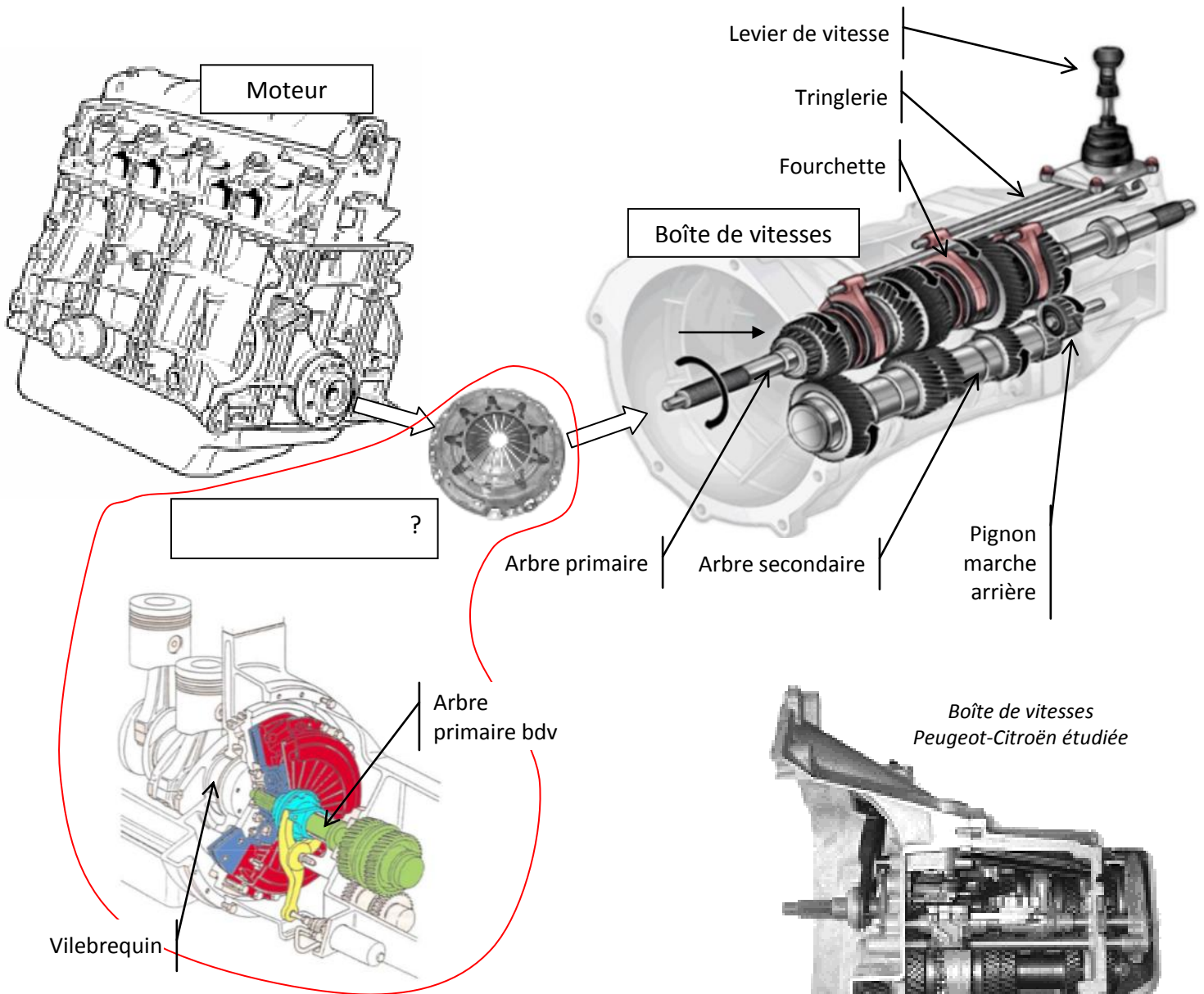


TD	Support : boîte de vitesses	TSI
----	-----------------------------	-----



**Rôle de la boîte de vitesse**

C'est un dispositif mécanique, ou plus généralement mécatronique, permettant d'adapter la transmission de puissance fournie par le moteur aux différentes conditions de roulage du véhicule (démarrage, accélération, roulage, marche arrière, etc.).

La boîte de vitesses offre ainsi la possibilité d'augmenter le couple disponible sur l'essieu moteur, le réducteur à engrenages étant la solution la plus commune pour réaliser cette fonction.

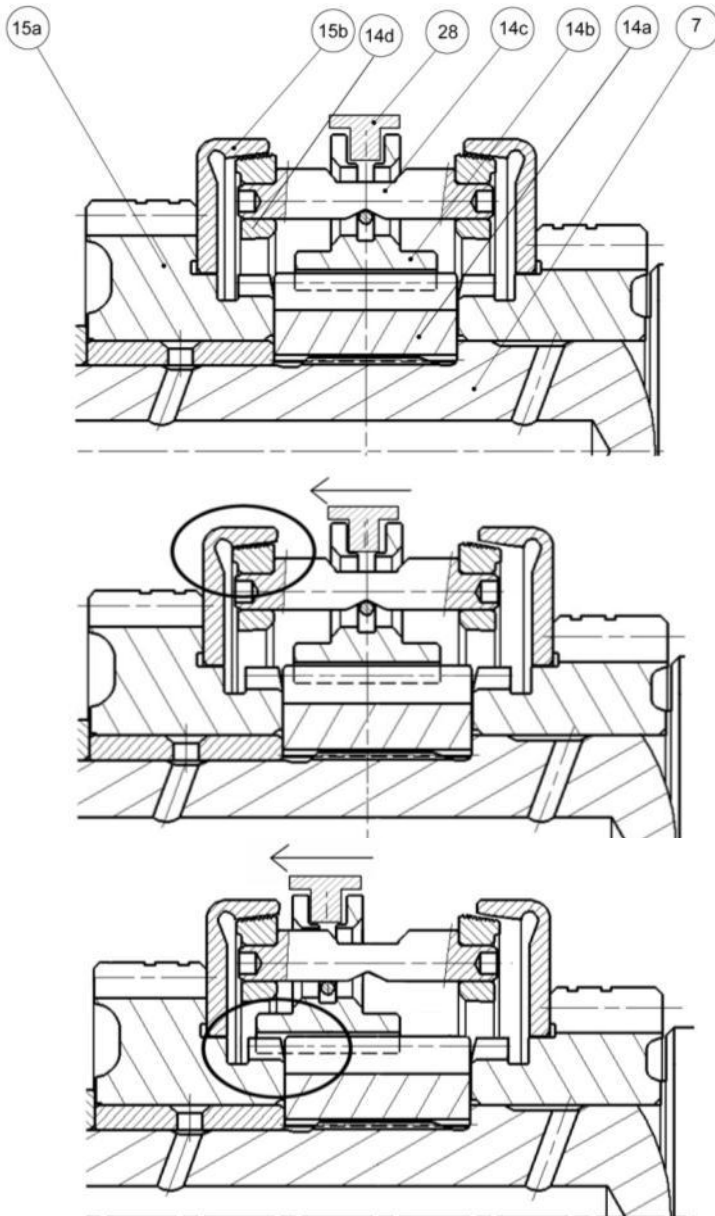
La boîte dispose ainsi d'un rapport nul appelé point mort pour le démarrage du moteur ou le passage des vitesses, d'un rapport de marche arrière pour inverser le sens de rotation des roues et de plusieurs rapports étagés pour la marche avant.

