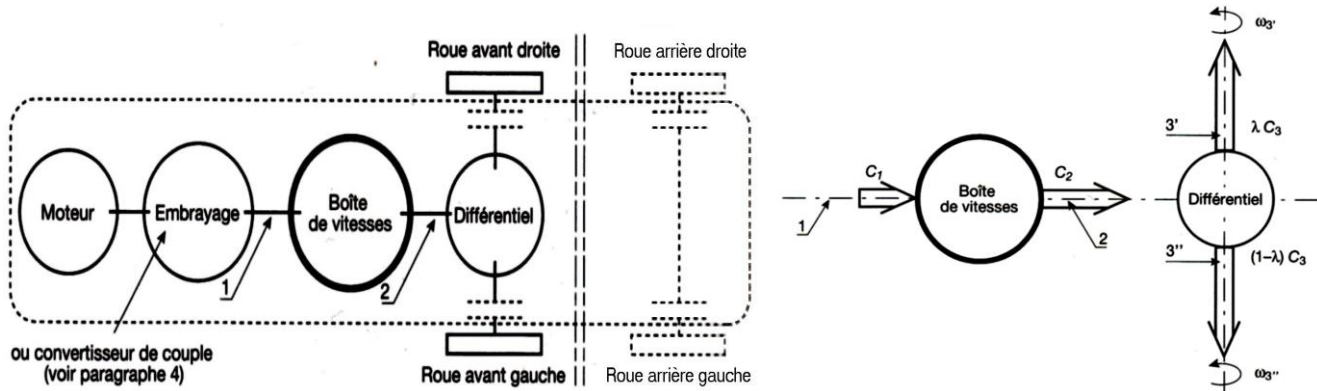


Les boîtes de vitesses

1 - La boîte de vitesse est située entre l'embrayage et le différentiel. Pour une boîte de vitesse automatique, l'embrayage est remplacé par un convertisseur de couple.



Le couple disponible en sortie de boîte de vitesses a pour expression, si (1) et (2) sont respectivement les arbres d'entrée et de sortie :

$$C_2 = \eta_{12} \cdot \frac{1}{K_{12}} \cdot C_1$$

K_{12} : rapport de transmission = $\frac{\omega_2}{\omega_1}$ (variable selon la vitesse sélectionnée)

η_{12} : rendement mécanique de la boîte de vitesse

C_1 : couple à l'entrée de la boîte de vitesse

2 - Sur un véhicule automobile, le différentiel est monté en série avec la boîte de vitesses. Le couple global disponible au niveau des roues motrices a pour expression :

$$C_3 = \eta_{12} \cdot \eta_{23} \cdot \frac{1}{K_{12} \cdot K_{23}} \cdot C_1$$

• K_{23} = Rapport de transmission du différentiel ; $K_{23} = \frac{\omega_3}{\omega_2}$ (constant)

• η_{23} = Rendement du différentiel

3 - 3 paramètres principaux interviennent pour s'opposer au déplacement d'un véhicule automobile dans l'hypothèse d'un mouvement uniforme :

- la pente à gravir
- le coefficient de roulement des pneumatiques
- le coefficient de pénétration dans l'air

En conséquence, pour un véhicule à traction avant, le couple résistant au niveau des roues motrices a pour expression :

$$C_R = MgR \sin \alpha + Mg \cdot \delta + \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot C_x \cdot R^3 \cdot \omega_3^2$$

Dans cette équation, les variables sont :

- α (ou $\sin \alpha$) = pente à gravir
- ω_3 : fréquence de rotation des roues
- M : masse du véhicule en kg
- δ : Coefficient de roulement des pneumatiques en m
- R : rayon des roues motrices en m
- ρ : masse volumique de l'air en kg/m^3
- C_x : Coefficient de pénétration dans l'air
- S : maître-couple en m^2

4 - Le premier rapport sélectionné dans la boîte de vitesses est celui qui délivre à l'arbre de roue (3) le couple C_3 maximal. Pour éviter tout risque de patinage des roues motrices, celui-ci ne doit pas dépasser les valeurs suivantes :

