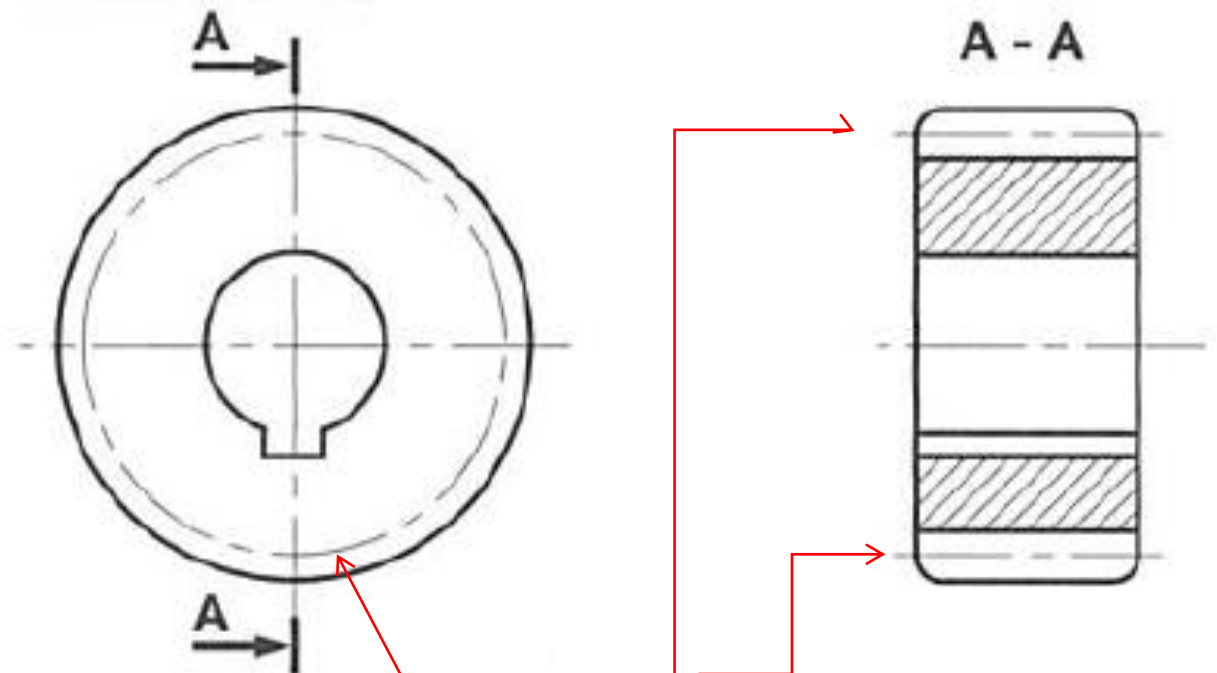
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre



**NOTE : La ligne d'axe a une nouvelle signification !!!  
Elle peut représenter aussi les dentures des engrenages. Pour  
que nous soyons plus précis : la ligne d'axe signifie les  
projections de la surface primitive de la denture !!!**

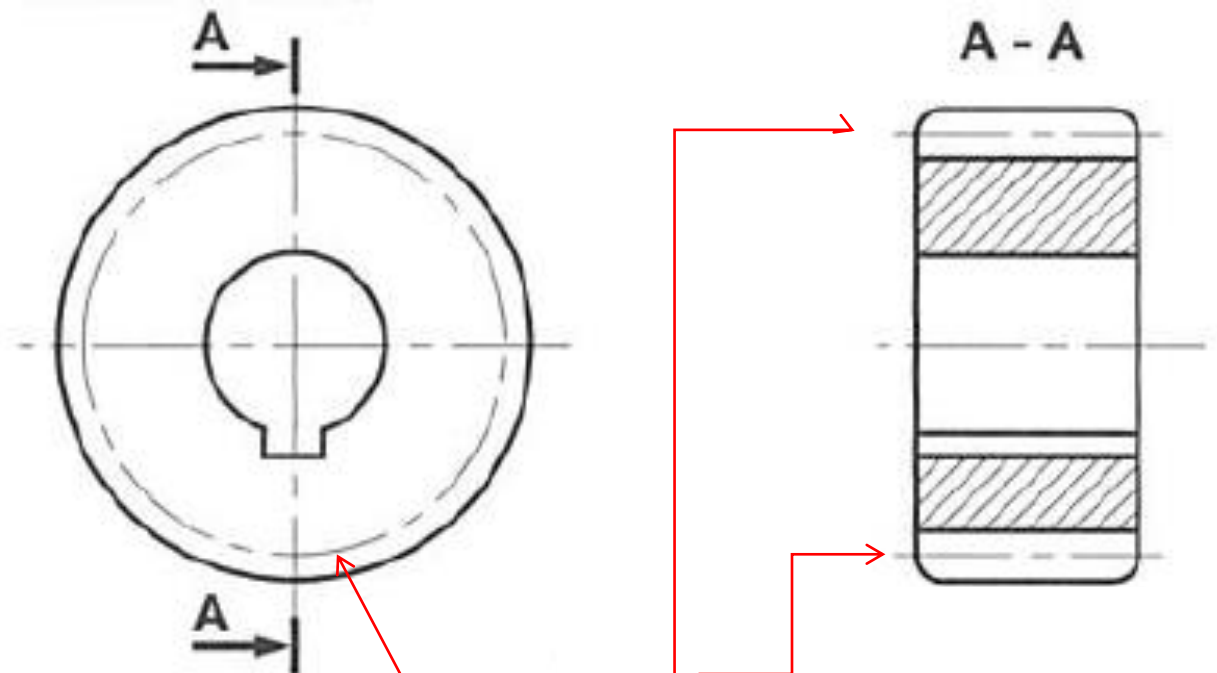
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

## **Réagir!!!**

Trouvez les engrenages cylindriques sur les dessins des pages 4 et 6 de votre « Recueil A3 ».  
(Note : C'est très important de savoir la réponse à cette question)



**NOTE : La ligne d'axe a une nouvelle signification !!!  
Elle peut représenter aussi les dentures des engrenages. Pour que nous soyons plus précis : la ligne d'axe signifie les projections de la surface primitive de la denture !!!**

# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre
- **Pour les engrenage conique :**



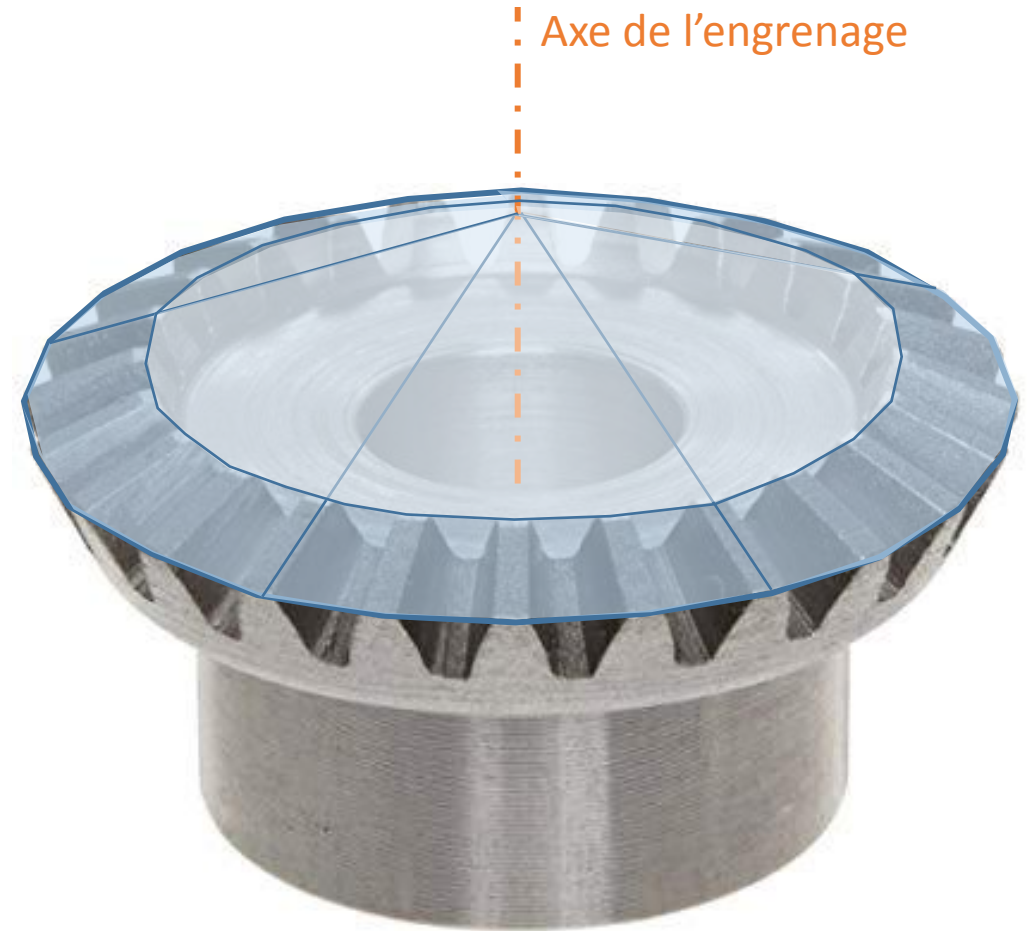
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre
- Pour les engrenage conique : un cône coupé





# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

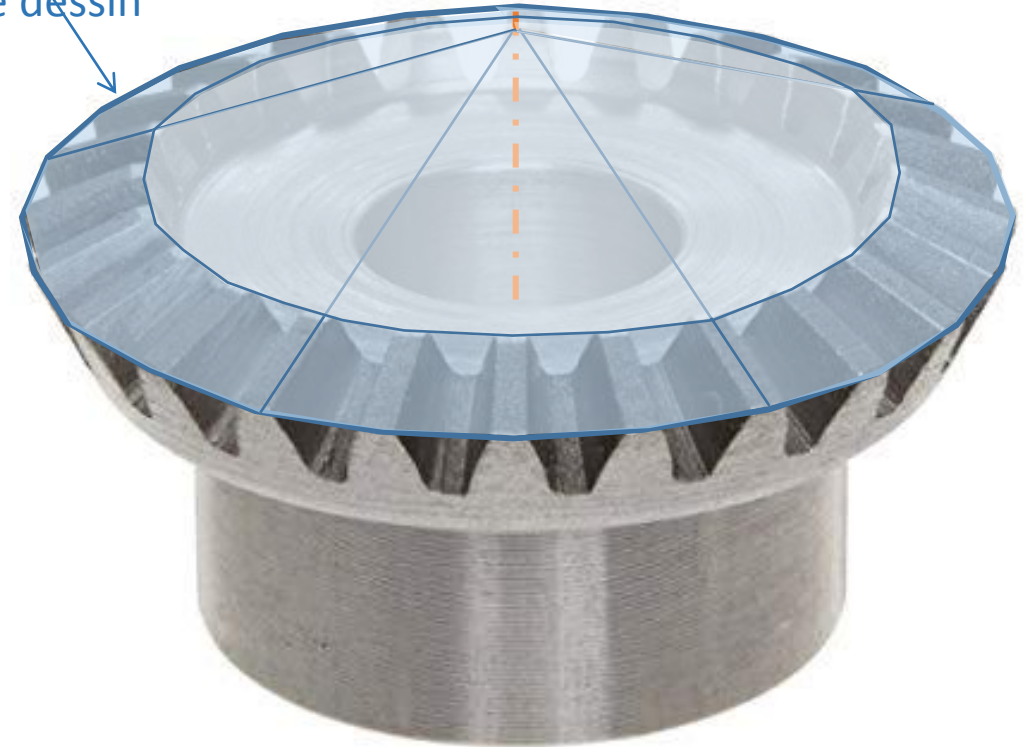
La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre
- Pour les engrenage conique : un cône coupé