Les documents qui suivent sont associés à une boîte de vitesses manuelle 5 rapports équipant une large gamme de véhicules Peugeot-Citroën (206, 306, Partner, Berlingo, C3, ...)

Quelques informations supplémentaires sur le passage des vitesses :

### Fonctionnement du synchroniseur de vitesses

Le levier de vitesse permet la sélection et le passage d'un rapport. Cela se traduit, dans la boîte, par le déplacement d'un crabot réalisé par l'intermédiaire des fourchettes. Le crabot vient alors solidariser un pignon avec l'arbre primaire ou secondaire en fonction du rapport enclenché. Le maintien de l'engrènement des pignons est réalisé par un indexage sur les axes des fourchettes.



Par exemple, étudions le passage de la 4<sup>ème</sup> (pignon 15a), au niveau de l'arbre primaire (7) :

Le moyeu (14a) du synchroniseur est en liaison encastrement avec l'arbre primaire (7) et en liaison glissière avec le crabot (14b). Le pignon de 4<sup>ème</sup> (15a) est en liaison pivot avec l'arbre primaire (7).

#### Synchronisation :

La fourchette (28) déplace le crabot (14b), l'axe de verrouillage (14c) et le cône de synchronisation (14d) vers la gauche. La partie conique du cône de synchronisation (14d) vient en contact avec la partie conjuguée de la cloche de synchronisation (15b), liée au pignon de 4<sup>ème</sup> (15a). Par adhérence, la vitesse du pignon de 4<sup>ème</sup> (15a) se synchronise avec celle de l'arbre primaire (7).

#### Crabotage :

La fourchette (28) finit de déplacer l'ensemble (14b), (14c) et (14d) vers la gauche. Le crabot (14b) vient se craboter sur les cannelures du pignon de 4<sup>ème</sup> (15a). L'arbre primaire (7) entraîne alors le synchroniseur (14) qui transmet l'énergie au pignon (15) par l'intermédiaire des cannelures.

### Aperçu des fourchettes de commande

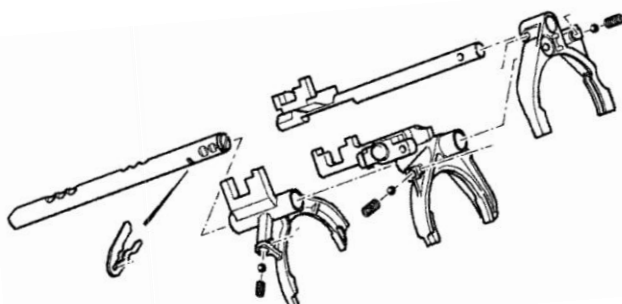
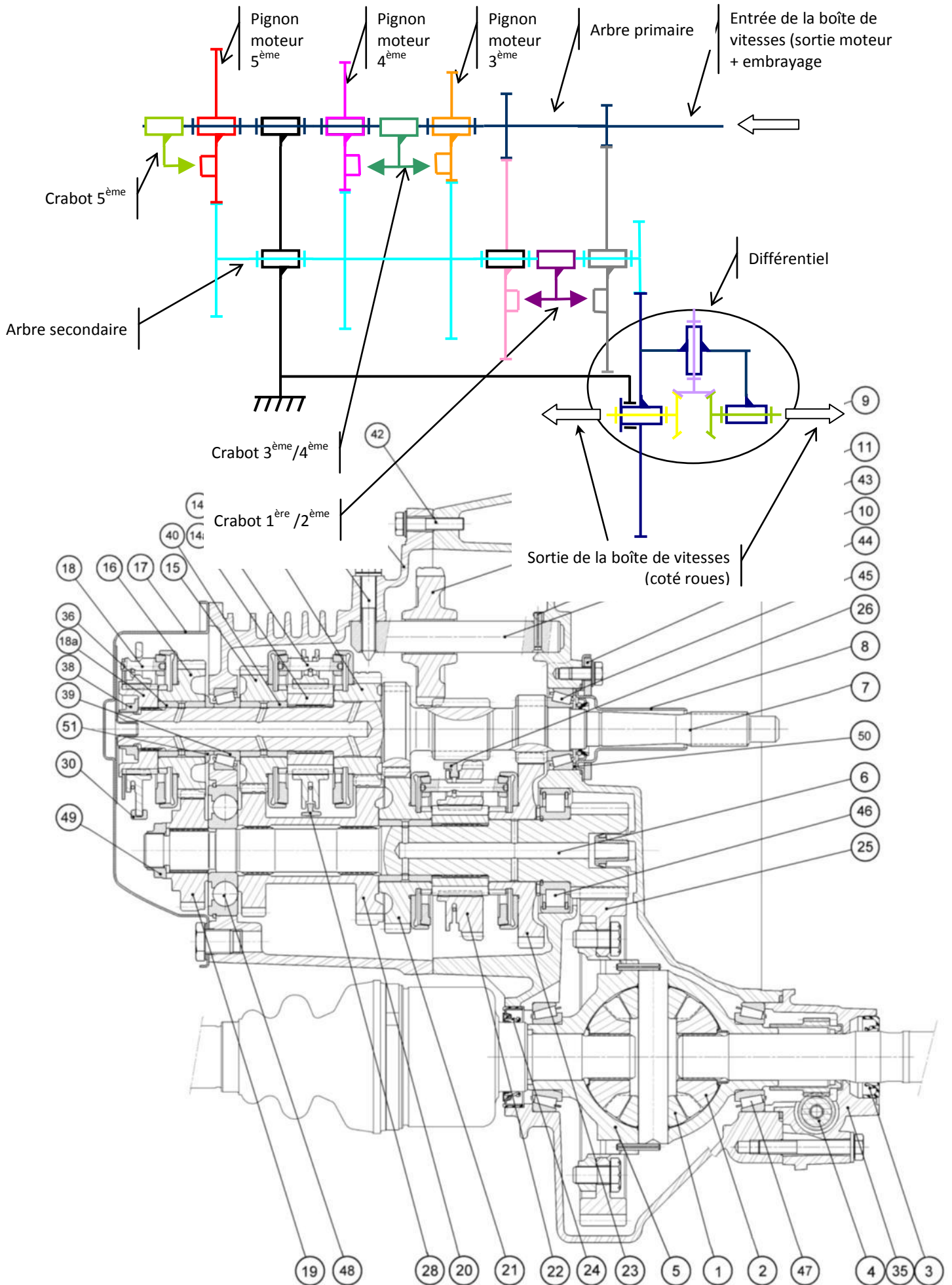