- Pour un véhicule à traction : $C_{3M} = T_{AM} \cdot R = \frac{CMgRf}{L + fh} \cos \alpha$

- Pour un véhicule à propulsion : $C_{3M} = T_{BM} \cdot R = \frac{CMgRf}{L - fh} \cos \alpha$

5 - Les engrenages d'une boîte de vitesses à commande manuelle sont installés en train ordinaires. Le fonctionnement nécessite la présence d'éléments tels que :

- les **pignons**
- les **pignons baladeurs**
- les **crabots**
- les **synchronisateurs**
- les **fourchettes**
- les **coulisseaux**
- les **dispositifs de verrouillage**
- les **dispositifs de sécurité**

Les synchronisateurs, dans une boîte de vitesses à 2 ou 3 arbres sont nécessaires. Quand le conducteur change de rapport, la manoeuvre doit s'effectuer sans choc. Il faut donc **égaliser les fréquences angulaires des éléments à accoupler**.

3 périodes :

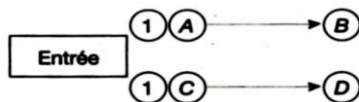
■ 1^{er} rapport de vitesse en prise

Crabot (E) déplacé à droite : liaison (E→D) type "encastrement"



■ Le conducteur débraye :

- crabot (E) en position neutre
- roues dentées B et D tournent librement sur l'arbre secondaire (2)
- Liaisons (B - 2) et (D - 2) de type "pivot"



■ Le conducteur engage le 2^{ème} rapport de vitesse

Pour passage sans choc il faut vérifier :

$$\|\vec{V}_{M B/0}\| = \|\vec{V}_{M E/0}\|$$

M point commun à E et à B quand ils entrent en contact. $k_{12}\omega_1 r_M = \omega_2 r_M$

$$\text{Si } k_{12} = \frac{\omega_B}{\omega_A} = \frac{r_A}{r_B} \text{ donc } \omega_1 = \frac{1}{k_{12}} \omega_2$$

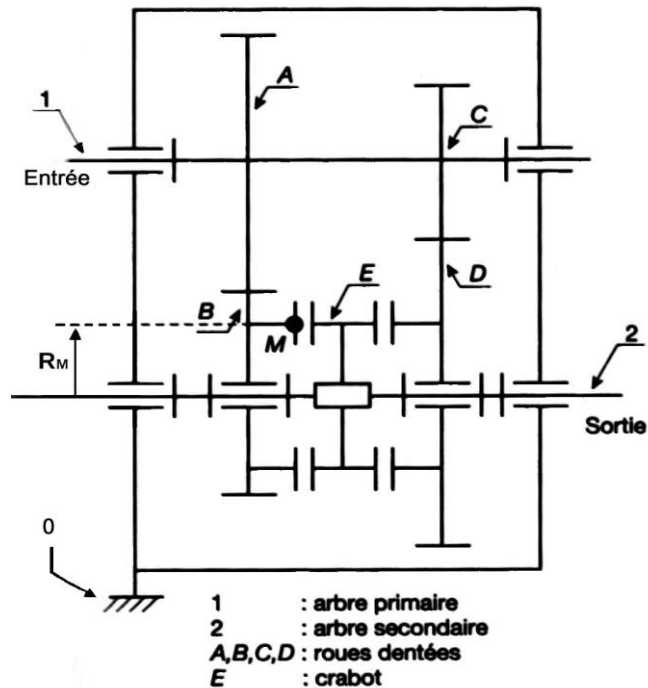
Cette égalité n'est jamais vérifiée (surtout quand le temps de passage est long au point d'annuler ω_1)

Graphe ci-contre : variation des fréquences angulaires ω_1 et ω_2 en fonction du temps dans l'hypothèse où pendant le débrayage :

- le mouvement de l'arbre primaire (1) est supposé uniformément décéléré
- le mouvement de l'arbre secondaire (2) est supposé uniforme