**Cône de tête :**

Les contours de cette surface sont représentés sur le dessin

Axe de l'engrenage



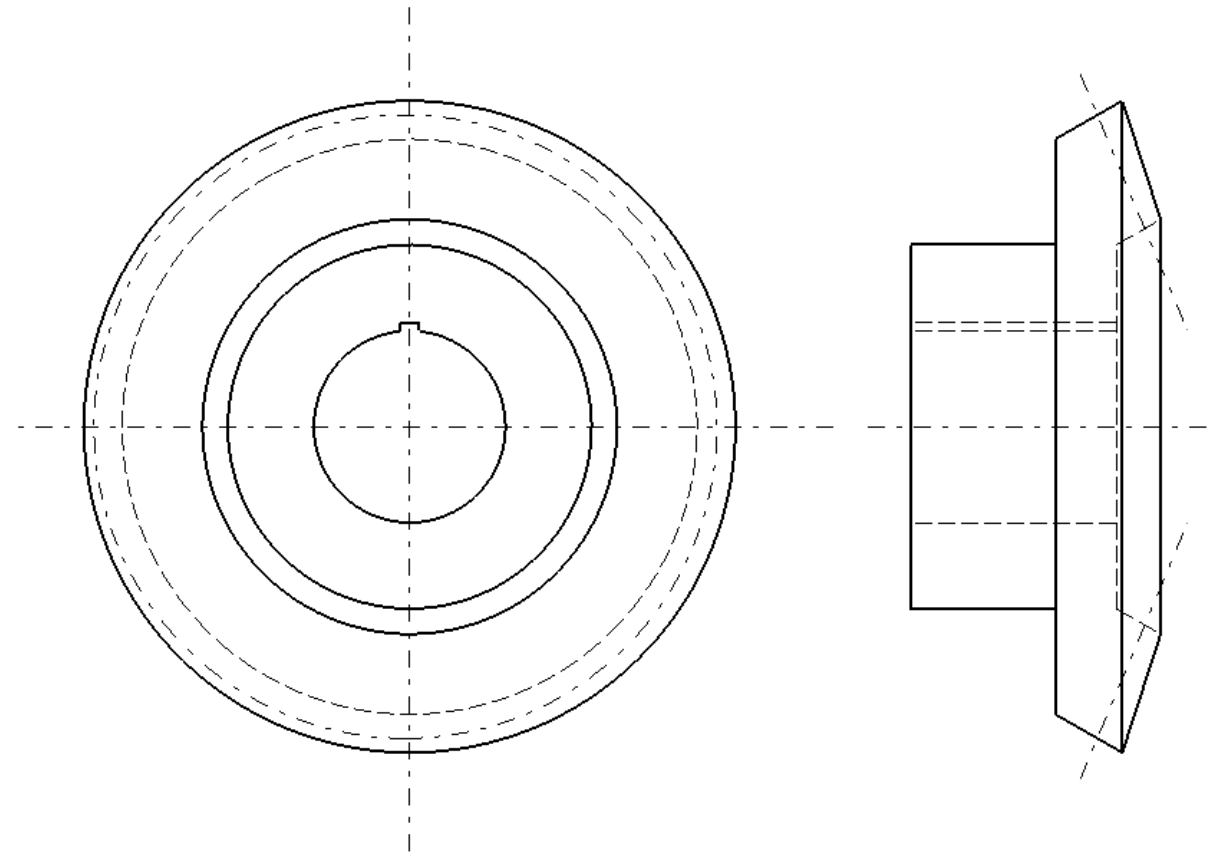
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre
- Pour les engrenage conique : un cône coupé



# Représentations normalisées des engrenages

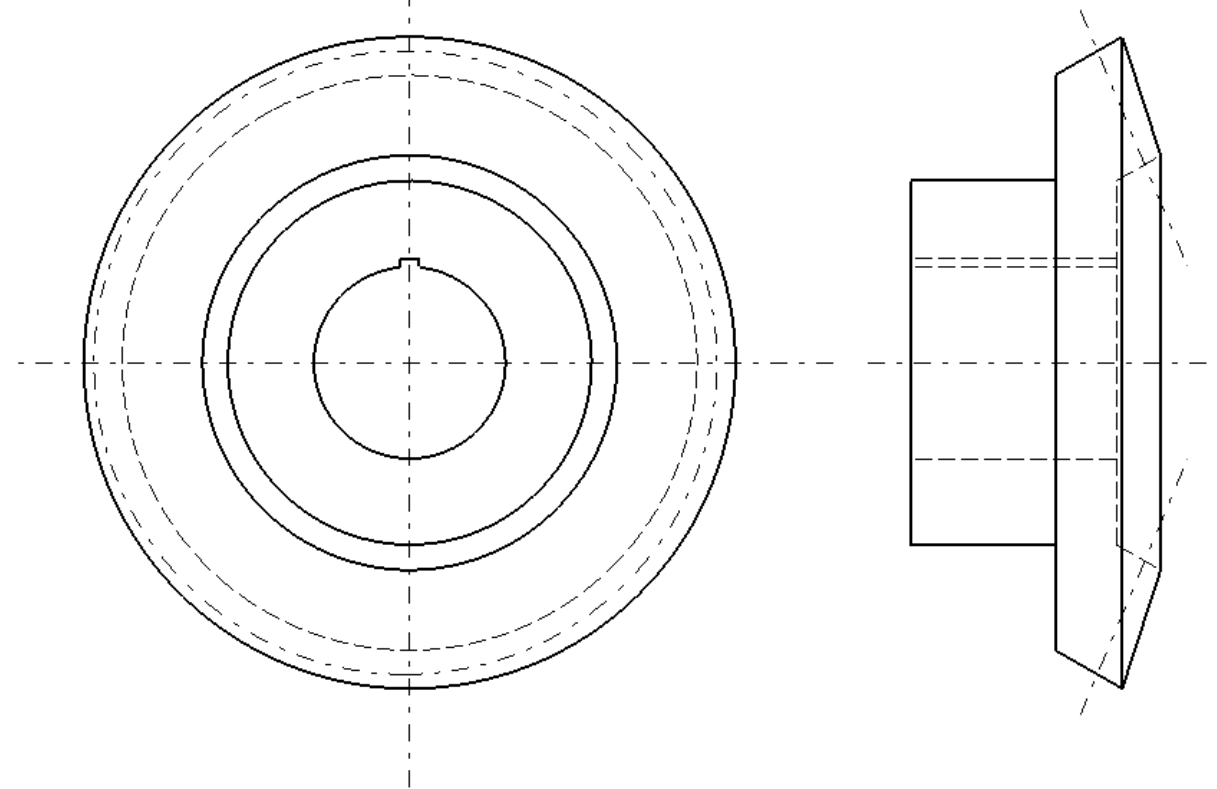
Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre
- Pour les engrenage conique : un cône coupé

Avant de continuer vous devrez faire une bonne inspection du dessin !!!!



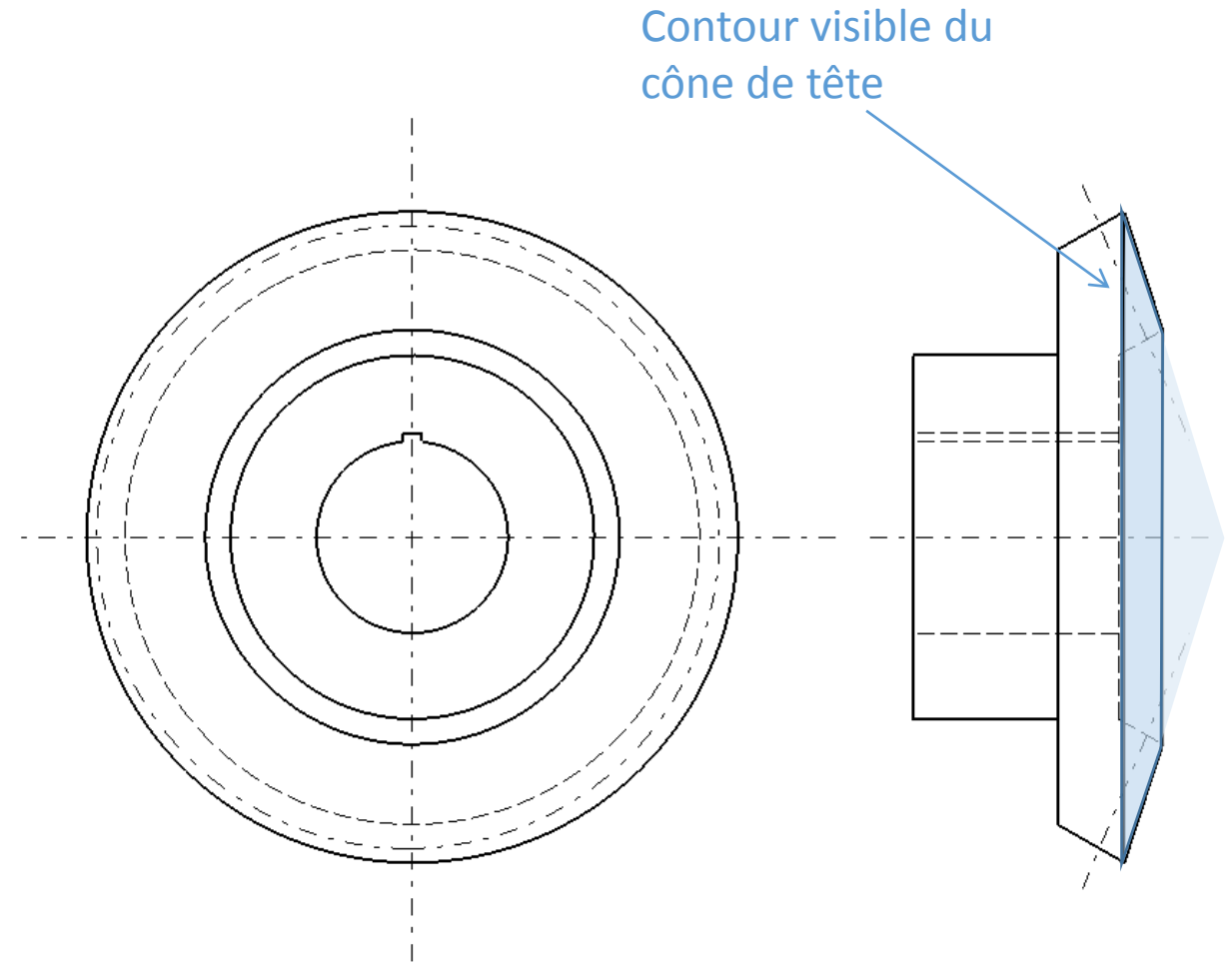
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre
- Pour les engrenage conique : un cône coupé





