

# Transmissions par engrenages VI

## Différentiel et boîte à vitesses

Dr. S. Soubielle



### Dans ce cours, nous allons...

---

#### ... Décrire ce qu'est le différentiel

... Et la fonction qu'il remplit dans un véhicule de transport

#### ... Définir la fonction de la boîte à vitesses

... Couple requis, régime moteur, et couple moteur

#### ... Décrire le fonctionnement de la boîte manuelle

... Boîte à baladeurs et boîte à synchroniseurs

... Fourchettes et sélecteur de vitesses

... Boîte robotisée à double embrayage

#### ... Présenter les principaux types de boîte automatique

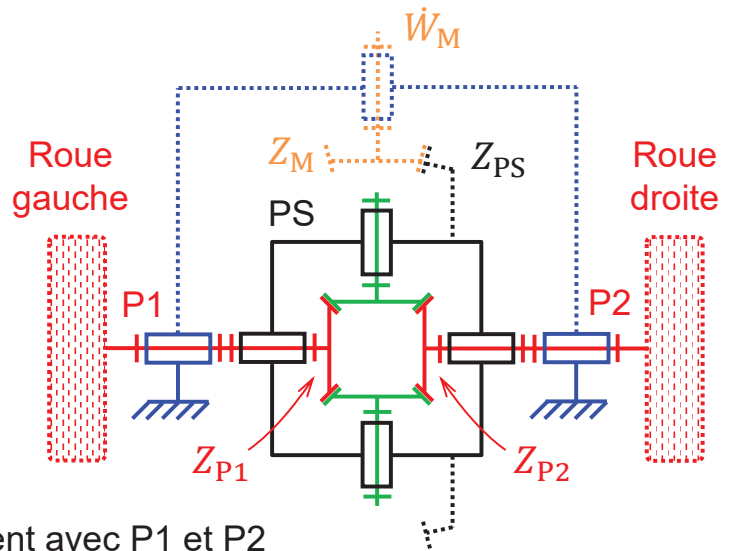
... Boîte à convertisseur + trains épicycloïdaux

... Boîte à variation continue du rapport de transmission

# Différentiel (1/3)

## • Architecture

- **2 planétaires : P1 et P2**
  - Coaxiaux et roues dentées coniques ( $Z_{P1} = Z_{P2}$ )
- **1 ou plusieurs satellites**
  - Roue(s) conique(s), qui engrènent simultanément avec P1 et P2
- **1 porte-satellite** → Qui tourne autour de l'axe de P1 et P2



## • Utilisation

- Sur la plupart des véhicules équipés de 2 roues sur l'essieu moteur
  - P1 relié à la roue gauche / P2 relié à la roue droite
  - PS relié au moteur par l'intermédiaire d'un engrenage supplémentaire
- Autorise  $\omega_{P1} \neq \omega_{P2}$  tout en transmettant un couple  $C_{P1} = C_{P2}$

# Différentiel (2/3)

## • Vitesses de rotation

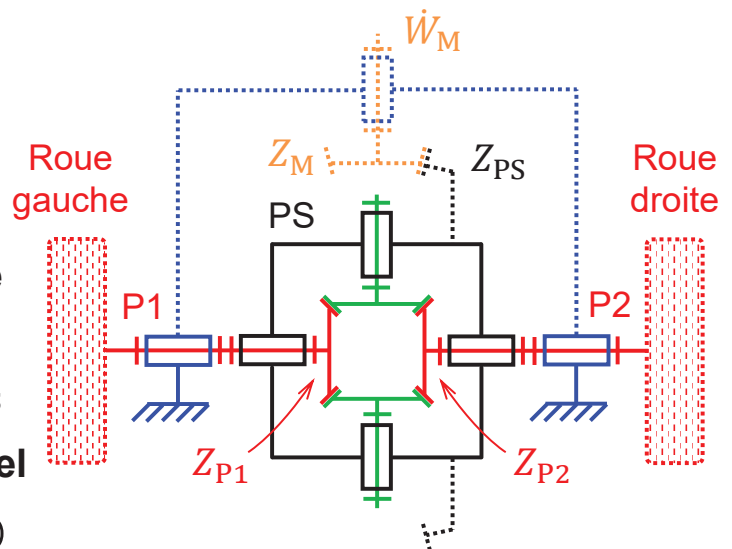
- **Supposons qu'on bloque le porte-satellite PS**

$$Z_{P1} = Z_{P2} \rightarrow \omega_{P2/PS} = -\omega_{P1/PS}$$
- **Changement de référentiel**

$$\rightarrow \omega_{P2} - \omega_{PS} = -(\omega_{P1} - \omega_{PS})$$

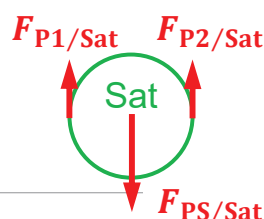
$$\rightarrow \omega_{PS} = \frac{\omega_{P1} + \omega_{P2}}{2}$$