▪ Point A : Instant idéal pour le crabotage (E - B)

Un **synchronisateur est un embrayage conique** qui permet l'existence de ce point idéal en **égalisant progressivement les fréquences angulaires** $\omega_{E/0}$ (= $\omega_{2/0}$) et $\omega_{B/0}$. Il se **substitue au crabotage** qui par construction ne tolère aucun glissement dans la liaison (E - B)

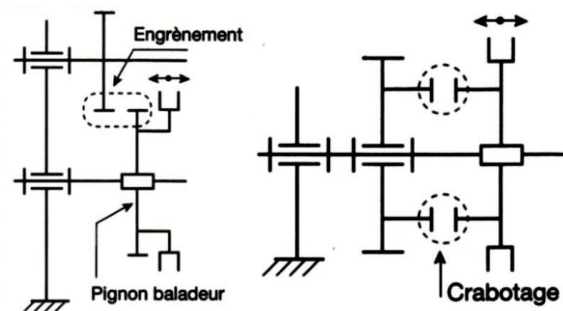


1 : arbre primaire
2 : arbre secondaire
A, B, C, D : roues dentées
E : crabot

Commande du changement de rapport

Le changement de rapport :

- résulte de la translation à l'intérieur de la boîte de vitesses, d'un **pignon baladeur**, d'un **crabot** ou d'un **élément synchronisateur**
- cette translation est commandée par un **levier de manoeuvre**. Chacune des positions **indexées** est associée à unique rapport de vitesse.



Translation du baladeur, crabot ou élément de synchronisation

Elle est assurée par une fourchette qui s'engage dans une gorge usinée dans l'élément concerné.

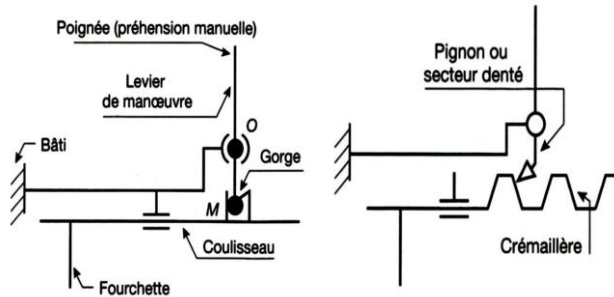
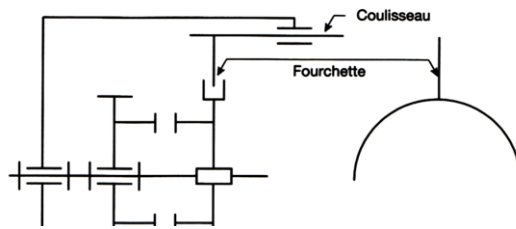
La liaison fourchette/élément déplacé est de type pivot. Cette opération **s'accompagne d'un frottement de glissement**.

La fourchette est solidaire du coulisseau (axe cylindrique)

Liaison (levier de manoeuvre - coulisseau)

La liaison est du type "appui ponctuel" (gorge dans le coulisseau reçoit extrémité sphérique du levier de manoeuvre)

La liaison peut aussi être du type "linéaire rectiligne" quand elle est réalisée par une crémaillère usinée dans le coulisseau en contact avec les dents d'un pignon qui en liaison pivot avec le bâti.



Verrouillage

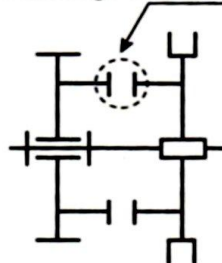
Une boîte de vitesse comprend plusieurs coulisseaux :

- 1^{er} croquis : un coulisseau par rapport quand le crabot ou le synchronisateur agit unilatéralement
- 2^{ème} croquis : pour 2 rapports quand le coulisseau agit bilatéralement.