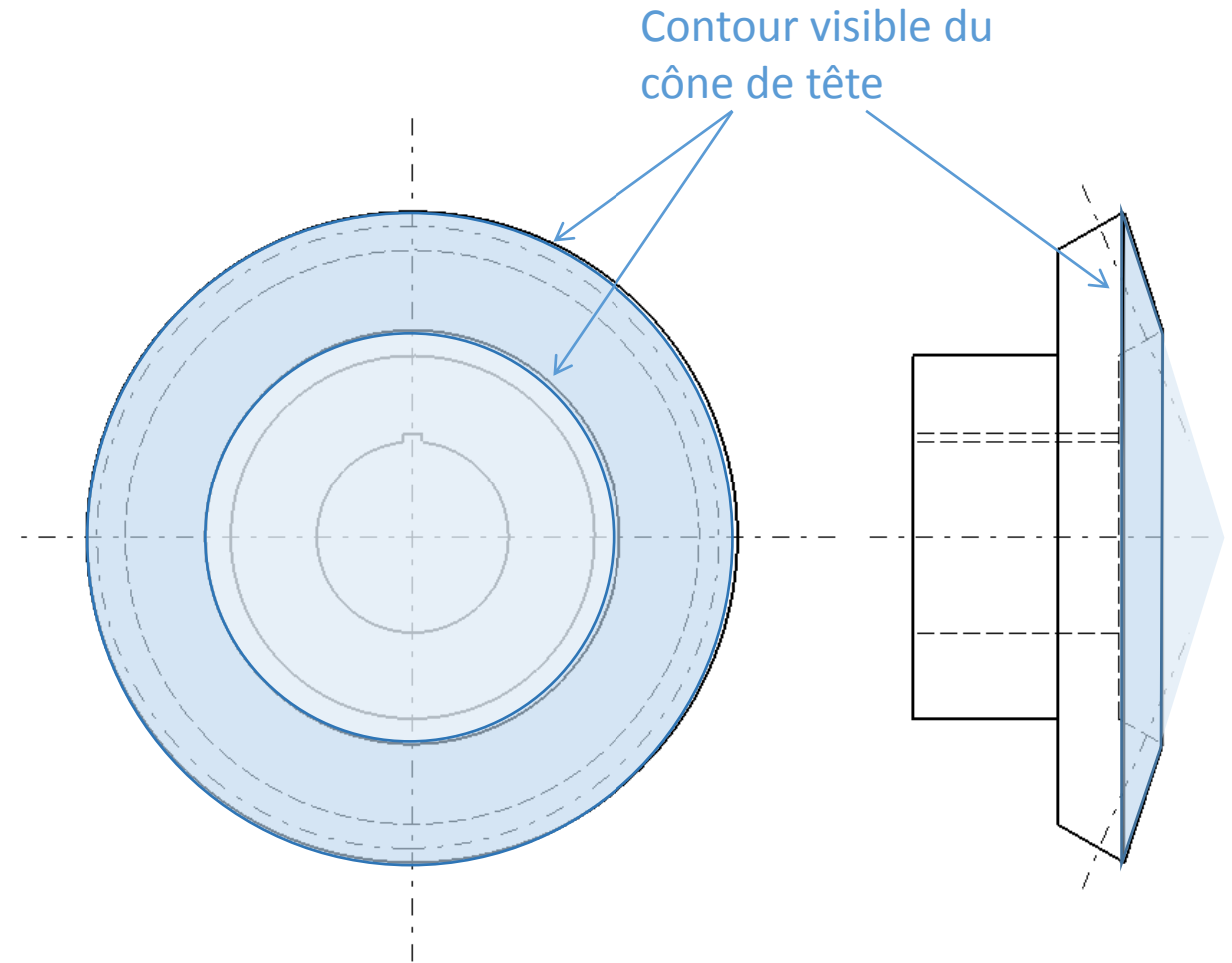
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre
- Pour les engrenage conique : un cône coupé



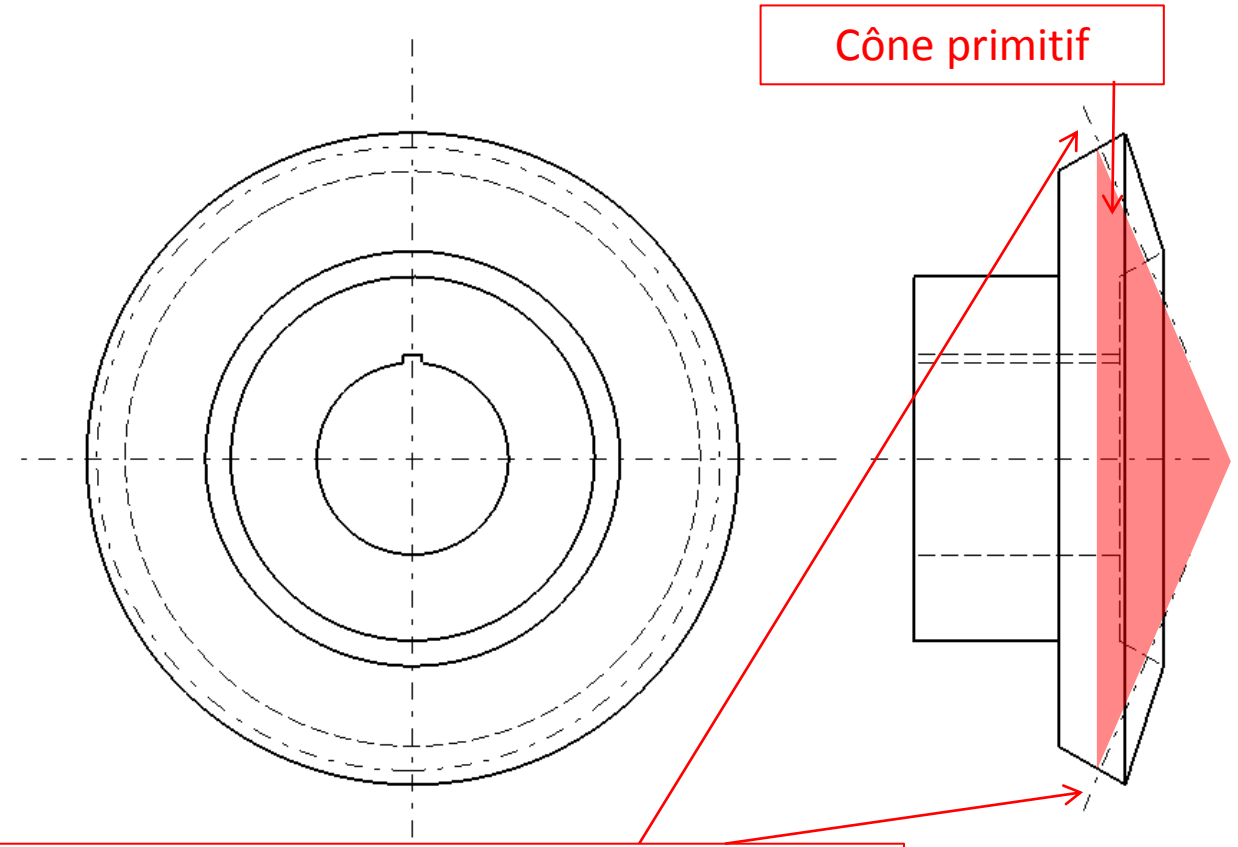
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre
- Pour les engrenage conique : un cône coupé



Ces lignes d'axe correspondent aux projections de la surface oblique du **cône primitif**. Elles représentent la présence de la denture

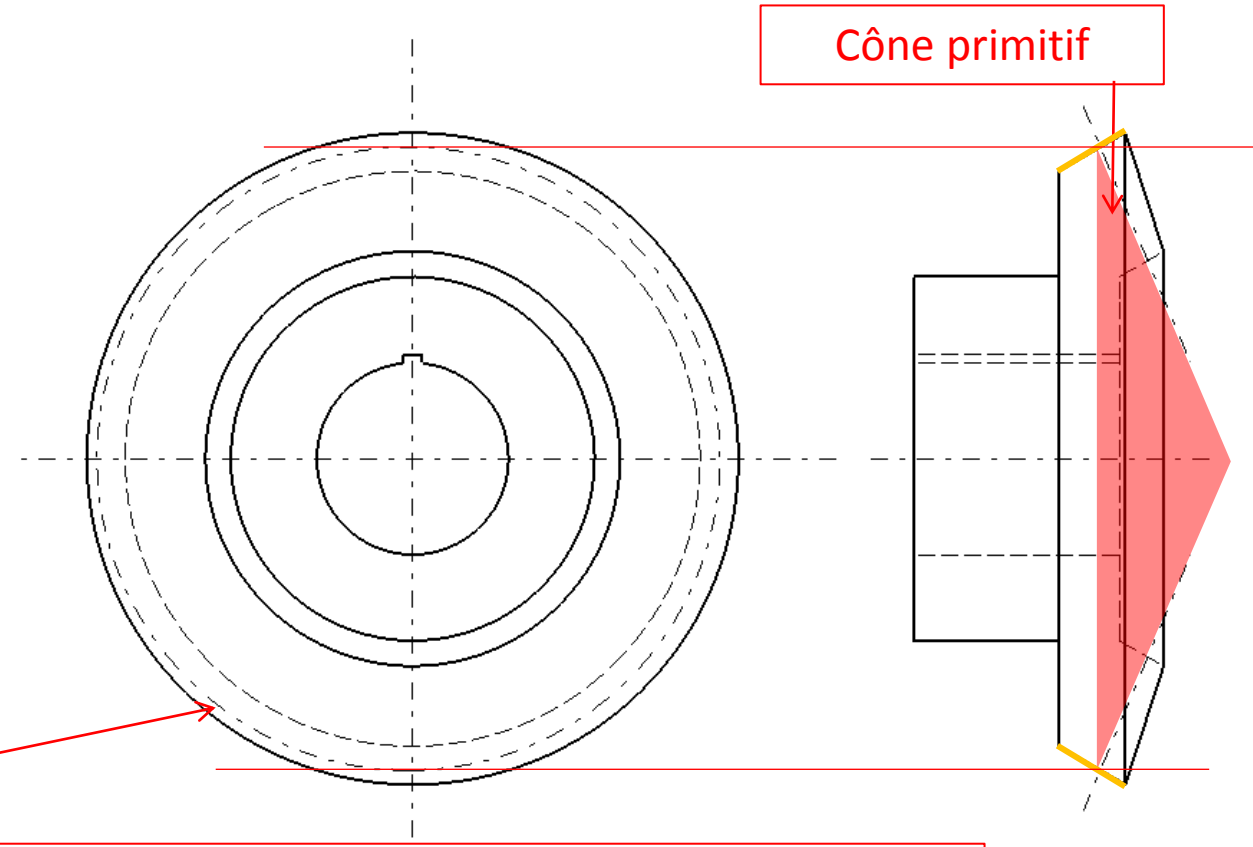
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre
- Pour les engrenage conique : un cône coupé



Cône primitif

Ce cercle en trait mixte fin est généré en projetant l'intersection générée par :

- le cône de primitif
- et la surface conique définissant la **partie plus base de la denture**