- **Engrenage moteur / porte-satellite**  $\rightarrow \frac{|\omega_M|}{|\omega_{PS}|} = \frac{Z_{PS}}{Z_M}$



## • Couple aux roues

Équilibre statique des satellites autour de leur axe de rotation



$$\rightarrow F_{Sat/P1} = F_{Sat/P2}$$

$$\rightarrow C_{PS/P1} = C_{PS/P2}$$

## Différentiel (3/3)



### Exercice d'application

Soit un véhicule équipé d'une boîte de pont de rapport  $i_{\text{Pont}} = 3$  et pneus de taille 205 / 55 R17. Sachant que :

- Ⓐ correspond (en mm) à la largeur de la bande de roulement
- Ⓑ correspond (en % de la largeur) à la hauteur du flanc
- Ⓒ correspond (en pouces) au diamètre de la jante

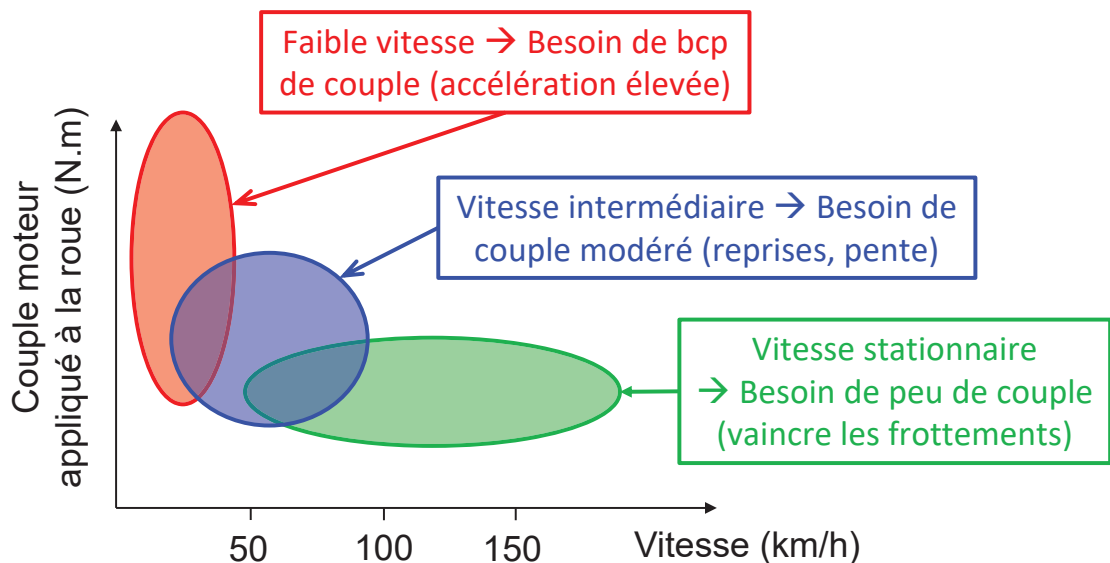
Déterminer la vitesse du véhicule en ligne droite si  $\omega_M = 2'000$  tr/min.



## Couple requis vs. couple disponible (1/4)

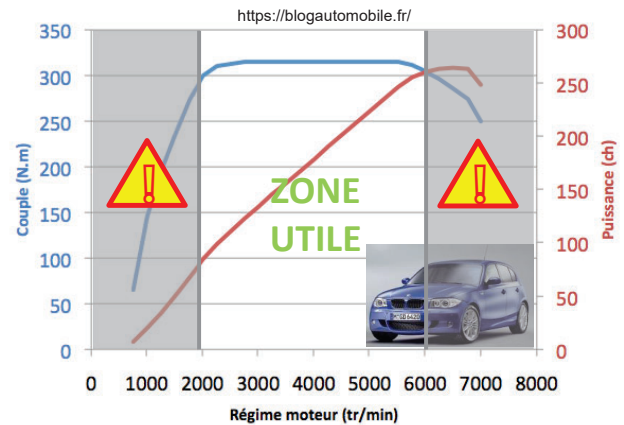
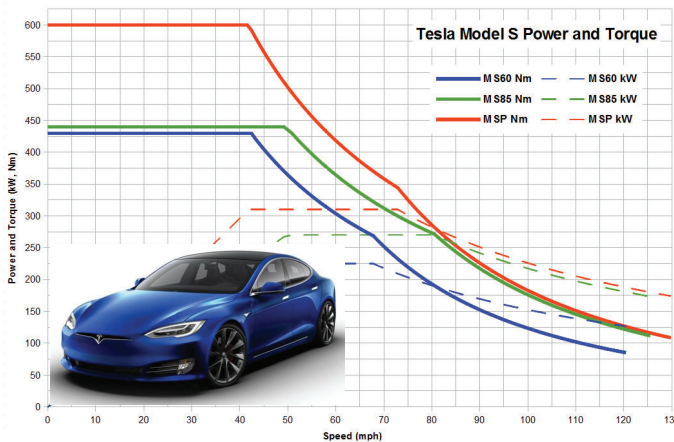
### • Couple moteur requis et vitesse du véhicule