Schéma cinématique et plan d'ensemble (échelle 1 : 3) de la boîte de vitesses



Travail demandé

- **Partie A : Etude des spécifications dimensionnelles et géométriques**

➡ Voir RESSOURCE ET APPLICATIONS « COTATION GPS »

- **Partie B : Analyse de la fonction « guider l'arbre primaire en rotation »**

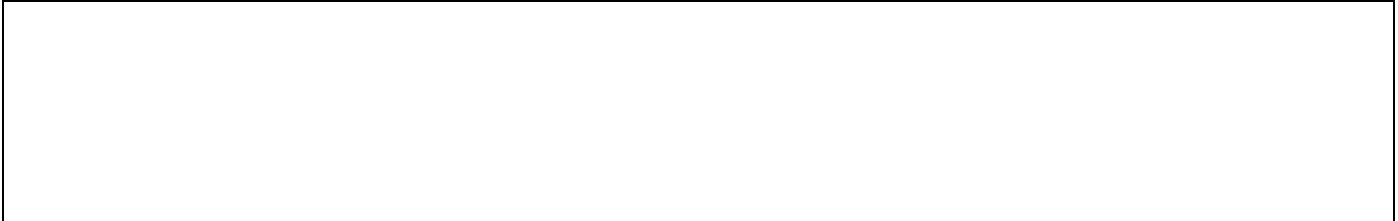
➡ Voir RESSOURCE « GUIDAGES EN ROTATION »

Objectifs : pour le guidage en rotation de l'arbre primaire par rapport aux carters, il s'agit de :

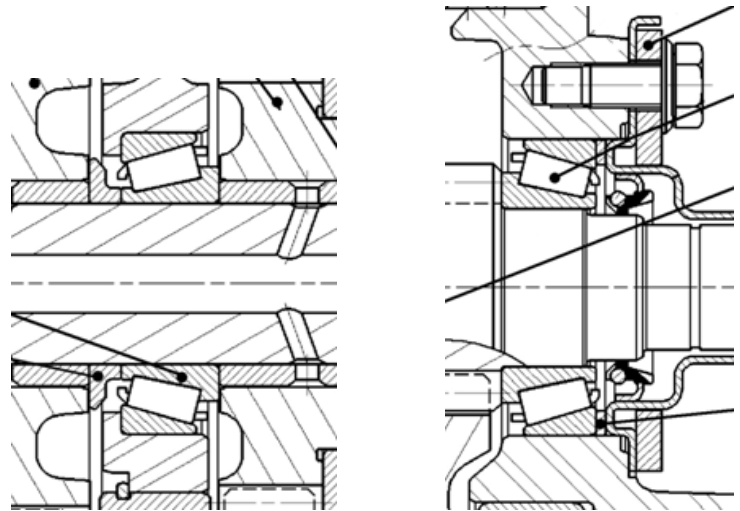
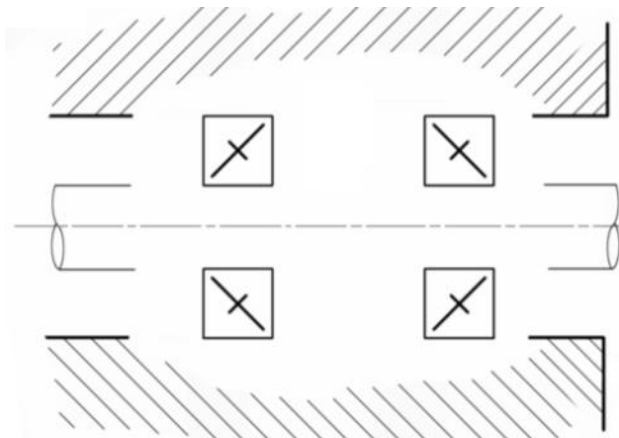
- Vérifier le dimensionnement des roulements installés
- Identifier un procédé capable de garantir l'alignement des 2 paliers de guidage.

**Analyse du montage de roulements réalisant le guidage en rotation de l'arbre primaire**

**Q1.** Indiquer le type de roulement utilisé ainsi que le type de montage retenu. Justifier ces choix.



- Symboliser les arrêts axiaux sur le schéma suivant



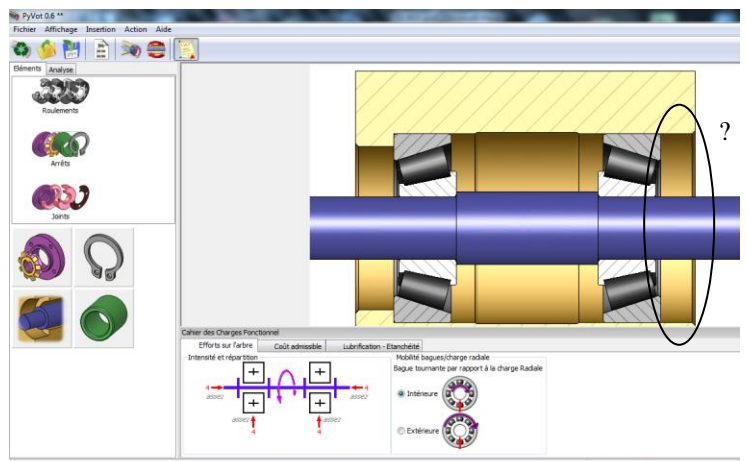
« Zoom » sur le montage des 2 roulements

**Q2.** A partir du logiciel « PyVot », construire un montage de roulements se rapprochant des solutions utilisées pour guider l'arbre primaire de la bdv.