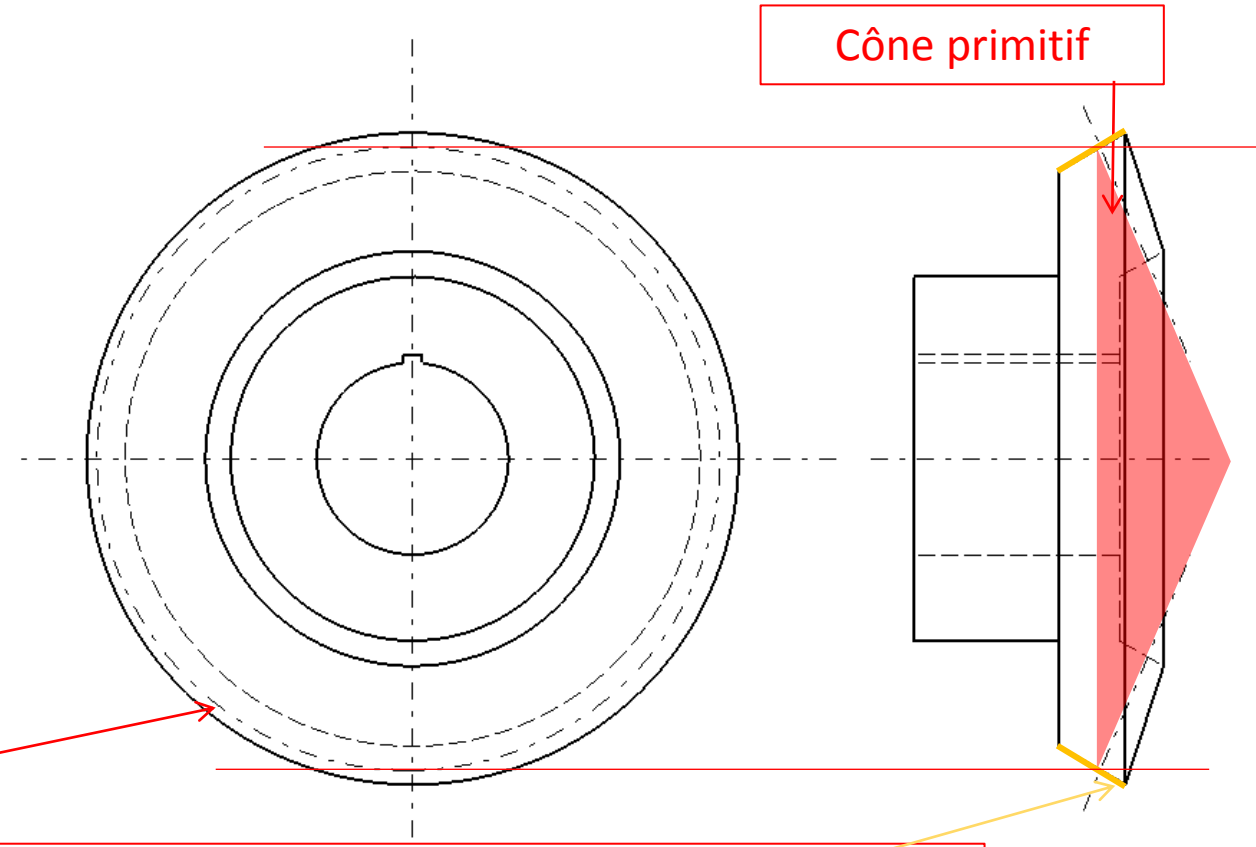
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre
- Pour les engrenage conique : un cône coupé



Ce cercle en trait mixte fin est généré en projetant l'intersection générée par :

- le cône de primitif
- et la surface conique définissant la **partie plus base de la denture**



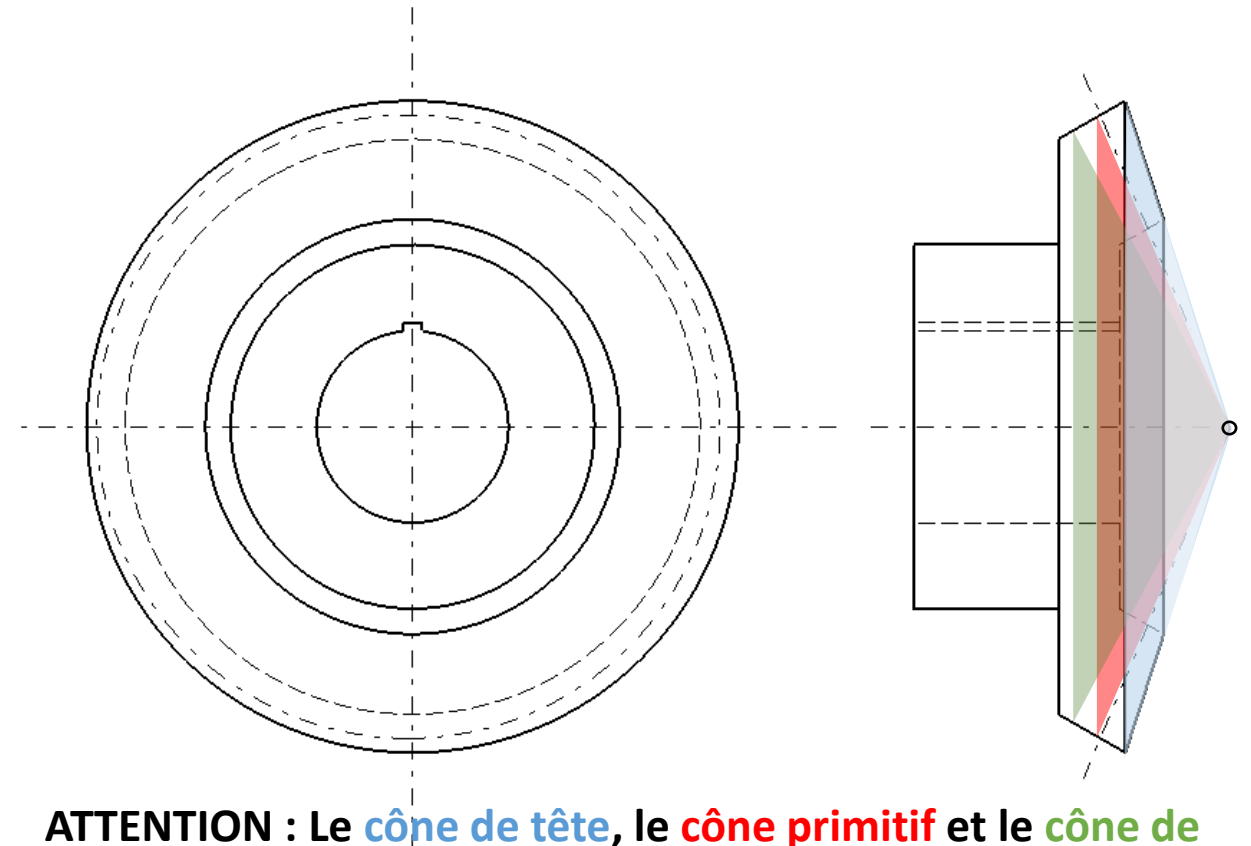
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre
- Pour les engrenage conique : un cône coupé



**ATTENTION : Le cône de tête, le cône primitif et le cône de pied sont trois cônes différents qui ont le même sommet!!!**

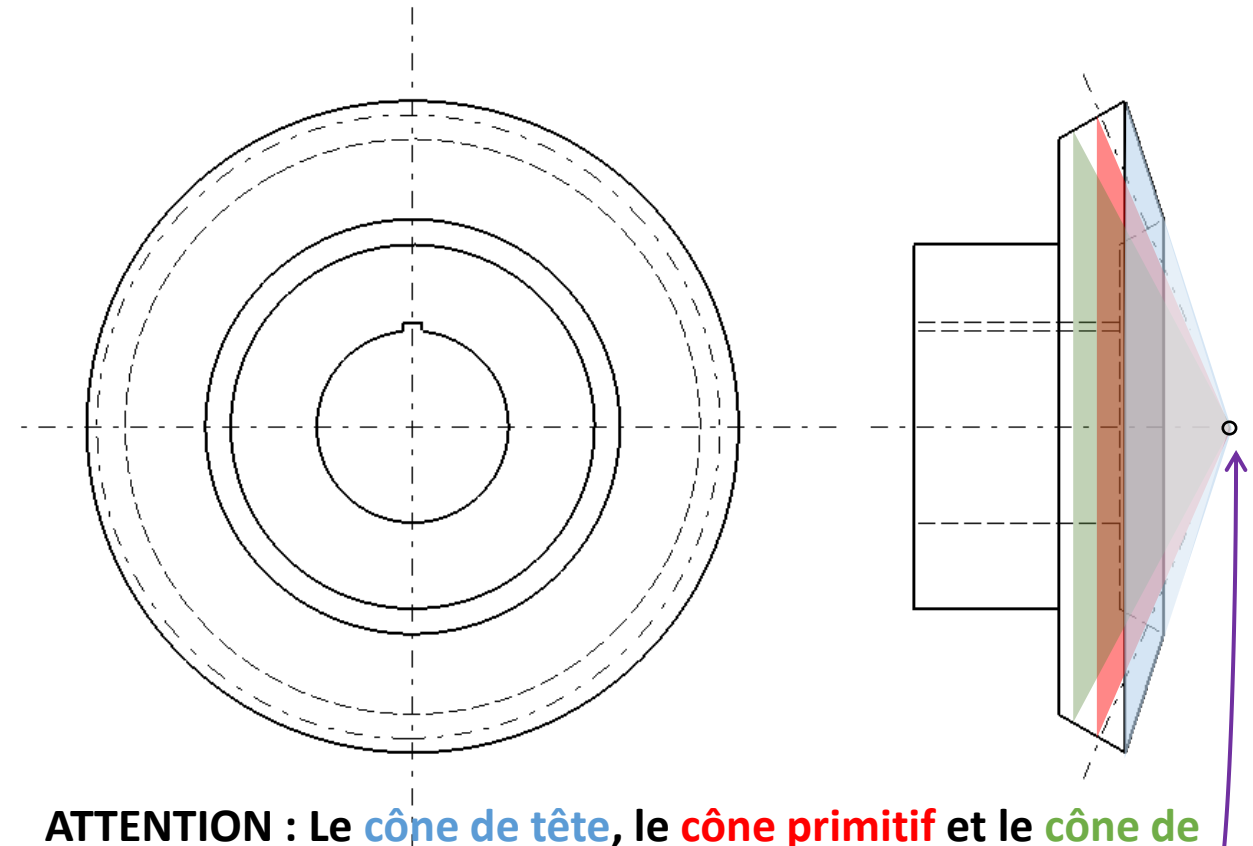
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre
- Pour les engrenage conique : un cône coupé



**ATTENTION : Le cône de tête, le cône primitif et le cône de pied sont trois cônes différents qui ont le même sommet!!!**