Le besoin en couple varie en fonction de la vitesse du véhicule



# Couple requis vs. couple disponible (2/4)

## • Courbe de couple vs. moteur électrique / thermique



- La courbe de couple « colle » bien au besoin
- Rapport de transmission unique entre le moteur et les roues

- Baisse de couple si  $\omega_M$  inadapté (ici si  $< 2'000$  ou  $> 6'000$  rpm)
- Le moteur cale en-dessous d'une limite (ici si  $< \text{env. } 800$  rpm)
- Surchauffe (et casse moteur) si sur-régime (ici  $> 7'000$  tr/min)

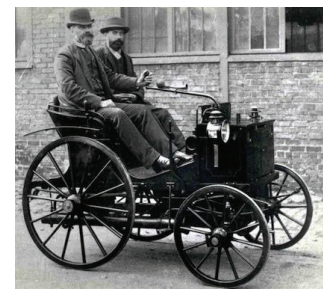
# Couple requis vs. couple disponible (3/4)

## • Idée : changement le rapport $\omega_{\text{Mot}}/\omega_{\text{Roue}}$ en roulant

- 1894 : Invention de la « boîtes à vitesses » (Louis-Rene Panhard & Emile Levassor)

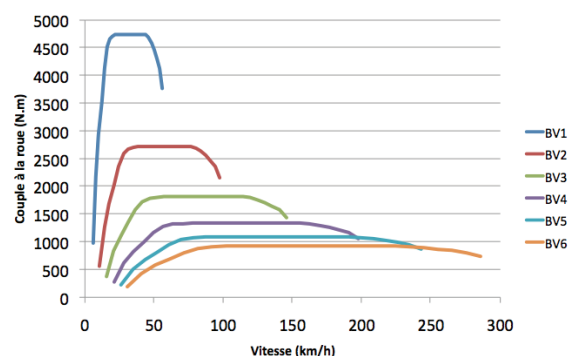
### – Principe

- $i$  grand pour les faibles vitesses
- $i$  petit pour les vitesses élevées



### – Exemple de courbe de couple sur voiture moderne

| Rapport | Vitesse utile [km/h] |
|---------|----------------------|
| 1       | ≈ 15 – 45            |
| 2       | ≈ 30 – 90            |
| 3       | ≈ 45 – 135           |
| 4       | ≈ 55 – 175           |
| 5       | ≈ 75 – 225           |
| 6       | ≈ 85 – 255           |



# Couple requis vs. couple disponible (4/4)

## • Chaîne de transmission complète

### – Le moteur

Transforme l'énergie thermique en énergie méca.

### – L'embrayage

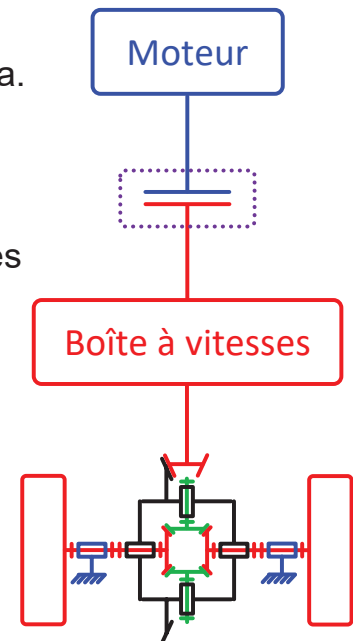
- Transmet  $\dot{W}_{\text{Mot}}$  par frottement statique
- Permet d'isoler le moteur de la boîte à vitesses (véhicule à l'arrêt, changement de rapport)
- Fonctionne aussi par frottement dynamique (« patinage »)