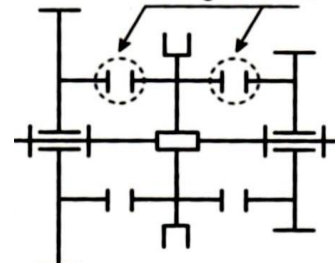
Le dispositif de verrouillage est destiné à :

- assurer la pérennité du rapport sélectionné par le levier de manoeuvre
- éviter qu'une combinaison quelconque puisse s'engager

Crabotage unilatéral



Crabotage bilatéral

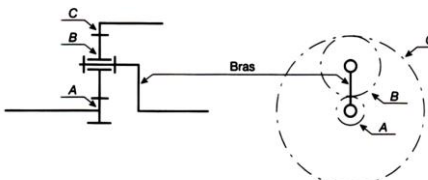


6 - Les engrenages d'une boîte de vitesses automatique sont installés en trains épicycloïdaux (simple, à double satellite, Simpson, ou "Ravignaux")

- de **freins** (multidisques ou à sangle, à commande hydraulique)
- d'**embrayages** (multidisques à commande hydraulique)
- de **roues libres**

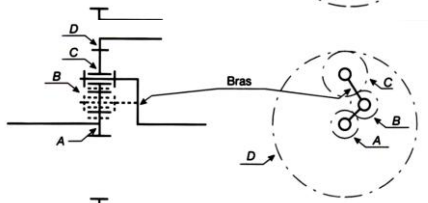
Train simple

Comporte 2 planétaires A et C
1 satellite B en liaison pivot/ bras



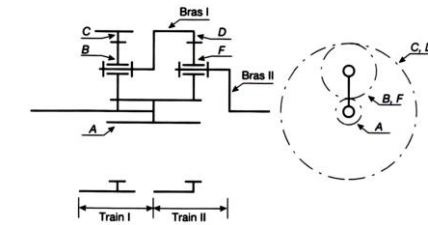
Train à double satellite

Comporte 2 planétaires A et D
2 satellites: B et C



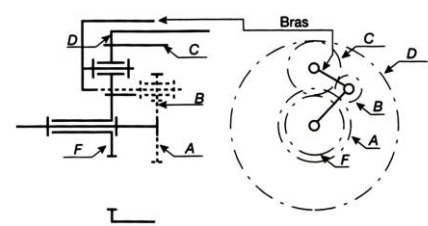
Train type "Simpson"

Associe 2 trains simples selon la disposition :
- planétaire A à large denture commun aux 2 trains I et II
- bras du train I solidaire de la couronne planétaire du train II



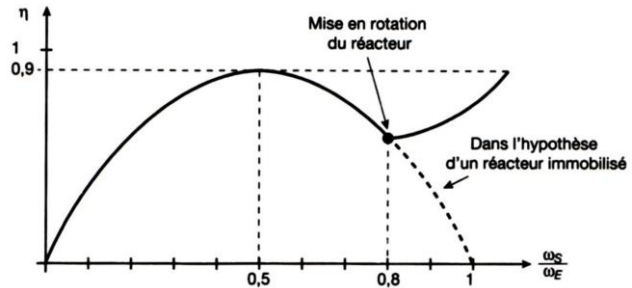
Train type "Ravignaux"

Combine un train simple et un train à double satellite.
Comprend 2 planétaires F et A indépendants.
Bras commun aux 2 trains.



7 - L'accouplement de la boîte de vitesse automatique avec l'arbre moteur est assuré par un convertisseur de couple qui a 2 fonctions :
 - assouplir la transmission en admettant un glissement relatif entre les parties accouplées
 - augmenter le couple moteur

8 - Le rendement d'un convertisseur de couple varie en fonction du glissement comme le montre le graphe ci-contre .
 Pour certains rapports sélectionnés, celui-ci peut être amélioré par un accouplement (arbre moteur - boîte de vitesses) hybride (hydraulique, grâce au convertisseur et mécanique ou purement mécanique (prise directe avec amortissement mécanique)