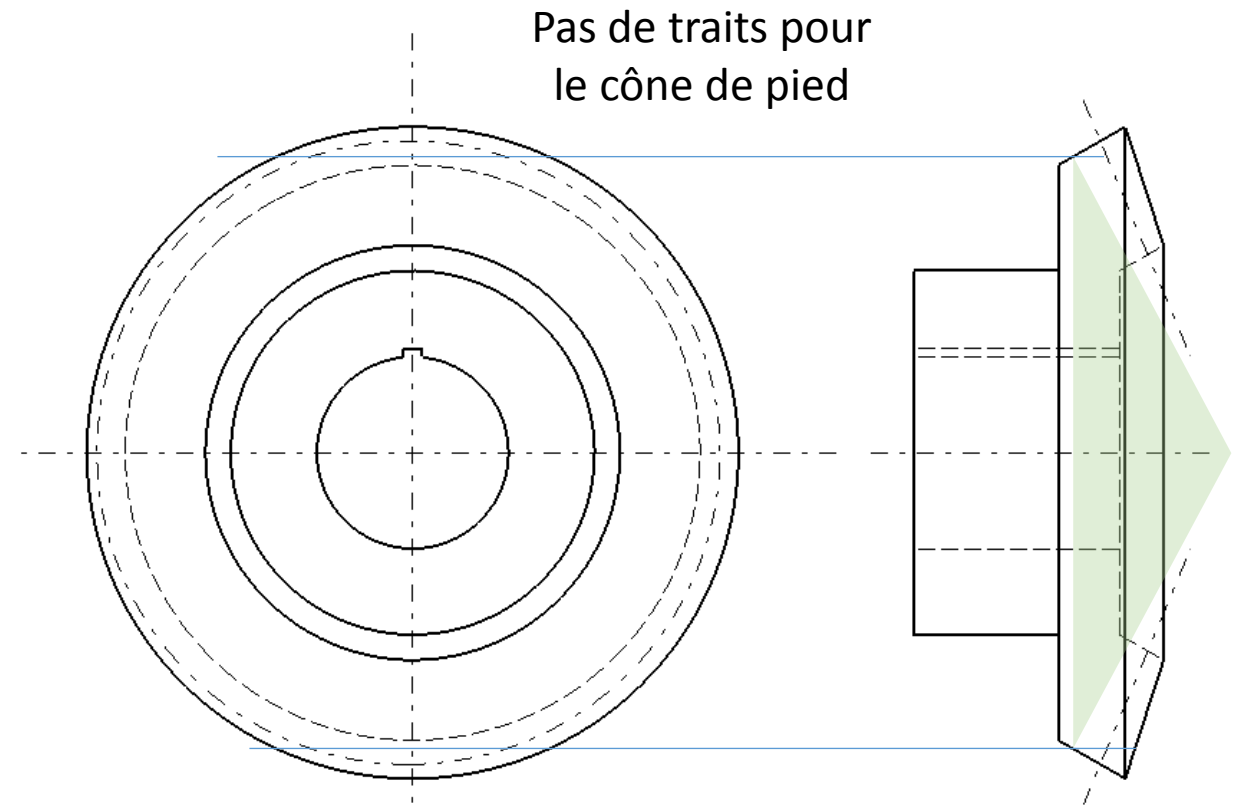
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre
- Pour les engrenage conique : un cône coupé



**ATTENTION : Aux vues sans coupes les surfaces de pieds ne sont jamais représentées. Sur ces deux vue aucun trait ne correspond au cône du pied.**

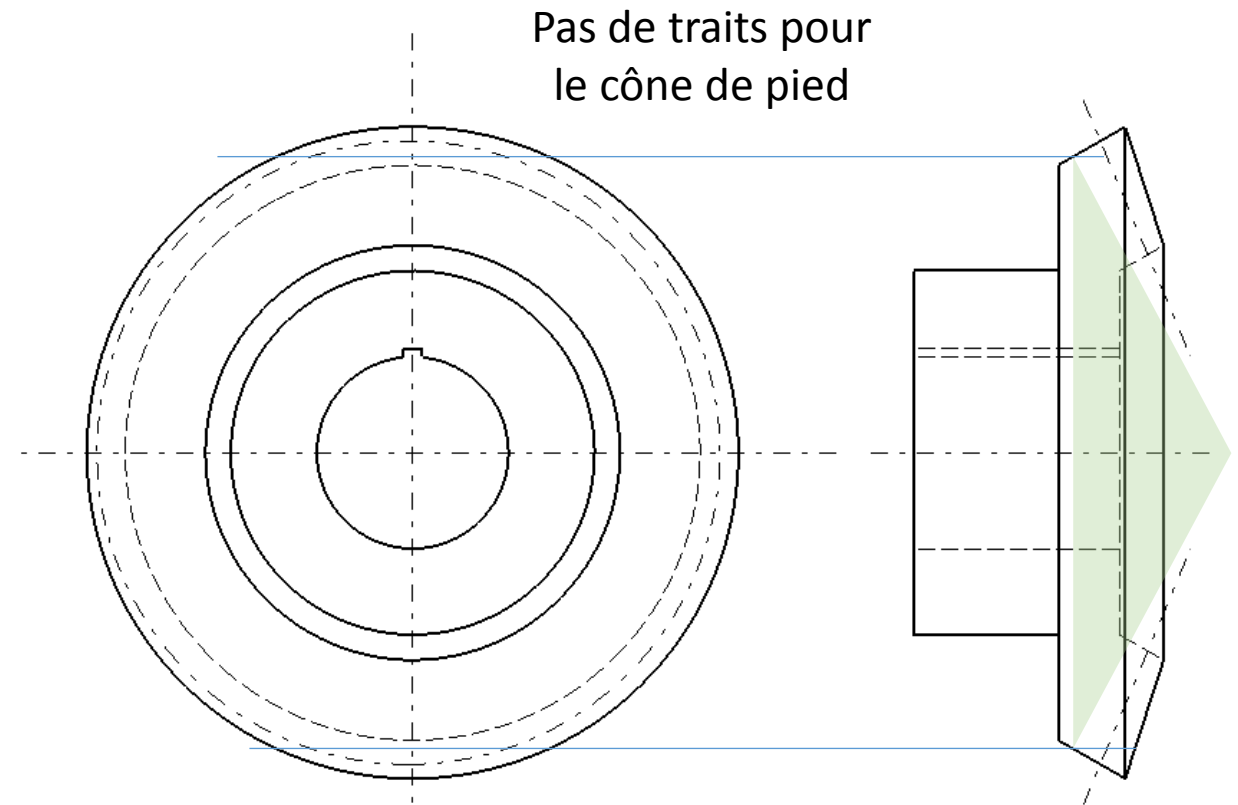
# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre
- Pour les engrenage conique : un cône coupé



**ATTENTION : Aux vues sans coupes les surfaces de pieds ne sont jamais représentées. Sur ces deux vue aucun trait ne correspond au cône du pied. On ne représente que sur les coupes le trait pour le cône de pied.**



# Représentations normalisées des engrenages

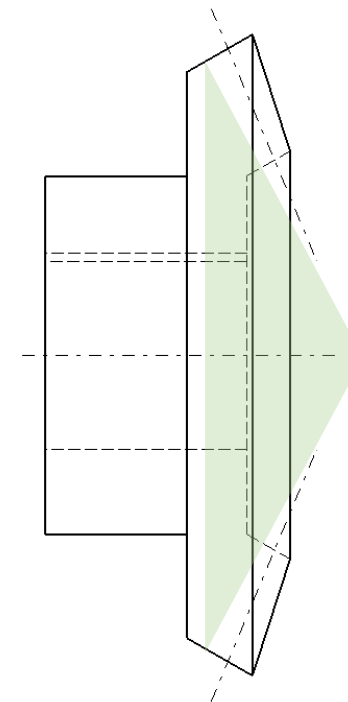
Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

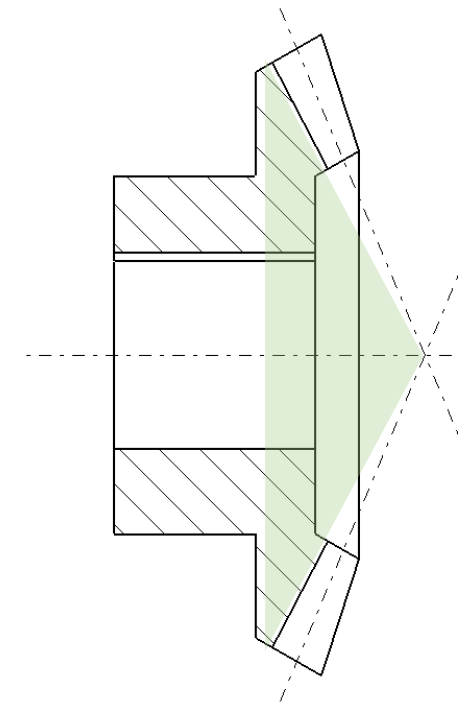
La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre
- Pour les engrenage conique : un cône coupé

**Vue sans coupe :**  
Pas de traits pour le cône de pied



**Vue en coupe :**  
Trait pour le cône de pied



# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

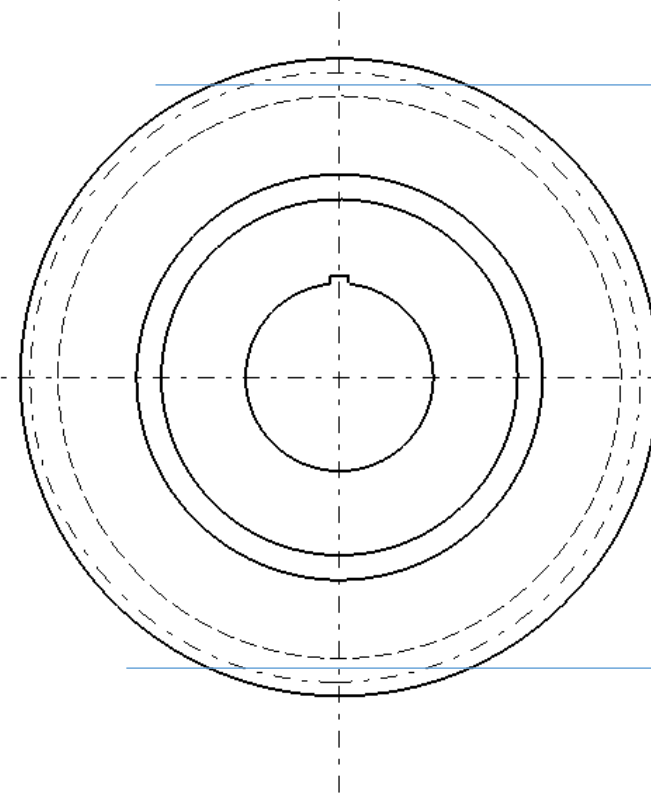
1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre
- Pour les engrenage conique : un cône coupé

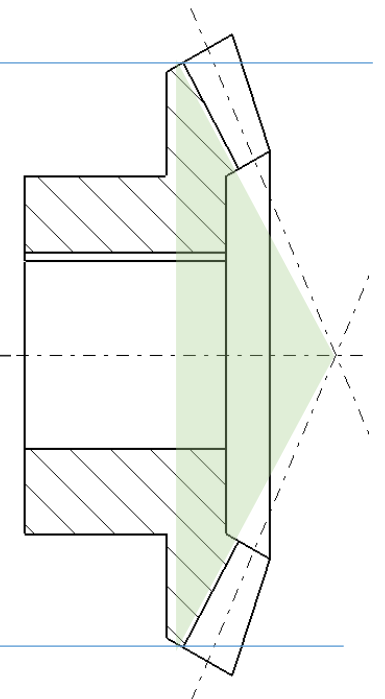
**Vue sans coupe :**

Pas de traits pour le cône de pied



**Vue en coupe :**

Trait pour le cône de pied



# Représentations normalisées des engrenages

Pour simplifier la représentation des engrenages sur le dessin technique nous remplaçons la vraie géométrie par la géométrie de d'un solide englobant l'engrenage que sa denture est représenté :