### – La boîte à vitesses

Adapte  $C$  et  $\omega$  aux besoins du véhicule

### – Le différentiel

Répartit  $C$  et  $\omega$  entre les deux roues motrices



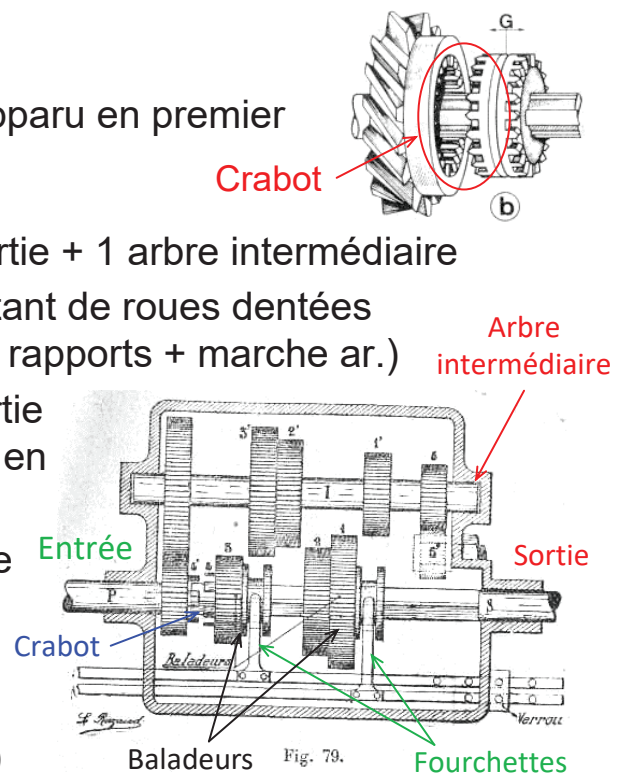
# Boîte manuelle à baladeurs (1/2)

## • Historique

C'est le type de boîte à vitesses apparu en premier

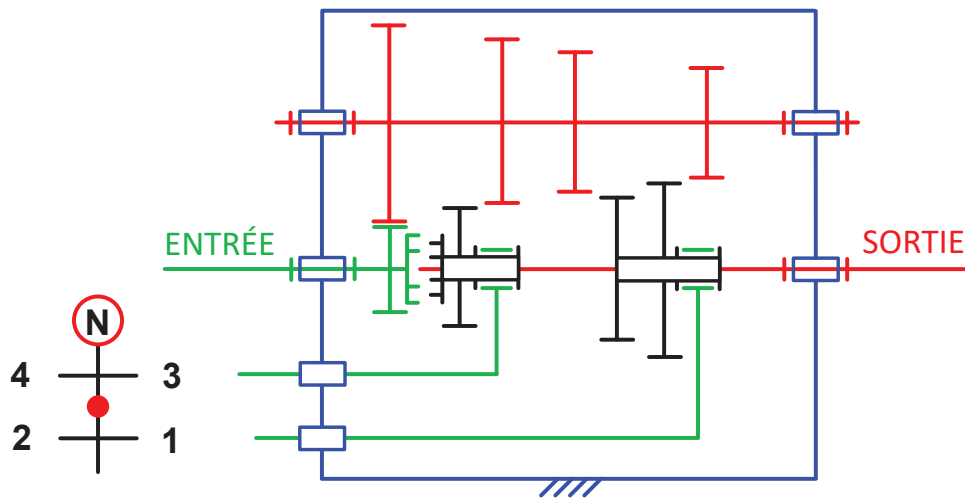
## • Architecture

- 1 arbre d'entrée + 1 arbre de sortie + 1 arbre intermédiaire
- Arbre intermédiaire équipé d'autant de roues dentées que le nombre de rapports (ici 4 rapports + marche ar.)
- Roues dentées de l'arbre de sortie montées sur des « baladeurs », en liaison glissière avec l'arbre
- Position des baladeurs contrôlée au moyen de « fourchettes »
- Présence d'un « crabot » pour lier directement l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie (4<sup>ème</sup> rapport)



## Boîte manuelle à baladeurs (2/2)

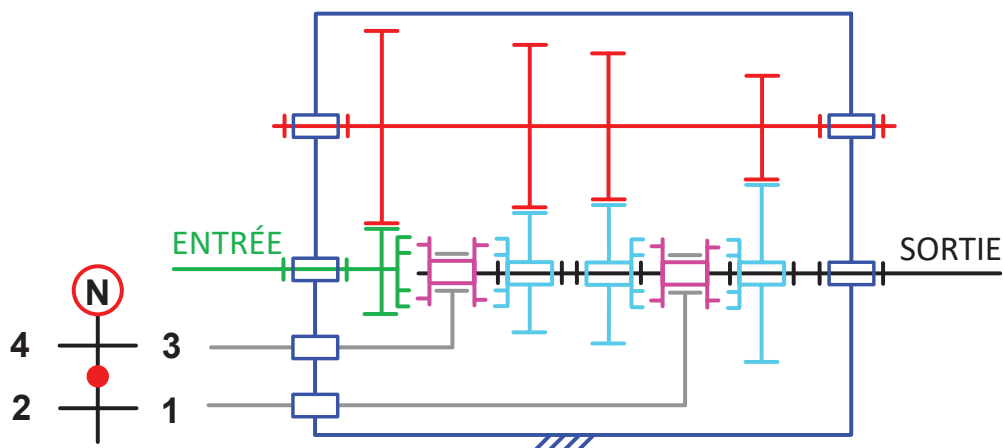
- **Séquence de passage des vitesses**



## Boîte manuelle synchronisée (1/4)

- **Principe = évolution de la boîte à baladeurs**

- Couples de roues dentées toujours en prise (ici 4 rapports)
- Un crabot pour chaque rapport (ici deux sur chaque baladeur)
- + Présence de « synchroniseurs » entre chaque paire de crabots