Consignes de montage :

- Utiliser deux roulements de tailles identiques et « petits ».
- Les efforts radiaux et axiaux sur l'arbre seront tous considérés d'un niveau 4 « assez ».
- Les arrêts axiaux à installer : épaulement sur l'arbre entre les 2 bagues intérieures des roulements + 1 épaulement en appui sur la bague extérieure du roulement de gauche.

Sélectionner et installer une solution viable sur la bague extérieure du roulement de droite. Vérifier et valider en faisant une « analyse » de votre montage. Modifier votre solution si nécessaire.





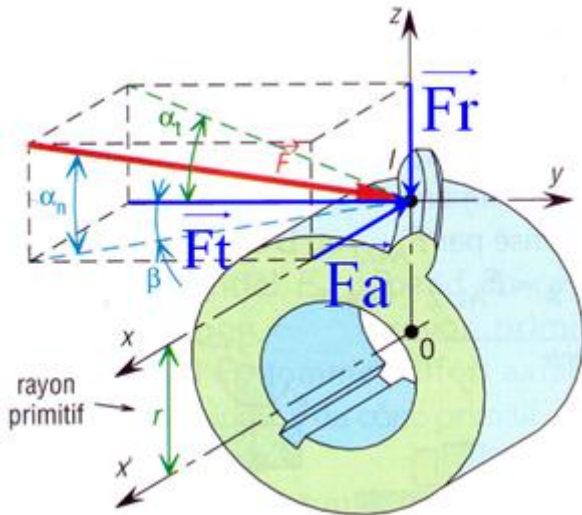
Ressource : Technologie des systèmes

Tous les engrenages de cette boîte de vitesses sont à denture hélicoïdale. L'engrènement est plus progressif et moins bruyant que des engrenages à denture droite.

Au contact des dentures, les efforts se transmettent selon les relations suivantes :



Engrenage à denture hélicoïdale



Avec :

$$F_t = F \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta$$

$$F_a = F \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta$$

$$F_r = F \cdot \sin \alpha$$

$\alpha$  : angle de pression = 20° (angle dû au profil des dentures))

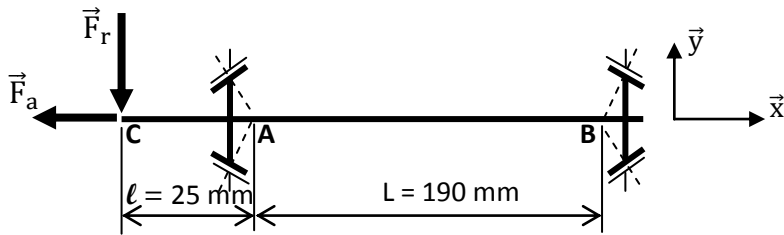
$\beta$  : angle d'hélice = 20° (valeur classique, 15° ≤ β ≤ 30°)

Détermination des efforts aux centres de poussée des roulements. Application pour un Citroën Picasso 1.6 HDI 110 Ch, couple moteur 270 Nm à 1750 tr/min.

Q3. Calculer les efforts axiaux et radiaux ( $\vec{F}_a$  et  $\vec{F}_r$ ) sur la denture lorsque la boîte est sur le cinquième rapport.



Pour la suite de la vérification du dimensionnement des roulements, le modèle retenu sera :



Données :

A et B sont les centres de poussée des 2 roulements à rouleaux coniques

$$\|\vec{F}_a\| = 2700 \text{ N}$$

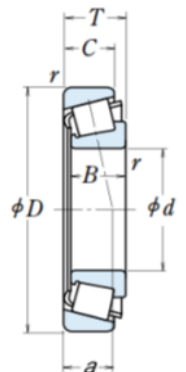
$$\|\vec{F}_r\| = 2900 \text{ N}$$

On suppose que les roulements ne sont pas

préchargés (aucune force axiale supplémentaire due à la précharge)