1. Par sa surface de tête représentée par une ligne visible
2. Par sa surface primitive représentée par une ligne d'axe

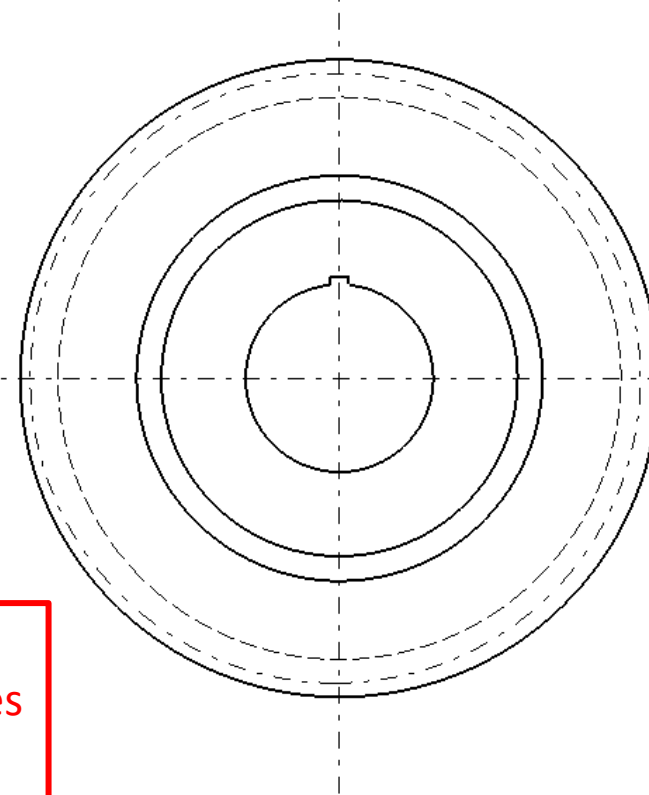
La surface visible (de la tête) est :

- Pour les engrenage cylindrique : un cylindre
- Po

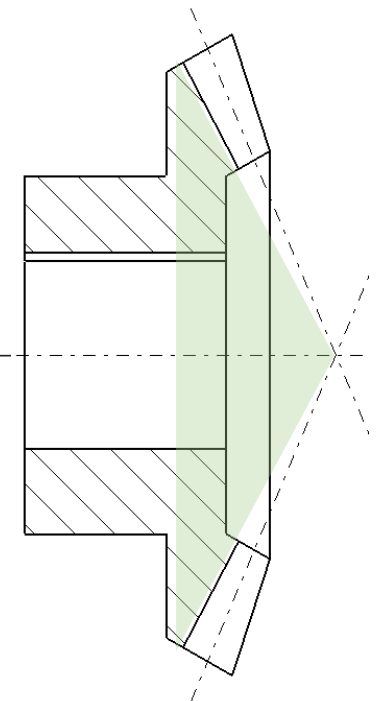
**Réagir!!!**

Trouvez les engrenages coniques sur les dessins des pages 8, 10, 11, 13 de votre « Recueil A3 ». Quels peuvent être démontés de leur axe ?  
(Note : C'est très important de savoir la réponse à cette question)

**Vue sans coupe :**  
Pas de traits pour le cône de pied



**Vue en coupe :**  
Trait pour le cône de pied



# Sommaire :

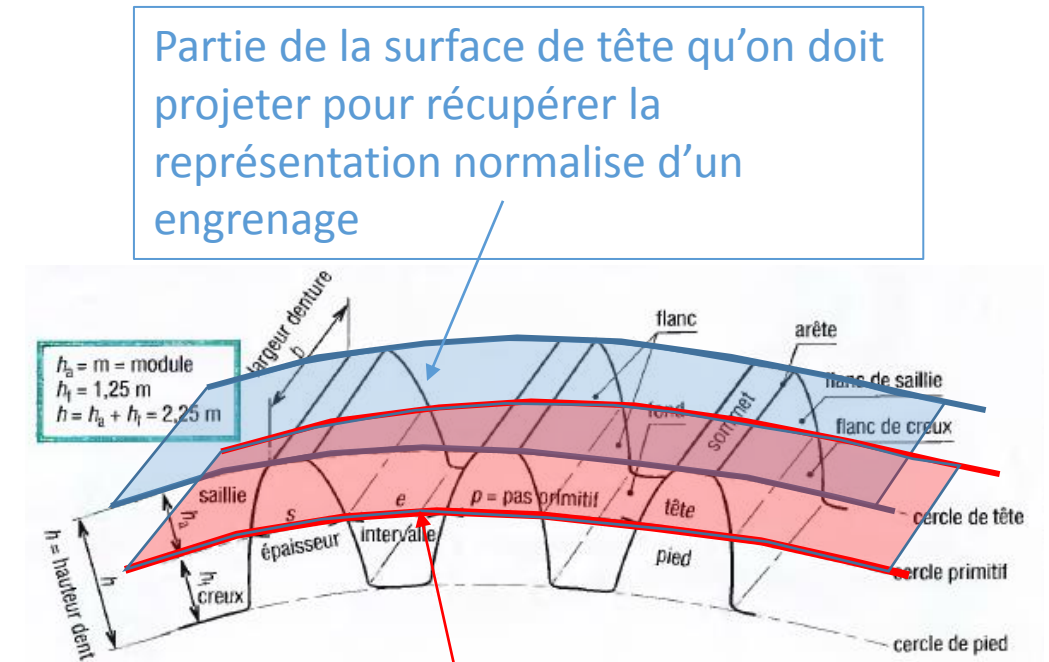
## Représentations normalisées des engrenages

Un engrenage est toujours représenté par les contours de la **surface de tête** et de la **surface primitive**.

Cette surface est la surface de :

- Un cylindre pour les engrenages cylindrique
- Un cône pour les engrenages conique
- Un plan pour les crémaillères

On représente également les surfaces primitives avec des lignes en trait mixte fin. **La ligne mixte a une nouvelle signification : elle représente aussi la présence de la denture.**



# Sommaire :

## Représentations normalisées des engrenages

Un engrenage est toujours représenté par les contours de la **surface de tête et de la surface primitive**.

Cette surface est la surface de :

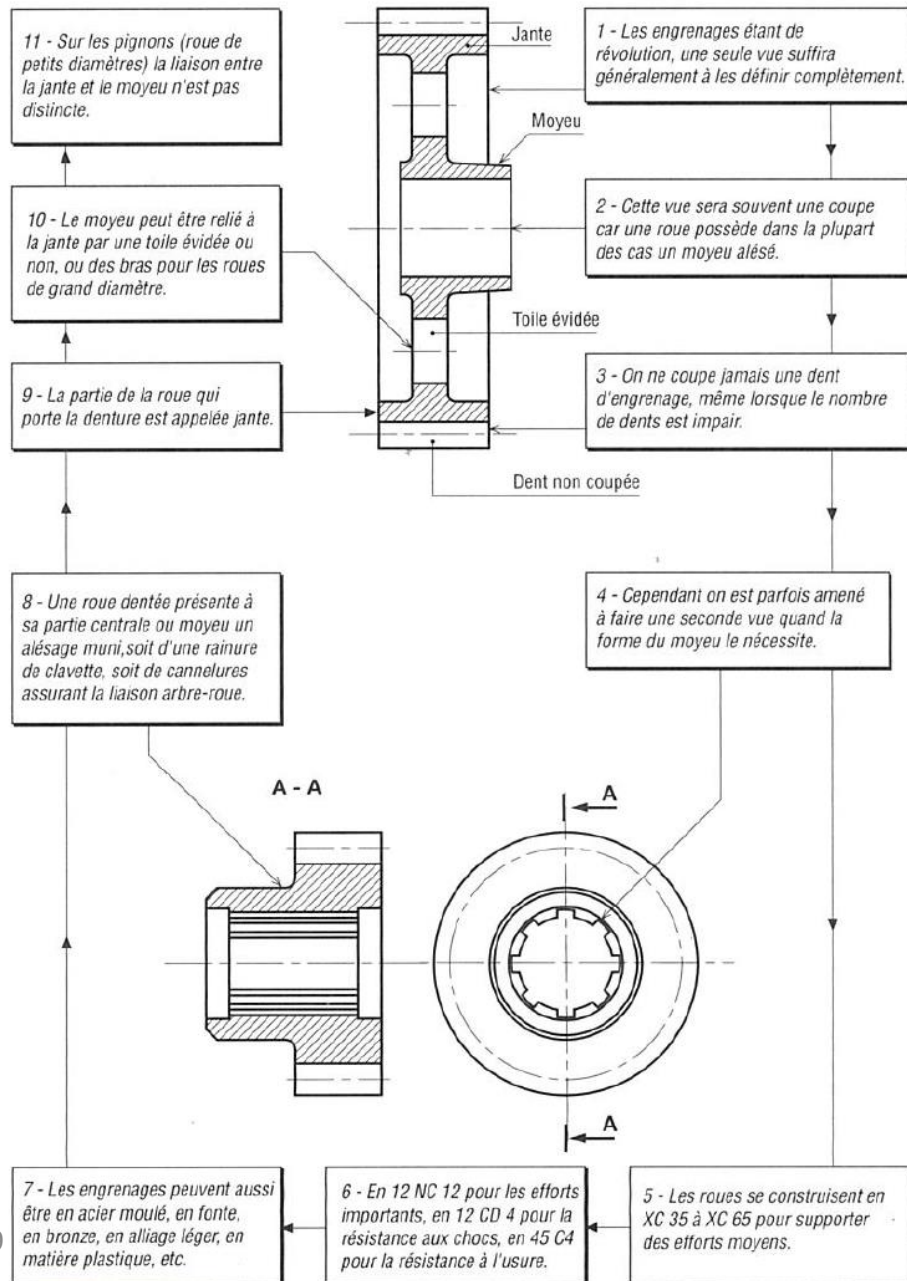
- Un cylindre pour les engrenages cylindrique
- Un cône pour les engrenages conique
- Un plan pour les crémaillères

On représente également les surfaces primitives avec des lignes en trait mixte fin. **La ligne mixte a une nouvelle signification : elle représente aussi la présence de la denture.**

- Sur les vues où l'engrenage n'est pas coupé :
  - On représente le contour de la surface de tête avec des arêtes visibles
  - **On ne représente pas le contour de la surface de pied**
  - On représente le contour de la surface primitive avec des lignes d'axe
- Aux coupes de l'engrenage :
  - On représente le contour de la **surface de tête et de pied** avec des arêtes visibles
  - On représente le contour de la surface primitive avec des lignes d'axe
  - **L'aire des dents n'est jamais hachurée**