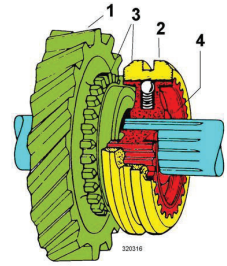




# Boîte manuelle synchronisée (2/4)

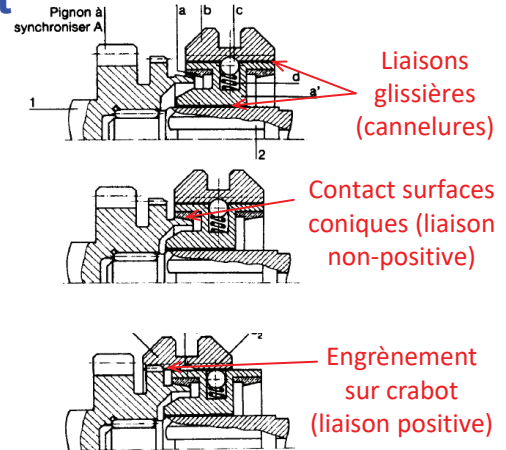
## • Principe du synchroniseur

Embrayage à friction permettant de synchroniser la rotation de l'arbre mené avec l'arbre menant avant crabotage



## • Séquence du passage de rapport

1. Arbre et pignon ne tournent pas à la même vitesses
2. La fourchette pousse le crabot vers le pignon → synchronisation de la vitesse par friction
3. La fourchette avance encore et les dents du crabot engrènent → le rapport est enclenché, prêt pour transmettre la puissance