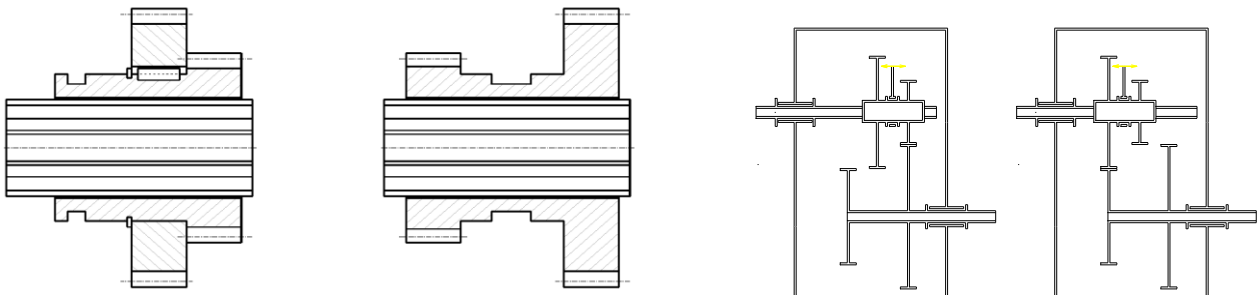


9 - Une centrale électronique gère l'asservissement de la boîte de vitesse selon l'état de nombreux paramètres et la position d'un levier de sélection manuelle.

10 - Les boîtes de vitesses à commande manuelle sont réalisées avec des trains d'engrenages ordinaires et comportent en général 2 ou 3 arbres.
 Le changement de vitesses est assuré par des crabots ou des synchronisateurs, déplacés par des fourchettes dont le mouvement résulte d'une action manuelle sur un levier extérieur.
 Le changement de rapport par crabotage nécessite l'arrêt en rotation des organes à accoupler.
 Le synchronisateur autorise l'accouplement d'organes tournants grâce à un embrayage conique destiné à égaliser progressivement des fréquences angulaires initialement différentes.
 Les roues dentées, le plus souvent à denture hélicoïdale peuvent faire partie intégrante de l'arbre ("pignons arbrés") ou être rapportées (clavettes, cannelures, frettage)

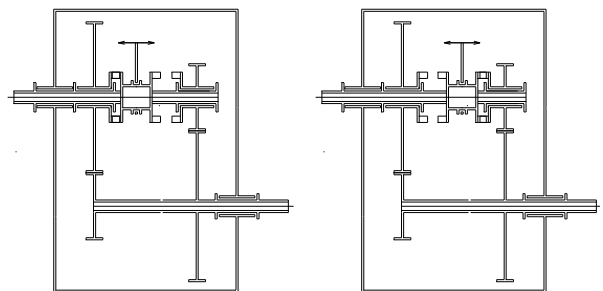
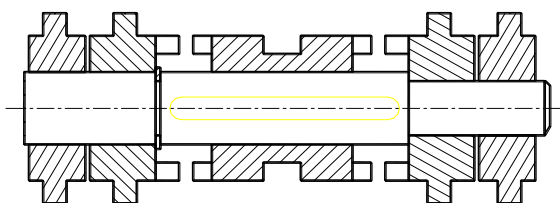
BALADEUR A ENGRENAGE

Les baladeurs à engrenage sont simple de fabrication et donc peu coûteux. Le changement de rapport de vitesse se fait généralement avec bruit et vibrations. Ils sont utilisés pour des changements de vitesse peu fréquents.



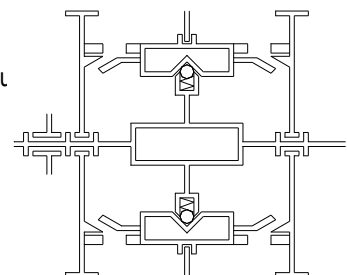
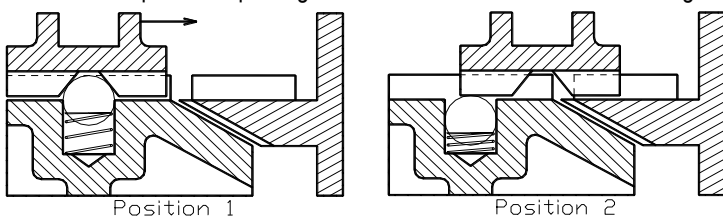
Baladeur à griffes

Les baladeurs à griffes sont également simple de construction. Le passage de vitesse se fait avec plus de « douceur » que pour ceux à dent. Ils permettent également de véhiculer de grandes puissances.