## 12.4. MÉTHODES DE REPRÉSENTATION DES ENGRENAGES

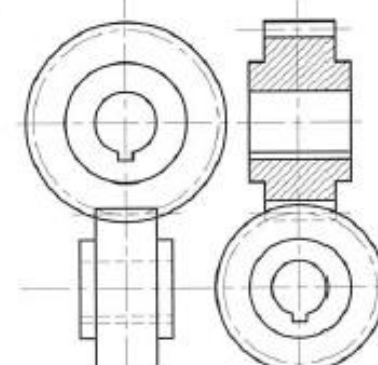
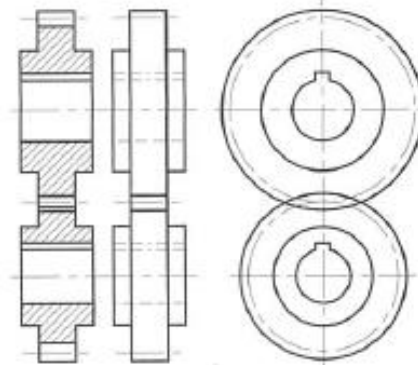


## 12.7. ENGRENAGES - Dessins d'ensemble

ISO 2203

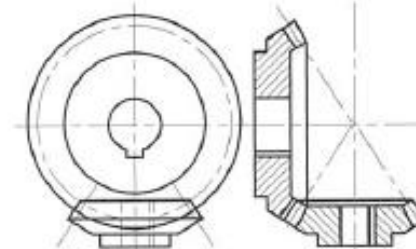
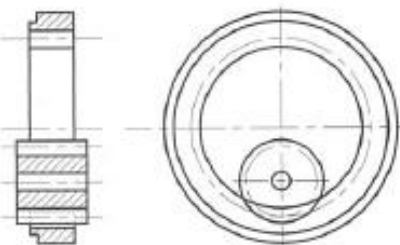
### ENGRENAGE EXTÉRIEUR DE ROUES CYLINDRIQUES

### ENGRENAGE GAUCHE HÉLICOÏDAL



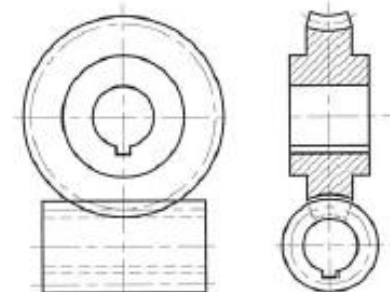
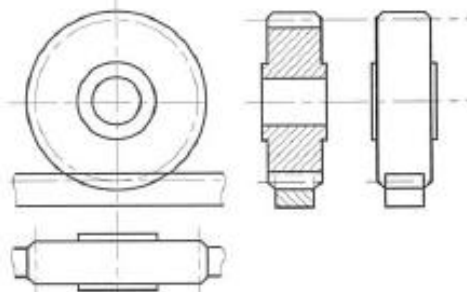
### ENGRENAGE INTÉRIEUR DE ROUES CYLINDRIQUES

### ENGRENAGE EXTÉRIEUR DE ROUES CONIQUES

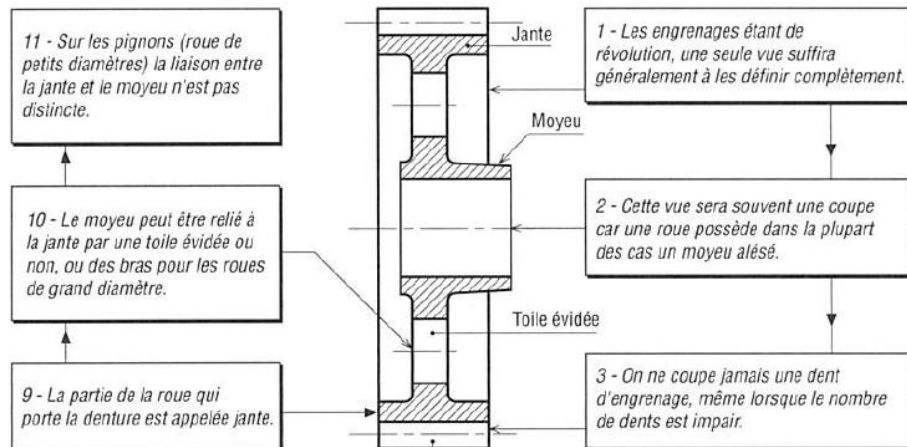


### ENGRENAGE DE ROUE AVEC CRÉMAILLÈRE

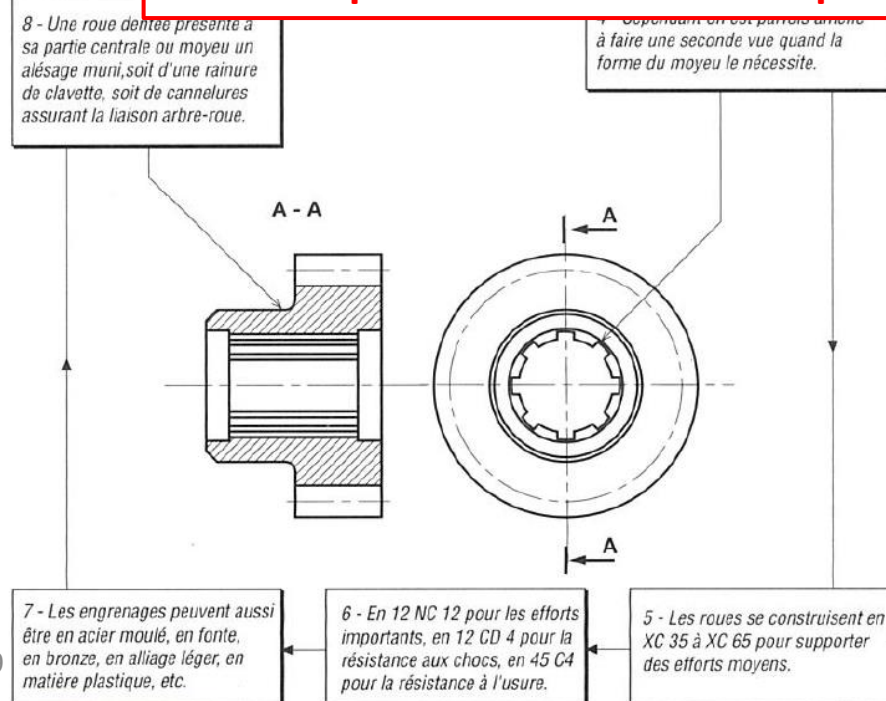
### ENGRENAGE ROUE ET VIS SANS FIN



## 12.4. MÉTHODES DE REPRÉSENTATION DES ENGRENAGES

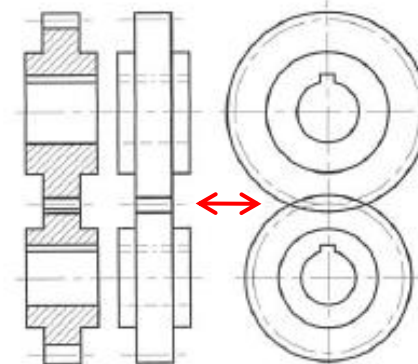


**Observez sur les dessins d'ensemble les traits représentant les surfaces primitives**

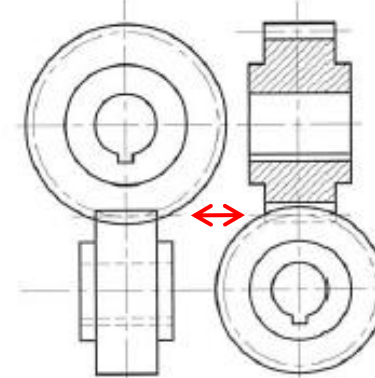


## 12.7. ENGRENAGES - Dessins d'ensemble ISO 2203

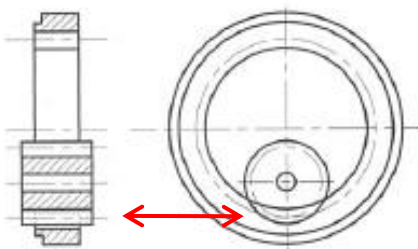
### ENGRENAGE EXTÉRIEUR DE ROUES CYLINDRIQUES



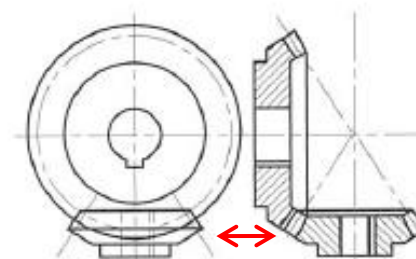
### ENGRENAGE GAUCHE HÉLICOÏDAL



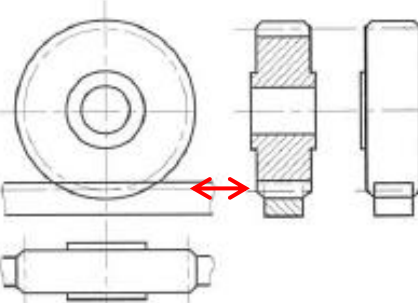
### ENGRENAGE INTÉRIEUR DE ROUES CYLINDRIQUES



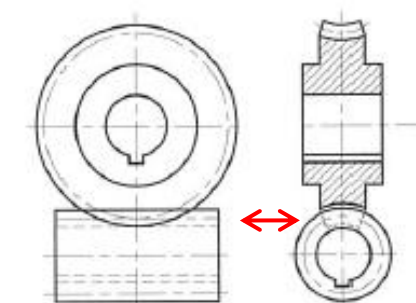
### ENGRENAGE EXTÉRIEUR DE ROUES CONIQUES



### ENGRENAGE DE ROUE AVEC CRÉMAILLÈRE



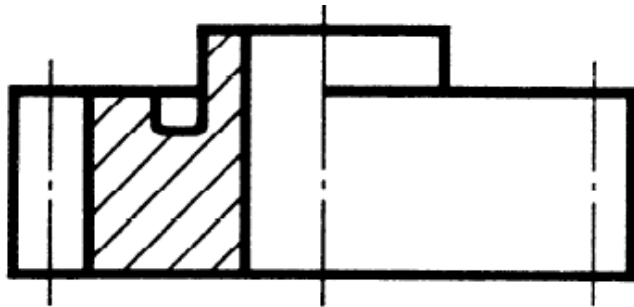
### ENGRENAGE ROUE ET VIS SANS FIN



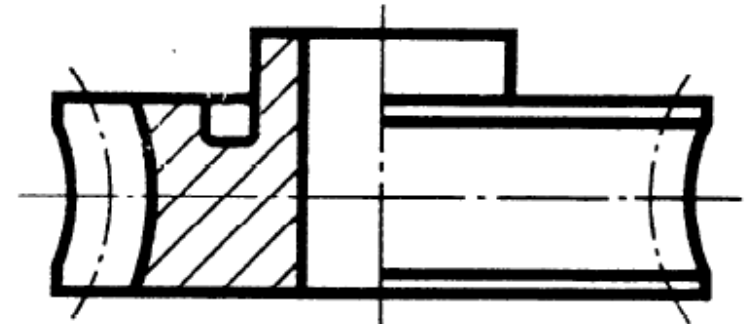
# Exercice 1 : Exemples de ISO

Expliquez à quoi correspondent ces dessins. Est-ce que vous pensez que les lignes cachées devraient être représentées à ces dessins? Pourquoi? Dessiner les vues de dessus ?