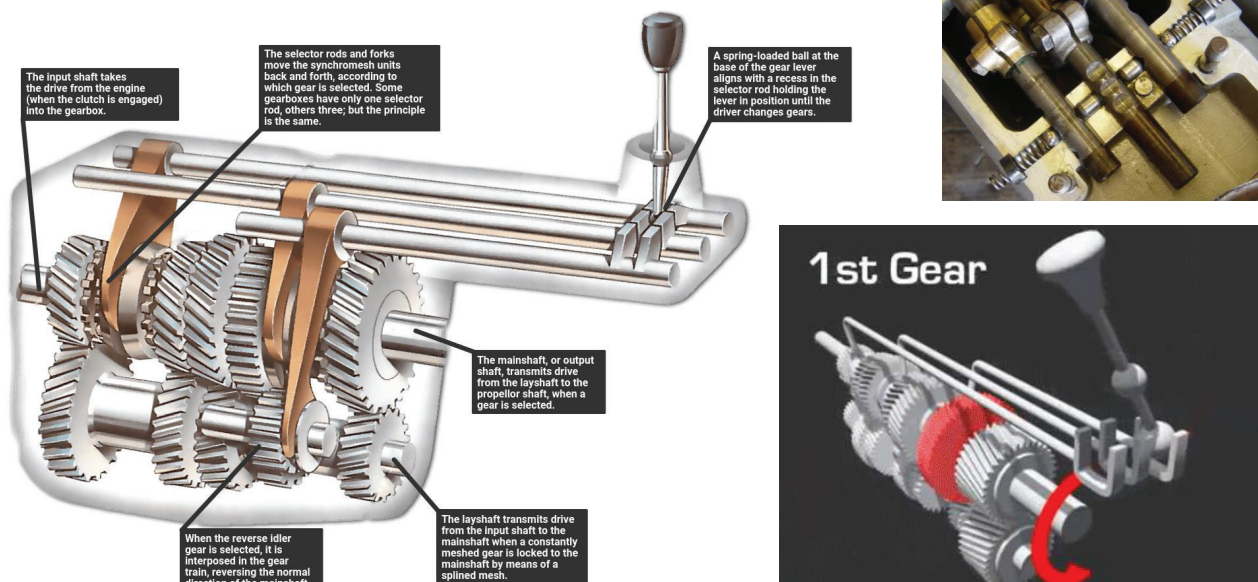


Esnault, F., *Construction mécanique Tome 2*, Dunod, Nathan, Paris 2009

# Boîte manuelle synchronisée (3/4)

## • Sélecteur de vitesses (ex. boîte 5 rapports + R)

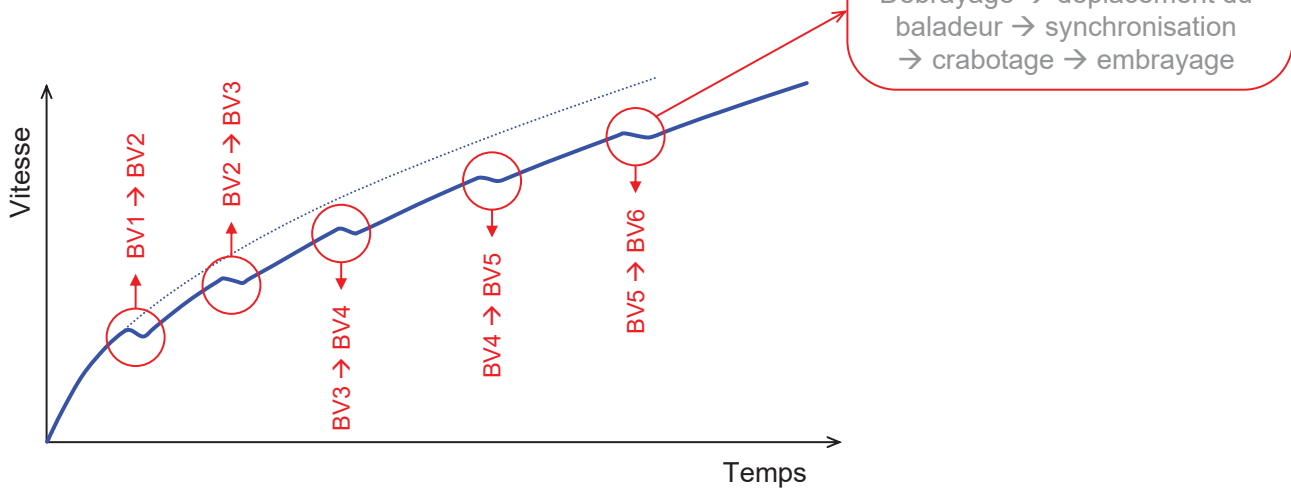
Fourchettes de sélection actionnées par le levier de vitesses via des tiges coulissantes



## Boîte manuelle synchronisée (4/4)

### • Effet du changement de rapport sur une phase d'accélération

- Perte de puissance momentanée
- Ralentit la mise en vitesse du véhicule



## Boîte robotisée à double embrayage (1/4)

### • Architecture

#### – Embrayage à 2 disques et 3 positions

- Neutre (débrayé des 2 côtés)
- Embrayage à gauche
- Embrayage à droite

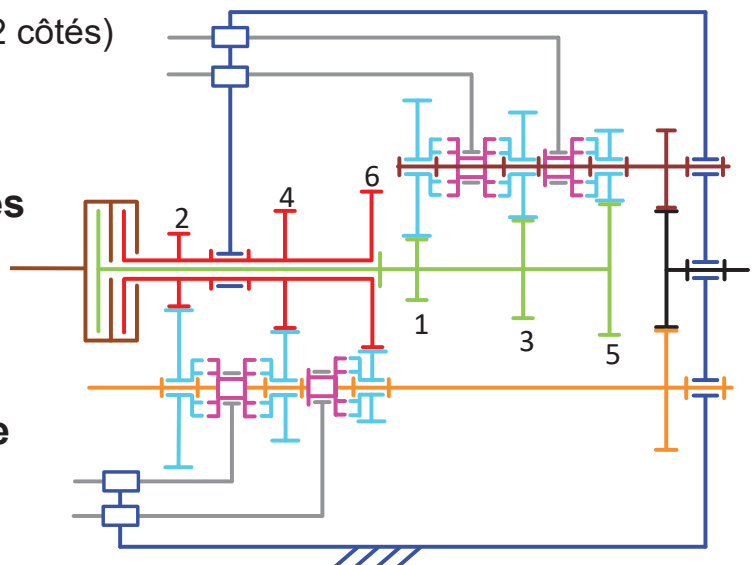
#### – 2 arbres intermédiaires

- BV1 / BV3 / BV5
- BV2 / BV4 / BV6

#### – Engrenages constamment en prise

- Baladeurs à crabots + synchroniseurs

#### – Commande robotisée des baladeurs





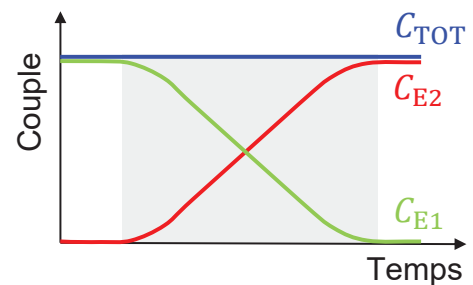
## Boîte robotisée à double embrayage (2/4)

### • Principe

- En fonctionnement, un seul des deux embrayage est actif
- La boîte robotisée présélectionne la position des baladeurs en fonction des paramètres de conduite:
  - Régime moteur
  - Position de la pédale d'accélérateur
  - Etc.