Extrait de catalogue de roulements à rouleaux coniques NSK

Dimensions (mm)						Capacité de Charge (N)				Vitesses Limites (tr/min)		Référence Roulement	Centre Applic. Forces (mm)	Const-tante	Facteur de Charge Axiale		Masse (kg)
d	D	T	B	C	Cône r min	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	C <sub>r</sub>	C <sub>0r</sub>	Graisse	Huile				a	e	
15	35	11.75	11	10	0.6	14 800	13 200	1 510	1 350	11 000	15 000	HR 30202	8.2	0.32	1.9	1.0	0.053
42	14.25	13	11	1	1	23 600	21 100	2 400	2 160	9 500	13 000	HR 30302 J	9.5	0.29	2.1	1.2	0.098
40	13.25	12	11	1	1	20 100	19 900	2 050	2 030	9 500	13 000	HR 30203 J	9.7	0.35	1.7	0.96	0.079
40	17.25	16	14	1	1	27 100	28 000	2 770	2 860	9 500	13 000	HR 32203 J	11.2	0.31	1.9	1.1	0.103
47	15.25	14	12	1	1	29 200	26 700	2 980	2 720	8 500	12 000	HR 30303 J	10.4	0.29	2.1	1.2	0.134
47	15.25	14	10.5	1	1	22 000	20 300	2 240	2 070	8 000	11 000	30303 D	15.4	0.81	0.74	0.41	0.129
47	20.25	19	16	1	1	37 500	36 500	3 800	3 750	8 500	11 000	HR 32303 J	12.5	0.29	2.1	1.2	0.178
20	42	15	15	12	0.6	24 600	27 400	2 510	2 800	9 000	12 000	HR 32004 XJ	10.6	0.37	1.6	0.88	0.097
47	15.25	14	12	1	1	27 900	28 500	2 850	2 900	8 000	11 000	HR 30204 J	11.0	0.35	1.7	0.96	0.127
47	15.25	14	12	0.3	1	23 900	24 000	2 430	2 450	8 000	11 000	HR 30204 C-A	13.0	0.55	1.1	0.60	0.126
47	19.25	18	15	1	1	35 500	33 500	3 650	3 050	8 500	11 000	HR 32204 J	12.6	0.32	1.8	1.0	0.161
47	19.25	18	15	1	1	35 500	33 500	3 650	3 050	8 500	11 000	HR 32204 CJ	14.5	0.5			
52	16.25	15	13	1.5	1.5	11.6	0.3	11.6	0.3	10 000	10 000	HR 30304 J	11.6	0.3			
52	16.25	15	12	1.5	1.5	10.0	0.8	10.0	0.8	10 000	10 000	30304 D	16.7	0.8			
52	16.25	15	12	1.5	1.5	11.6	0.3	11.6	0.3	10 000	10 000	HR 32304 J	13.9	0.3			
22	44	15	15	11.5	0.6	27 200	29 500	2 780	3 000	7 500	10 000	HR 320/22 XJ	11.1	0.4			
50	15.25	14	12	1	1	36 500	40 500	3 750	4 100	7 500	11 000	HR 32304 J	11.6	0.3			
50	15.25	14	12	1	1	33 500	39 500	3 400	4 000	7 500	10 000	HR 302/22 C	13.0	0.4			
50	19.25	18	15	1	1	36 500	40 500	3 750	4 100	7 500	11 000	HR 322/22	13.5	0.37	1.6	0.89	0.18
50	19.25	18	15	1	1	33 500	39 500	3 400	4 000	7 500	10 000	HR 322/22 C	15.2	0.51	1.2	0.65	0.185
56	17.25	16	14	1.5	1.5	37 000	36 500	3 750	3 750	7 100	9 500	HR 303/22	12.4	0.32	1.9	1.0	0.208
56	17.25	16	13	1.5	1.5	34 500	34 000	3 500	3 500	6 700	9 500	HR 303/22 C	15.9	0.59	1.0	0.56	0.207
25	47	15	15	11.5	0.6	27 400	33 000	2 800	3 400	8 000	11 000	HR 32005 XJ	11.8	0.43	1.4	0.77	0.116
47	17	17	14	0.6	0.6	31 000	36 000	3 150	3 900	8 000	11 000	HR 33005 J	11.0	0.29	2.1	1.1	0.131
52	16.25	15	13	1	1	32 000	35 000	3 300	3 550	7 100	10 000	HR 30205 J	12.7	0.38	1.6	0.88	0.157
52	16.25	15	12	1	1	28 100	31 500	2 860	3 200	9 700	9 500	HR 30205 C	14.4	0.53	1.1	0.62	0.155
52	19.25	18	16	1	1	40 000	45 000	4 050	4 600	7 100	10 000	HR 32205 J	13.5	0.36	1.7	0.92	0.189



$$P_{eq} = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

Si  $F_a/F_r \leq e$  alors  $X=1$  et  $Y=0$

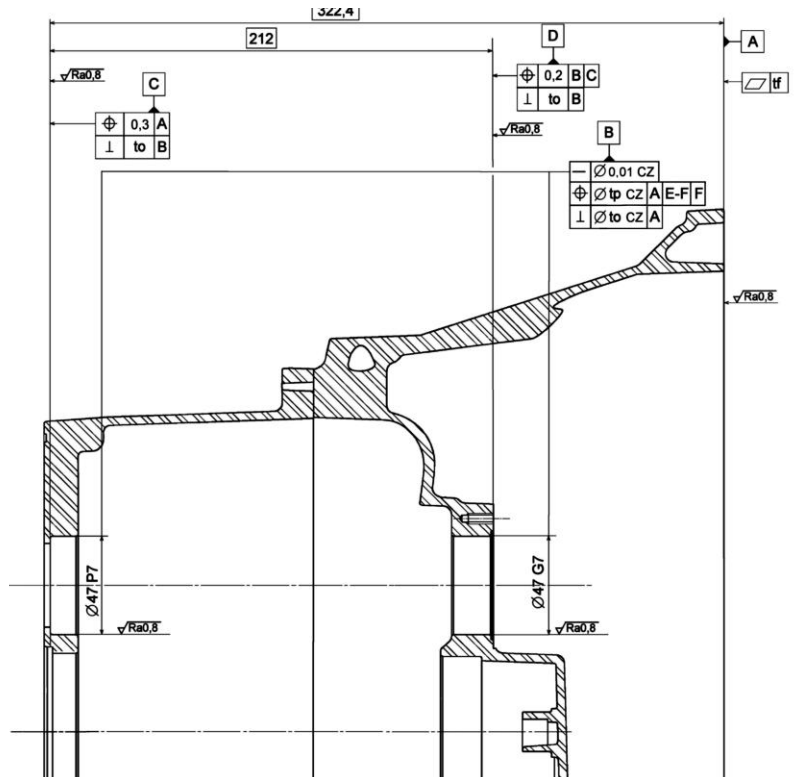
Si  $F_a/F_r > e$  alors  $X=0,4$  et  $Y=Y_1$

**Q4.** Déterminer les actions mécaniques aux centres de poussées A et B. Puis reporter, sans notion d'échelle, les composantes non nulles des efforts sur le modèle page précédente.

**Q5.** En suivant la procédure donnée page 13 du document sur « les guidages en rotation et translation », déterminer la charge équivalente  $P_{eq}$  à prendre en compte.

**Q6.** En déduire la durée de vie en heures des roulements montés pour le guidage de l'arbre primaire. Cette durée vous semble t'elle acceptable ? Critiquer le modèle retenu si nécessaire.

**Q7.** Entourer sur le dessin de définition des carters assemblés ci-contre la spécification géométrique qui garantit l'alignement des paliers.



**Q8.** Proposer une procédure à suivre (ordre des opérations) au cours de la fabrication pour garantir la valeur de la tolérance associée à cette spécification.