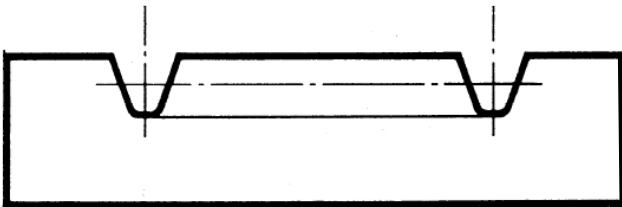
Dessin 1



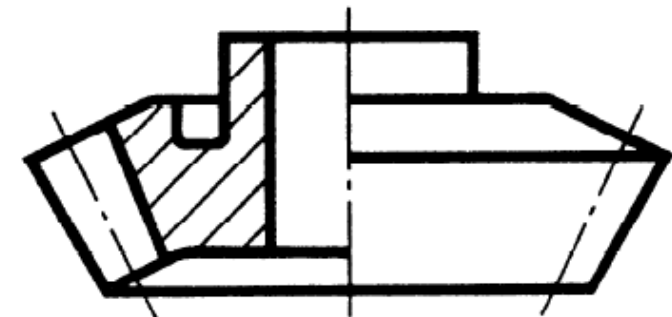
Dessin 3



Dessin 2



Dessin 4

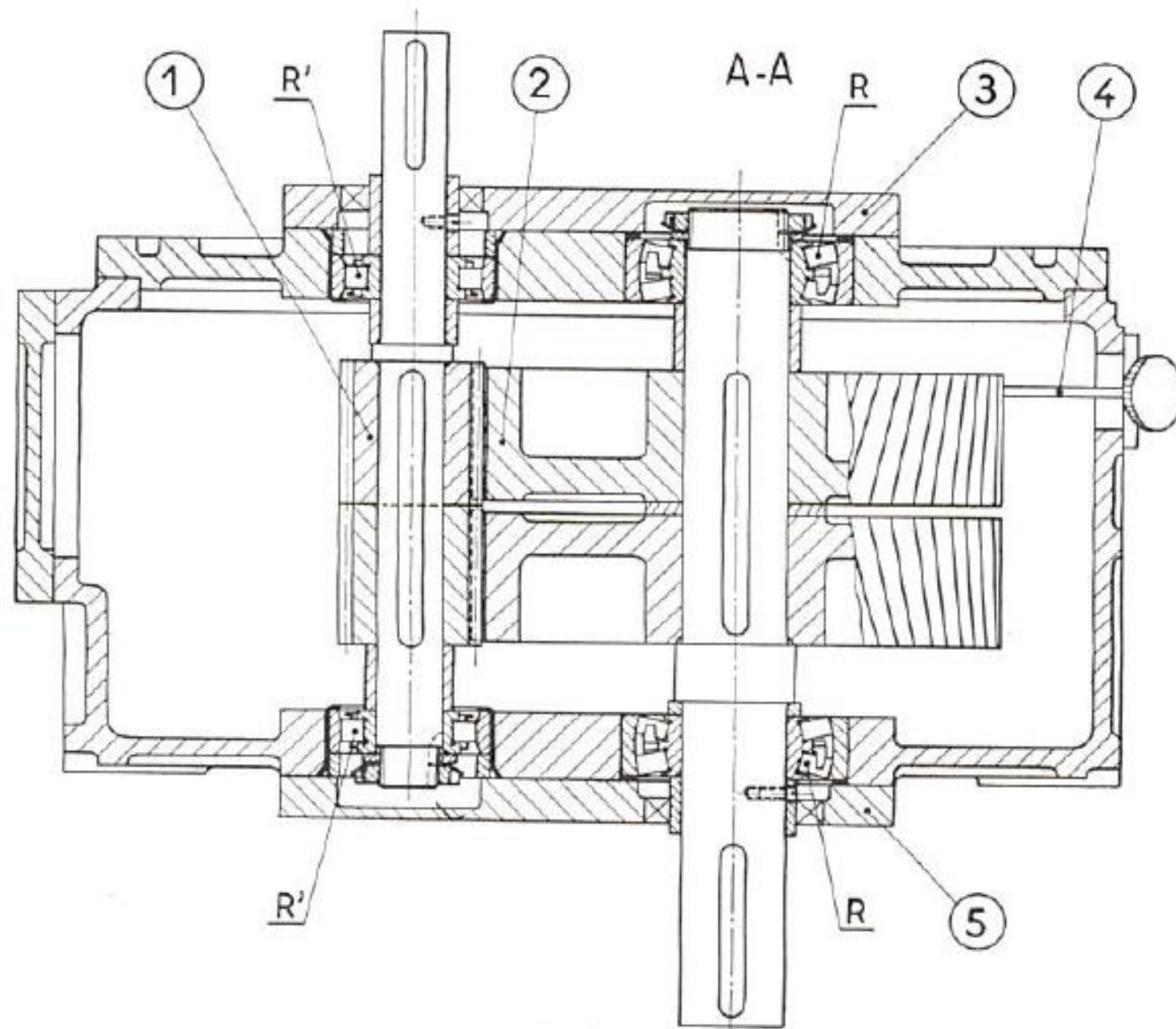




# Exercice 2

Trouvez :

- les écrous KM
- les éléments qui assurent l'étanchéité du mécanisme
- les roulements et expliquez leurs fixations
- les engrenages et expliquez leurs fixations aux arbres (c.à.d. expliquer quels mouvements sont fixés et par quelles pièces)
- quel arbre est l'arbre de l'entrée de puissance et quel de la sortie, en sachant que ce mécanisme est un réducteur ? Pourquoi cette information nous aide à répondre à la question ?
- la pièce 4 et expliquez son utilité



# Exercice 3

Deux configurations des engrenage sont très caractéristiques et vous devrez savoir leur existence :

1. Les trains épicycloïdaux
2. Les différentielles

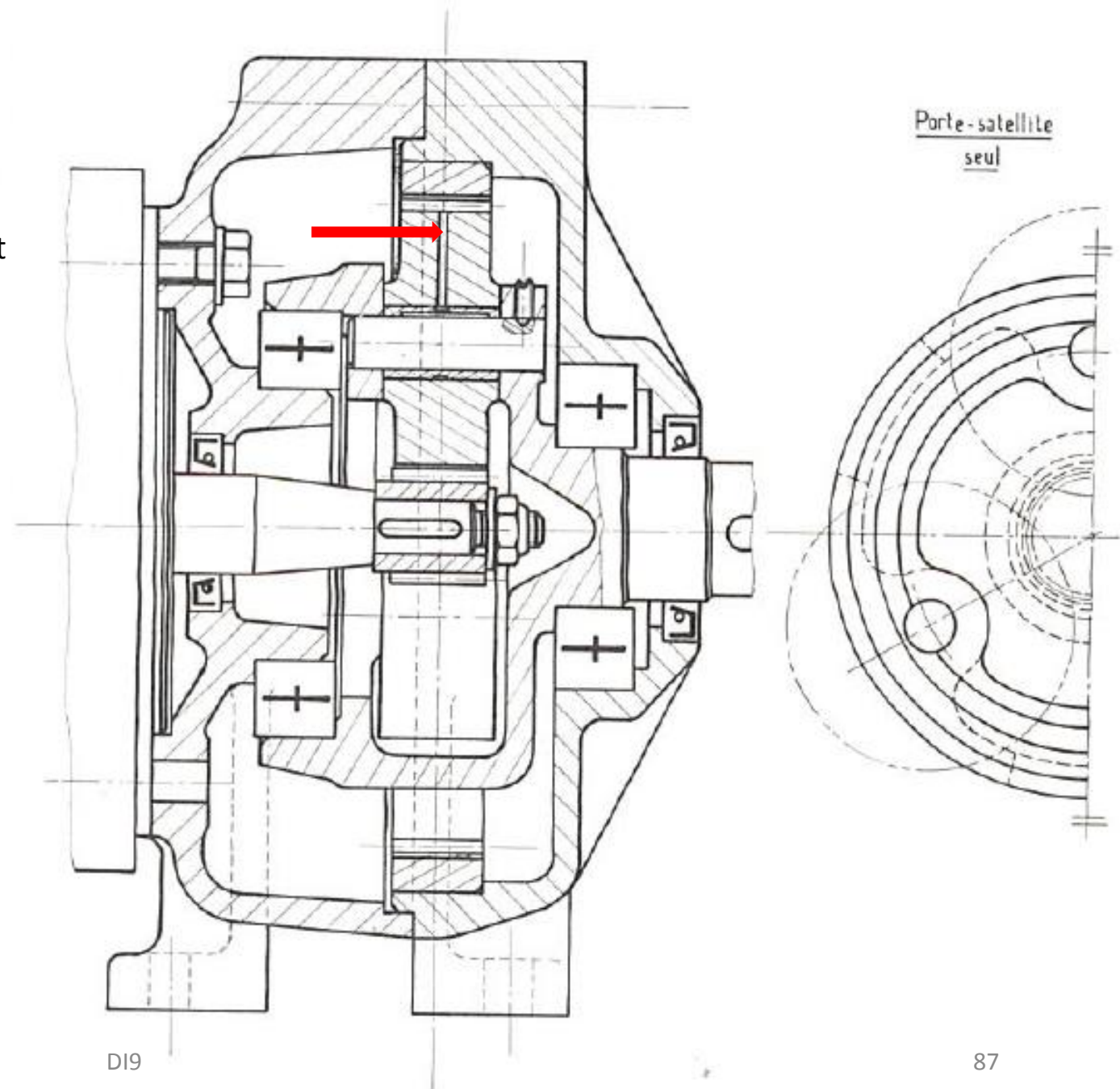
Cela est le dessin d'un train épicycloïdal. Trouvez :

- les éléments qui assurent l'étanchéité du mécanisme
- les roulements
- les engrenages et expliquez leurs fixations (c.à.d. expliquer quels mouvements sont fixés et par quelles pièces).

Renseignez-vous :

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Train\\_épi-cycloïdal](https://fr.wikipedia.org/wiki/Train_épi-cycloïdal)

- les pièces en rotation
- à quoi sert le trou débouchant indiqué avec la flèche rouge





# Exercice 4

Trouvez :

- les roulements de ce mécanisme et les arbres
- à quoi sert la pièce 26 et 16 à côté des deux roulements à billes
- un arbre cannelé
- des dentures, des engrenages et expliquez les fixations des engranges aux arbres (c.à.d. expliquez quels mouvements sont fixés et par quelles pièces).
- quelle arbre est l'arbre de l'entrée de puissance et quelle de la sortie ? Par quelle pièce est-elle transmise au mécanisme et par quelle est-elle consommée?
- Que la position « neutre » est indiquée sur le dessin, comment la puissance est transmise entre les arbres ?
- combien des options (commandes) de transmission de puissance à l'utilisateur de cet appareil ?
- quelles propositions sont correctes :
  1. Chaque commande change la puissance transmise par la machine
  2. Chaque commande change la vitesse de rotation de l'arbre 1
  3. Chaque commande change la vitesse de rotation de l'arbre 3
  4. Il y a une commande « frein » qui arrête un arbre
  5. Chaque commande change le couple transmis
  6. Le trou débouchant 8 n'a aucune utilité
  7. C'est normal que le mécanisme n'ait pas des éléments d'étanchéité