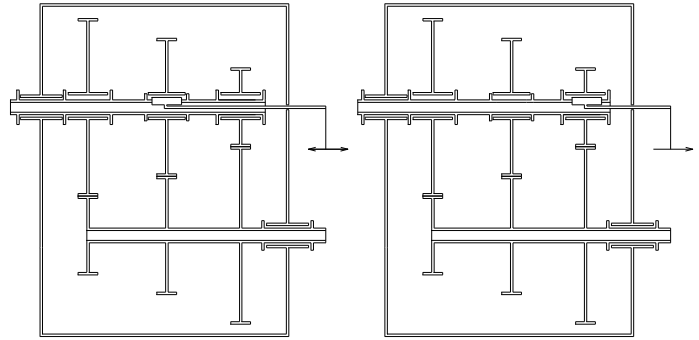
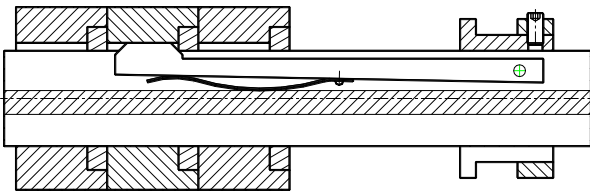
Synchronisateurs

Ce sont des baladeurs à griffes où l'on a interposé un mécanisme permettant de synchroniser les vitesses de rotation entre le baladeur et le pignon. Ce système est, comme les embrayages, basé sur le frottement. Ceci permet le passage de vitesses sans bruit et assure une grande durée de vie.