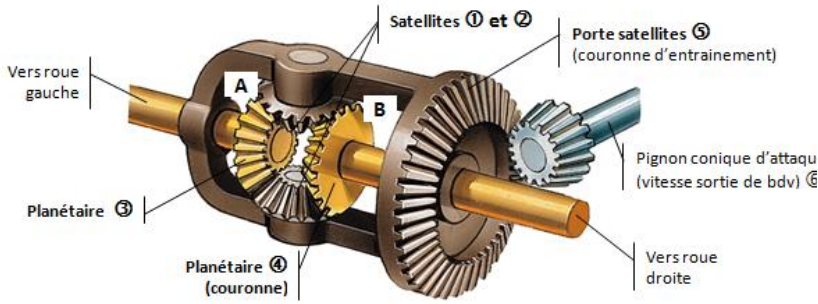
**- Partie C : Etude des rapports de transmission de la bdv et du différentiel**

**Q9.** Proposer un schéma cinématique des pièces en mouvement entre l'arbre primaire et la couronne d'entrée du différentiel 25, lorsque la 5<sup>ème</sup> vitesse est enclenchée.

**Q10.** En relevant les informations nécessaires directement sur le plan d'ensemble page 3, déterminer le rapport de transmission  $i_{25/7} = \frac{N_{25/0}}{N_{7/0}}$  (0 étant le bâti).

**Q11.** Justifier l'importance du différentiel lorsque la voiture est en ligne droite, puis en virage.

**Q12.** Citer le type de réducteur associé au différentiel. Puis compléter le schéma cinématique en faisant correspondre les repères des pièces du différentiel donné ci-dessous.



(Dans notre étude le pignon d'attaque n'est pas conique ...)

Pour aller plus loin ...

Retrouver la formule de Willis ( $\frac{\omega_{P/O} - \omega_{PS/O}}{\omega_{C/O} - \omega_{PS/O}} = -\frac{Z_C}{Z_P}$ ) en écrivant les relations associées au roulement sans glissement, au niveau des points de contact entre le satellite et le planétaire puis entre le satellite et la couronne

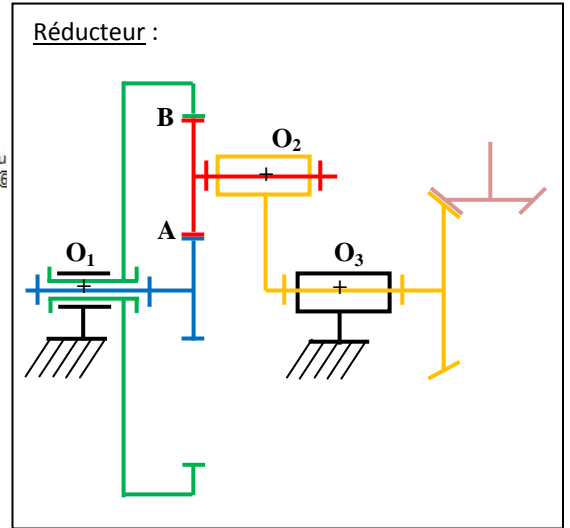


Schéma cinématique associé

**Q13.** Déterminer la vitesse de rotation du moteur lorsque la voiture roule à 100 km/h (bdv en 5<sup>ème</sup>).

Donnée : **taille pneus 215 / 55 R16**

Largeur bande de roulement

Hauteur pneu = 55% de la bande de roulement

Diamètre jante en pouce (1 pouce = 25,4 mm)



**- Partie D : Choix d'un matériau pour la fourchette**

Le cahier des charges de la fourchette est constitué de données de conception et de données économiques qui sont les suivantes :

**Données de conception :**

- La fourchette est réalisée en matériau non ferreux à déterminer précisément.
- Le matériau doit avoir une très bonne formabilité ainsi qu'une grande aptitude à fondre afin d'être réalisé en fonderie.
- Limite élastique minimale de 100 MPa.