### • Intérêt du double embrayage

Commutation simultanée des deux embrayages lors du changement de rapport

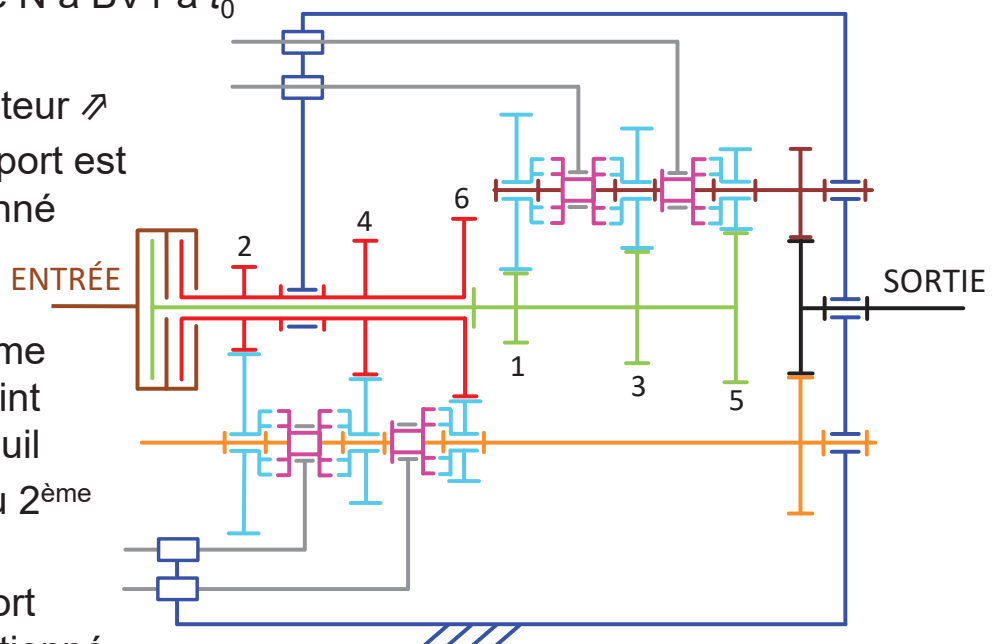


## Boîte robotisée à double embrayage (3/4)

### • Séquence sur un démarrage ( $N \rightarrow 1 \rightarrow 2$ )

- Passage de N à BV1 à  $t_0$
- Embrayage
- Régime moteur ↗
- Le 2<sup>ème</sup> rapport est présélectionné

- À  $t_1$ , le régime moteur atteint la valeur seuil
- Passage au 2<sup>ème</sup> rapport
- Le 1<sup>er</sup> rapport est désélectionné



# Boite robotisée à double embrayage (4/4)

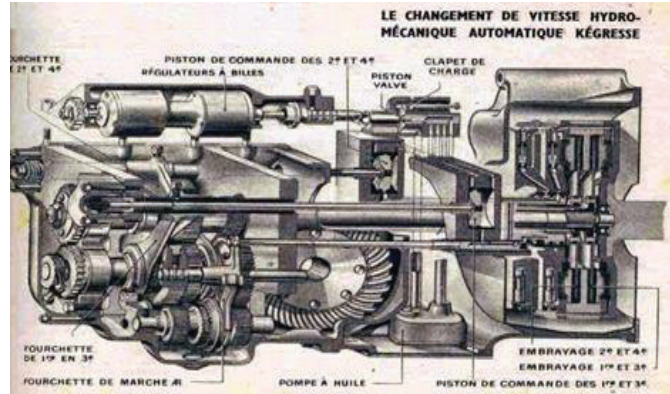
## • Historique

Architecture inventée par Adolphe Kégresse (brevet 1939), puis tombée dans l'oubli...



... puis implantée pour la 1ère fois dans une voiture de série en 2003 (VW Golf R32)

Aujourd'hui présent sur la plupart des modèle de sport / haut de gamme (DSG, PDK, S-TRONIC, EDC...).



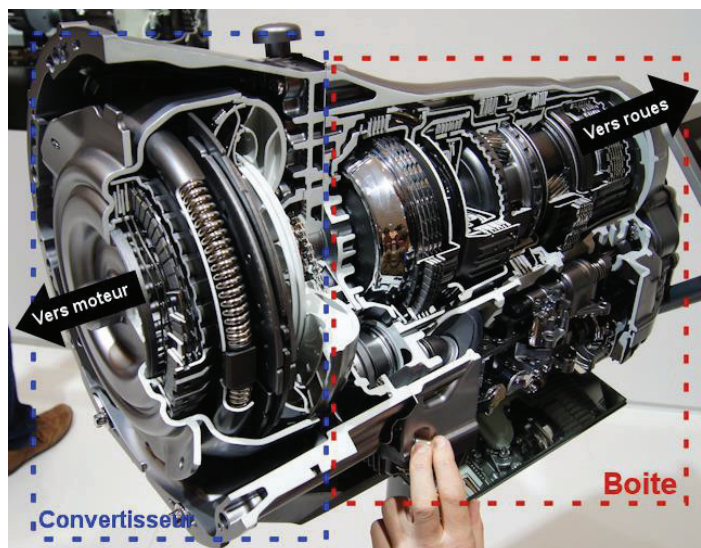
... avant d'être redécouverte en 1985 par Porsche pour la compétition (Porsche 956 et 962C)...