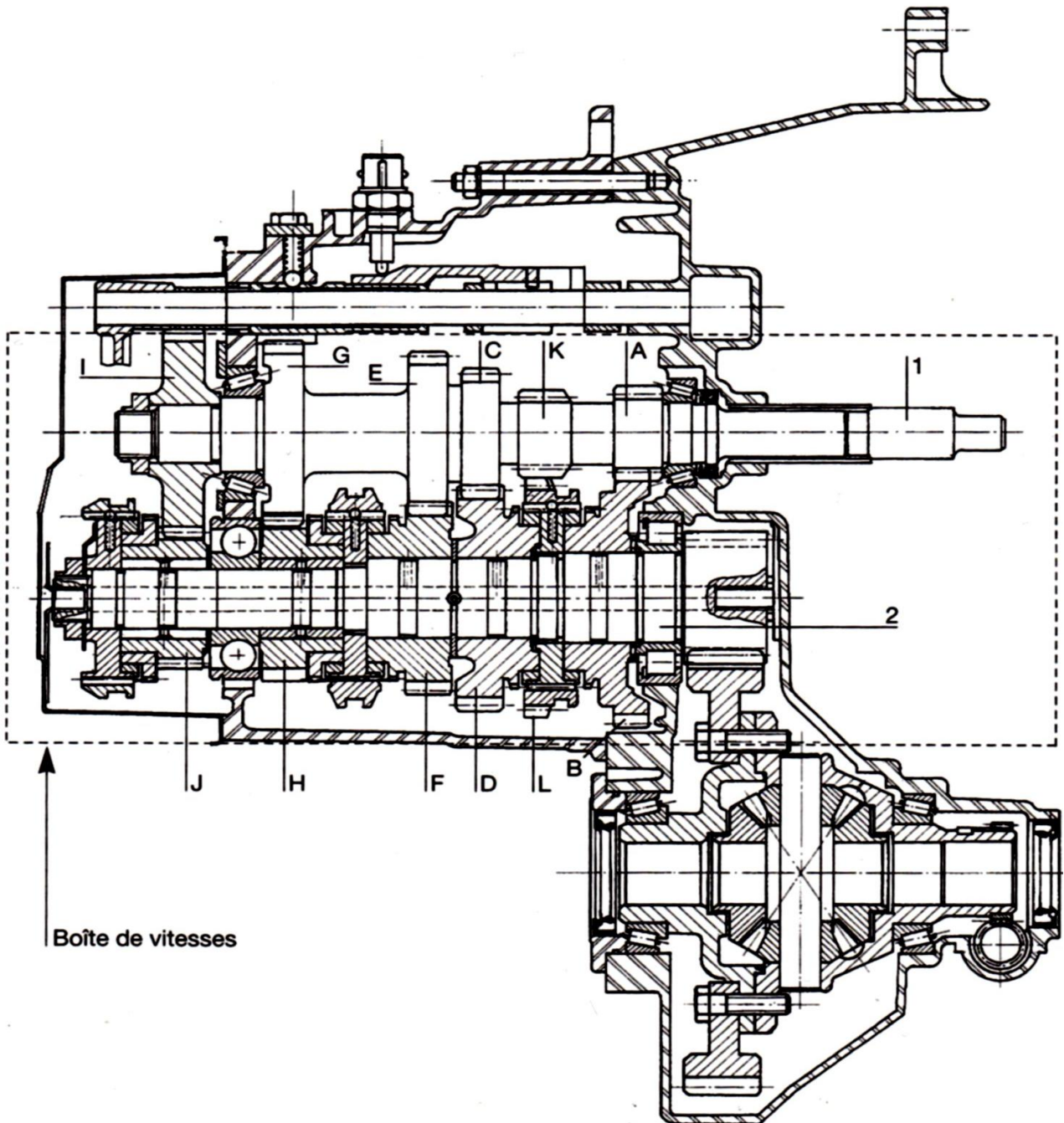
Baladeur clavette coulissante

La clavette est déplacée par l'utilisateur et permet de lier un des pignons avec l'arbre en rotation. Il n'existe pas de point mort. Cette conception est beaucoup utilisée dans les machines outils.