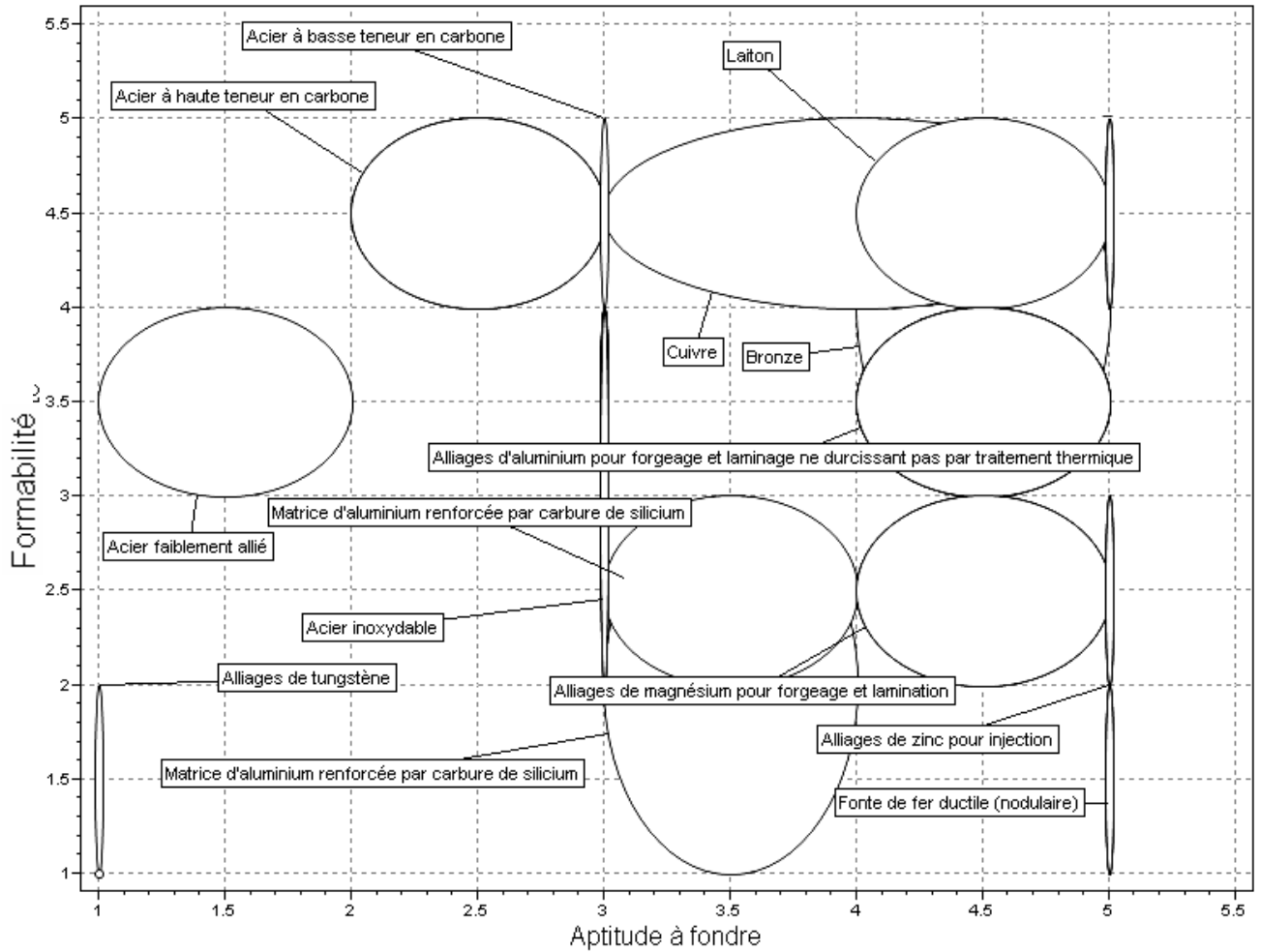
**Données économiques :**

- Production de 15000 unités par mois.
- Prix de la matière ne dépassant pas 2,8 €/Kg.

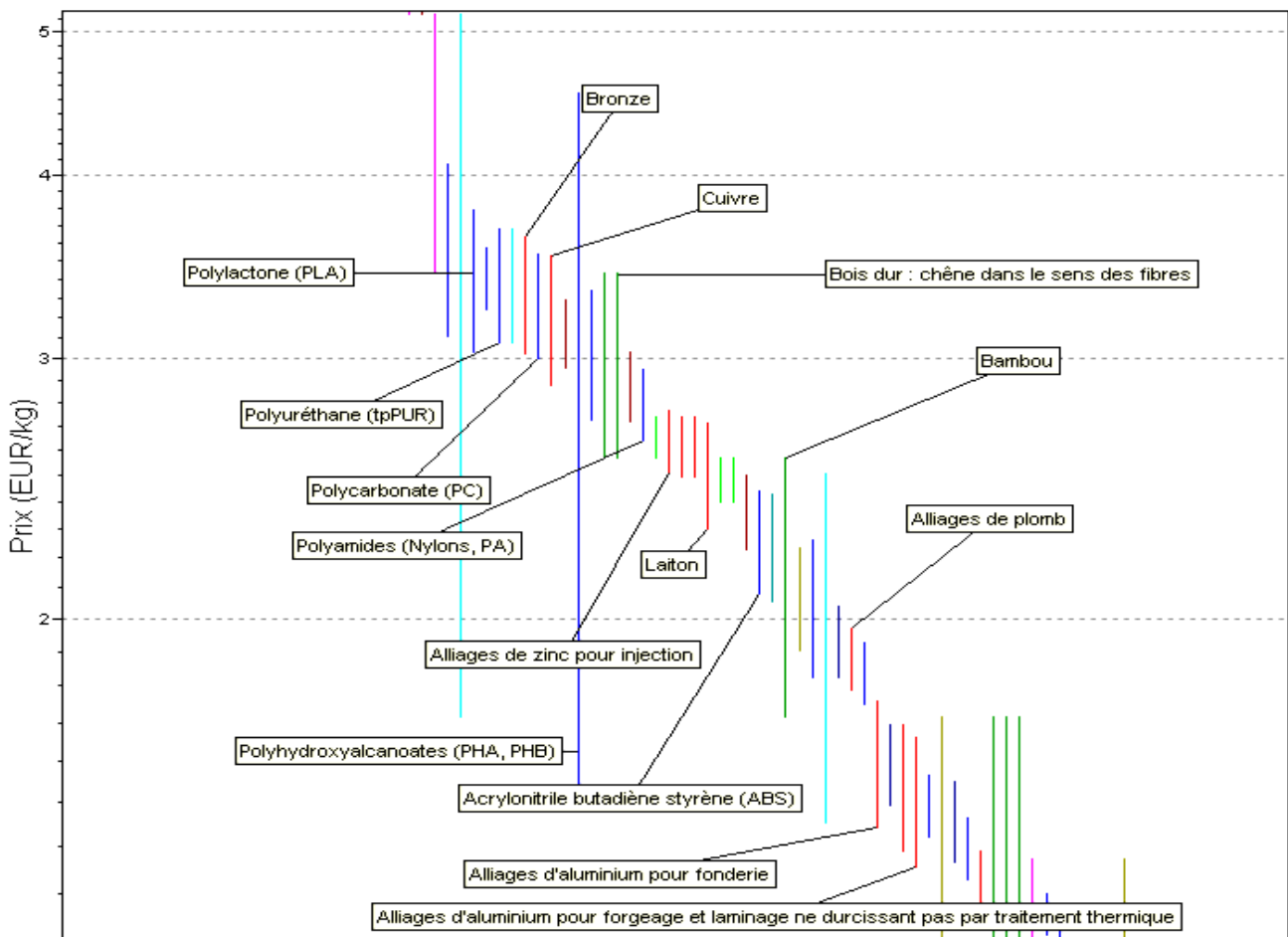
**Q14.** À partir des données de conception, entourer 5 familles de matériaux les plus adaptées sur le graphique « formabilité/aptitude à fondre » du document donné page suivante.

**Q15.** La fourchette est fixe par rapport au bâti. Elle est en contact glissant avec un crabot en acier. Choisir deux familles de matériaux parmi celles trouvées précédemment de façon à diminuer le frottement.



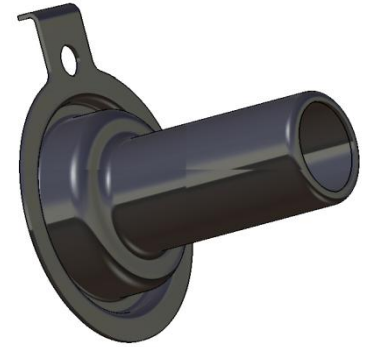


Q16. Encadrer sur le graphique des coûts matière, la zone correspondant au cahier des charges. En déduire la famille de matériaux correspondant au critère du cahier des charges.