# Boite auto. à trains épicycloïdaux (1/3)

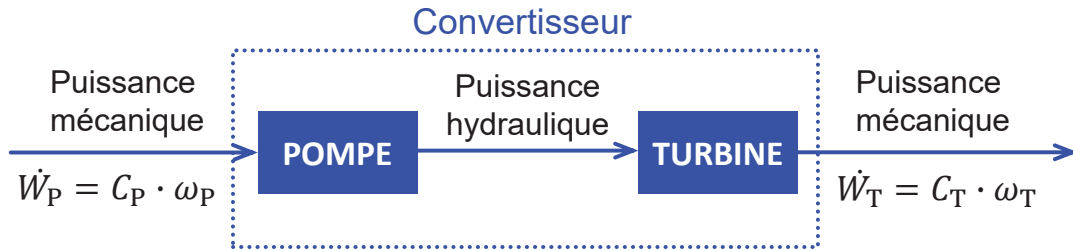
## • Architecture = 1 convertisseur + trains épicycloïdaux

- Convertisseur = fonction d'embrayage
- Trains épicycloïdaux = permet d'obtenir plusieurs rapports  $i$
- Présence d'embrayages multi-disques
  - Blocage de P1, P2, ou PS
  - Permet la sélection des rapports



# Boite auto. à trains épicycloïdaux (2/3)

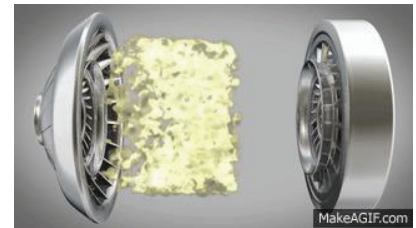
## • Le convertisseur



- Transmission hydrocinétique de la famille des coupleurs
- Transmet la puissance mécanique par liaison hydraulique
- Composé d'une pompe + une turbine

## • Principe du coupleur

- Pompe et turbine sont équipées de pales qui orientent le flux d'huile
- Huile propulsée dans la turbine par force centrifuge



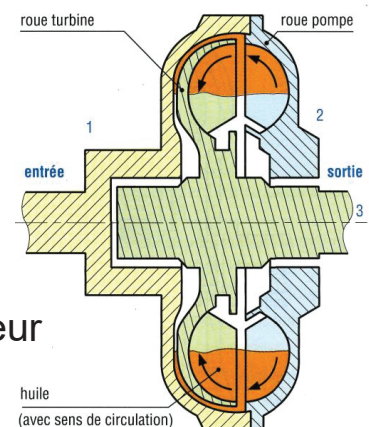
# Boite auto. à trains épicycloïdaux (3/3)

## • Caractéristiques de fonctionnement du coupleur convertisseur

Fonctionne toujours avec un taux de glissement  $\tau_G = 1 - \omega_T / \omega_P > 0$

## • Avantages / inconvénients

- 👍 Liaison « souple » entre le moteur et le récepteur
- 👍 Permet de changer de rapport sans interruption de la puissance transmise
- 👍 Autorise le patinage → fonction d'embrayage
- 👎 Perte d'énergie par dissipation de chaleur



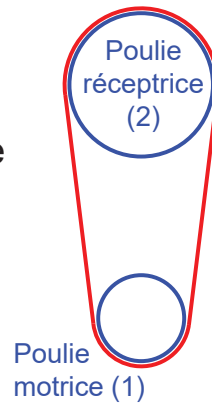
Pour aller plus loin :

<https://www.youtube.com/watch?v=TljyA3Tzcbw>

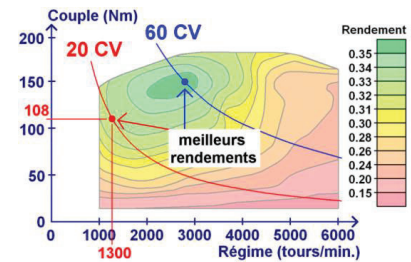
# Boîte automatique à variation continue

## • Principe

- Transmission par courroie et  $\varnothing$  d'enroulement variable  
→ Variation continue de  $i$
- Boîte robotisée → Calcul en temps réel du  $i$  optimal

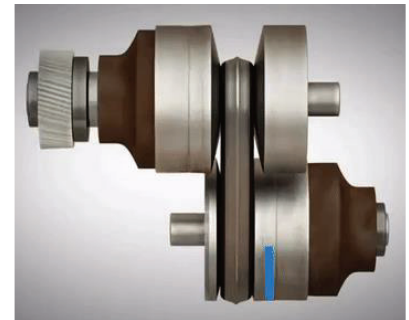


$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} \approx \frac{d_2}{d_1}$$



## • Architecture

- Un flasque mobile sur la poulie motrice et sur la poulie réceptrice
- Courroie en élastomère ou en acier
- Généralement couplé à un convertisseur hydrocinétique (embrayage)



## • Caractéristique de fonctionnement

Régime moteur décorrélé de la vitesse du véhicule

# Des questions ?