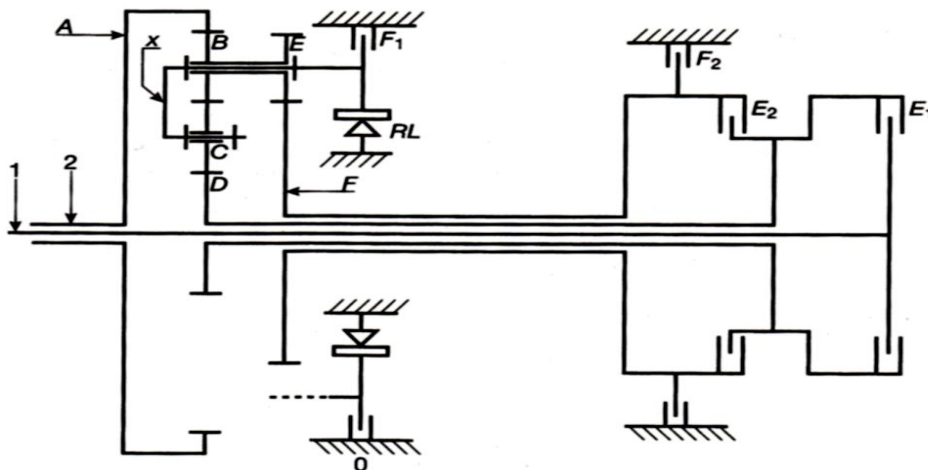
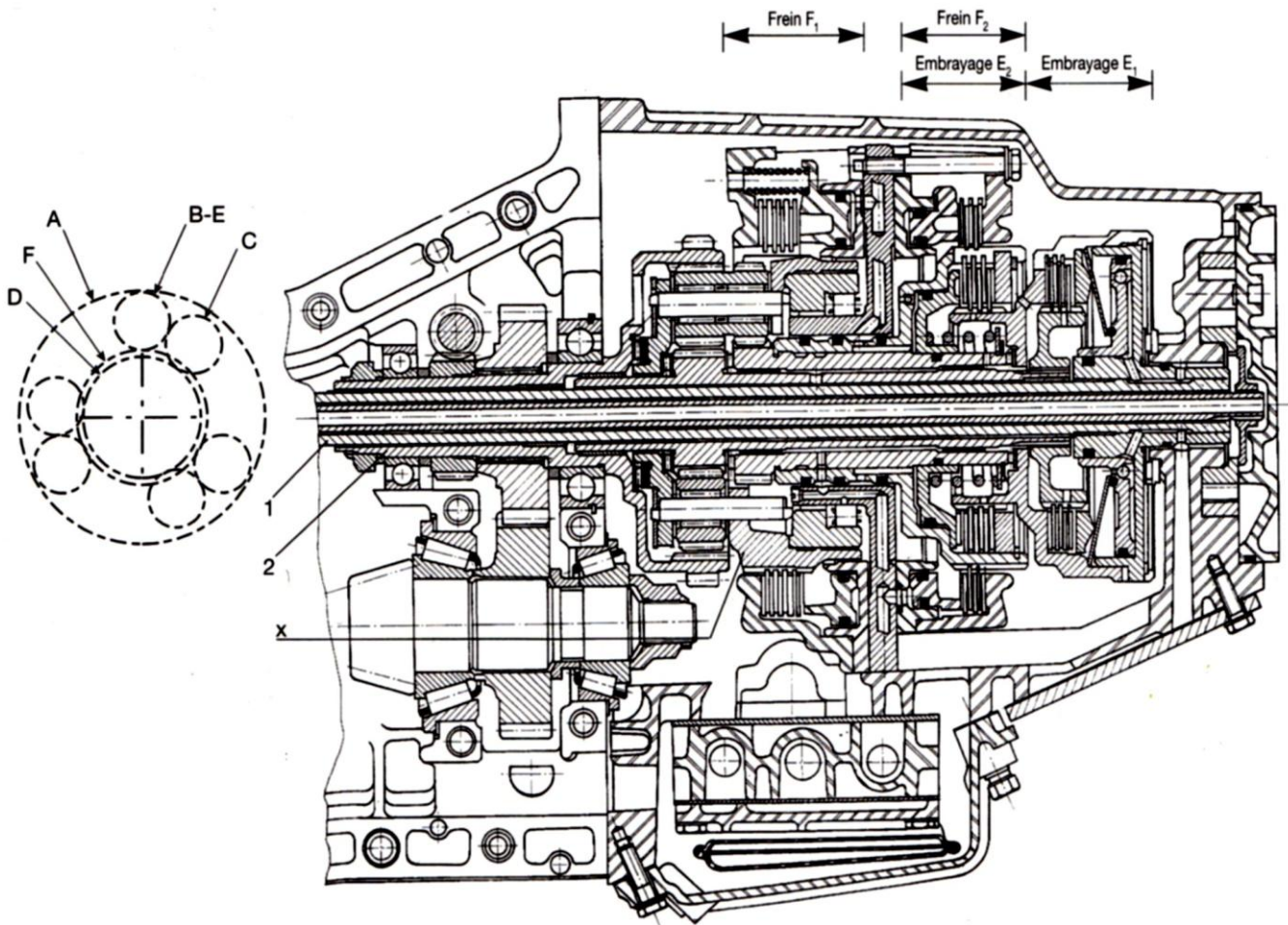
■ Exemple : Boîte de vitesses de véhicule automobile

Boîte de vitesses 5 rapports (marche avant) et une marche arrière



11 - Les boîtes de vitesses automatiques sont construites autour d'un train épicycloïdal(à double satellite par exemple)

Exemple (dessin et schéma correspondant)



0 : Carter fixe
 1 : Arbre primaire
 2 : Arbre secondaire

F_1, F_2 : freins
 E_1, E_2 : embrayages
 RL : Roue libre
 x : bras porte-satellites
 B, C, E : satellites
 A, D, F : planétaires