**- Partie D' : Choix d'un matériau pour la douille 8**

La douille de guidage 8 est réalisée par emboutissage. Les concepteurs ont envisagé deux matériaux pour la fabrication de cette pièce :

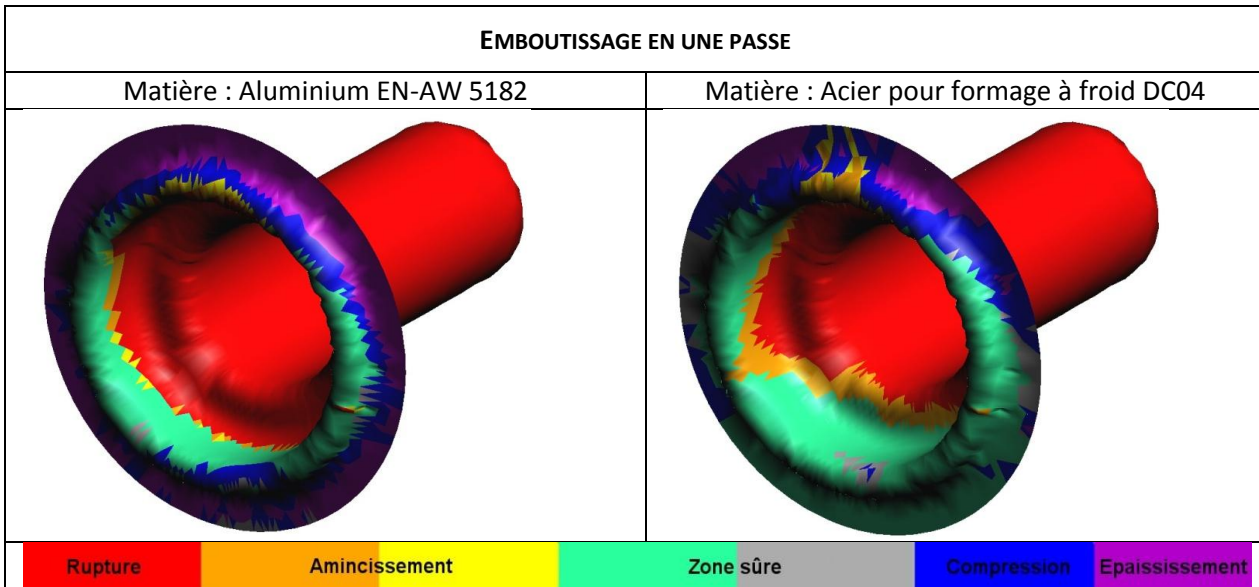


Matière	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Prix (€/kg)
Aluminium EN-AW 5182 (Al Mg4,5 Mn0,4) aluminium pour forgeage	2700	1.75
Acier DC04 (acier à haute formabilité pour emboutissage)	7850	0.45

Le volume de la douille est de 15,7 cm<sup>3</sup>.

**Q17.** Déterminer le coût matière unitaire pour chacun des deux matériaux. En déduire le matériau le plus économique sachant que la série envisagée est de 15000 pièces/mois. Justifier votre réponse.

Une simulation d'emboutissage **en une passe** a permis d'obtenir les résultats suivants :



**Q18.** Analyser les simulations effectuées et commenter la capacité de ces 2 matériaux à être emboutis en une seule passe pour former la douille.

**Q19.** Conclure sur le choix du matériau pour la douille 8.

**Q20.** En analysant la documentation technique page suivante, choisir le procédé approprié pour la réalisation de la douille. Justifier votre réponse.

## Emboutissage

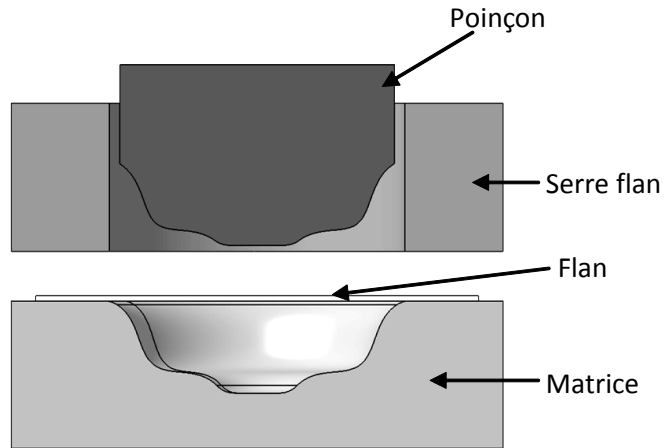
L'emboutissage est une technique de fabrication permettant d'obtenir, à partir d'une feuille de tôle plane et mince (nommée « flan »), un objet dont la forme n'est pas développable. Pour faciliter la déformation, le flan est généralement porté à une température se situant entre le tiers et la moitié de la température de fusion du matériau.

Du fait de la conservation globale du volume du matériau, les zones d'étirement subissent un amincissement (qui doit rester limité pour éviter la rupture) et les zones de rétreint (compression) subissent une combinaison d'épaississement et de plissement. On cherche en général à éviter ce plissement, mais il ne peut jamais être complètement absent et on le déplace, si possible, dans les parties de la pièce qui seront éliminées dans la suite du processus de fabrication (détourage).

### Fonctionnement

L'emboutissage se pratique à l'aide de presses à emboutir de forte puissance munies au minimum des trois outillages suivants :

- **une matrice**, en creux représentant la forme extérieure de la pièce
- **un poinçon**, en relief représentant la forme intérieure tout en préservant l'épaisseur de la tôle
- **un serre-flan** entourant le poinçon, servant à coincer les bords du flan pendant l'application du poinçon.



<b>Etape 1 :</b> Le flan est placé sur la matrice	<b>Etape 2 :</b> Le serre-flan vient serrer le flan sur la matrice	<b>Etape 3 :</b> Le poinçon vient déformer le flan en le plaquant dans la matrice	<b>Etape 4 :</b> Le poinçon et le serre-flan remontent pour libérer la pièce	Pièce brute d'emboutissage

### Principaux défauts :

Les principaux défauts rencontrés sont des déchirures et les plis.

Selon la profondeur ou la forme de la pièce, plusieurs emboutissages successifs à l'aide d'outils de plus en plus complexes peuvent être nécessaires.

