

Ce document constitue une référence sur l'Histoire de l'Automobile. Il regroupe les copies *pdf* des supports « PowerPoint » utilisés par François Andriussi (Aix-150) au cours des 6 conférences qu'il a animées via « zoom » de novembre 2020 à novembre 2021.

Les enregistrements des conférences sont accessibles à partir de la page « ZOOM » du site www de la promo Aix-152 : <https://kin152.gadz.org/>

MR – 2 novembre 2021

LES DOSSIERS DE CONCEPTION D'UNE AUTOMOBILE

1 - LA MOTORISATION

Choix de la source d'énergie : vapeur, électricité ou pétrole
Stockage des réserves emportées
Derniers perfectionnements apportés aux moteurs
Association hybride
Choix de l'implantation : Traction, Propulsion classique ou Tout à l'arrière

2 - TRANSMISSION DES MOTEURS AUX ROUES

Directe pour vapeur et électricité
Installation d'un dispositif d'embrayage pour les thermiques
Modulation du couple utilisable : immédiate sur vapeur et électricité
: plusieurs rapports de réduction en thermique
Répartition sur les roues motrices
Différentiel sur chaque essieu
Différentiel central pour traction intégrale

3 - LIAISONS AU SOL

Contact roues et sol : pneumatiques
Maintien du contact et de l'adhérence pneus et sol
Suspensions
Amortisseurs
Direction
Géométrie de l'attelage (Jeantaud)
Choix d'un compromis stabilité et légèreté
Assistance
Freinage :
Disques ou tambours
Évacuation de la chaleur développée

4 - SÉCURITÉS

ACTIVE, perfectionnements des liaisons au sol pour éviter les accidents
ABS
Assistance au freinage d'urgence
Freinage automatique d'urgence avec détection de risque de collision
Contrôle de sortie du couloir de circulation
PASSIVE, pour limiter les conséquences d'un accident
Conception de la structure pour absorber les chocs
Aménagements de l'habitacle
Ceintures de sécurité perfectionnées avec pré-tensionneurs
Air Bag

La Motorisation des automobiles



François Andriussi (Aix-150)
Novembre 2020

GÉNÉRALITÉS

- ❑ Les pionniers de l'automobile
- ❑ 1^{ère} époque: la traction à vapeur
- ❑ Les 1^{ères} voitures électriques
- ❑ Domination des thermiques

RENAISSANCE ÉLECTRIQUE

- ❑ Hybrides
- ❑ 100% électriques
- ❑ Hybrides rechargeables
- ❑ Conclusion personnelle

| NOVEMBRE 2020 | | | | | | |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Dim | Lun | Mar | Mer | Jeu | Ven | Sam |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 29 | 30 | | | | | |

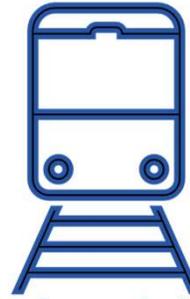
| DÉCEMBRE 2020 | | | | | | |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Dim | Lun | Mar | Mer | Jeu | Ven | Sam |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | |

calendrierimprimer.com

LES PIONNIERS DE L'AUTOMOBILE

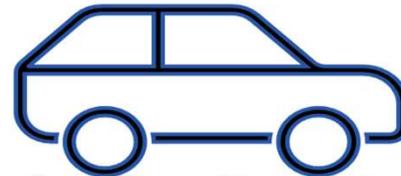
Le chemin de fer

avait ouvert la voie des grands déplacements



L'automobile

allait offrir la vitesse et la généralisation



On a baptisé le XXe siècle comme étant celui de l'automobile...
... mais il a commencé dans les 4 dernières décennies du XIXe.

À la fin des années 1800, trois énergies proposaient
de remplacer la traction animale,

avec, dès 1858, **la vapeur** issue des chemins de fer.
D'où le nom donné à la première unité de puissance, le "Cheval-vapeur" (CV).

Presque simultanément, en 1862, on a cherché à utiliser **l'électricité**,
une énergie nouvelle dont on attendait beaucoup.

Le moteur à **pétrole** ne s'est manifesté timidement que vers 1880.

1ère Époque

La traction à vapeur

Les premiers modèles dérivés des locomotives étaient lourds, volumineux, difficiles à manœuvrer, bruyants et nauséabonds.

À côté du conducteur, on trouvait obligatoirement un foyer alimenté en continu par un "chauffeur", dont l'appellation a fini par s'attacher au conducteur lui même.

Mais le principal défaut tenait au temps de mise en chauffe de l'ordre d'une heure avant d'obtenir une vapeur à la pression convenable.

Les premiers véhicules routiers motorisés allaient remplacer les berlines, les cochés, les omnibus et les diligences.

1^{ère} époque: la traction à vapeur



Un grand précurseur de la vapeur fut **Léon Serpollet** qui, à la fin du XIX^e siècle, était devenu une célébrité mondiale.



Tricycle à vapeur Serpollet type Phaëton de 1888.



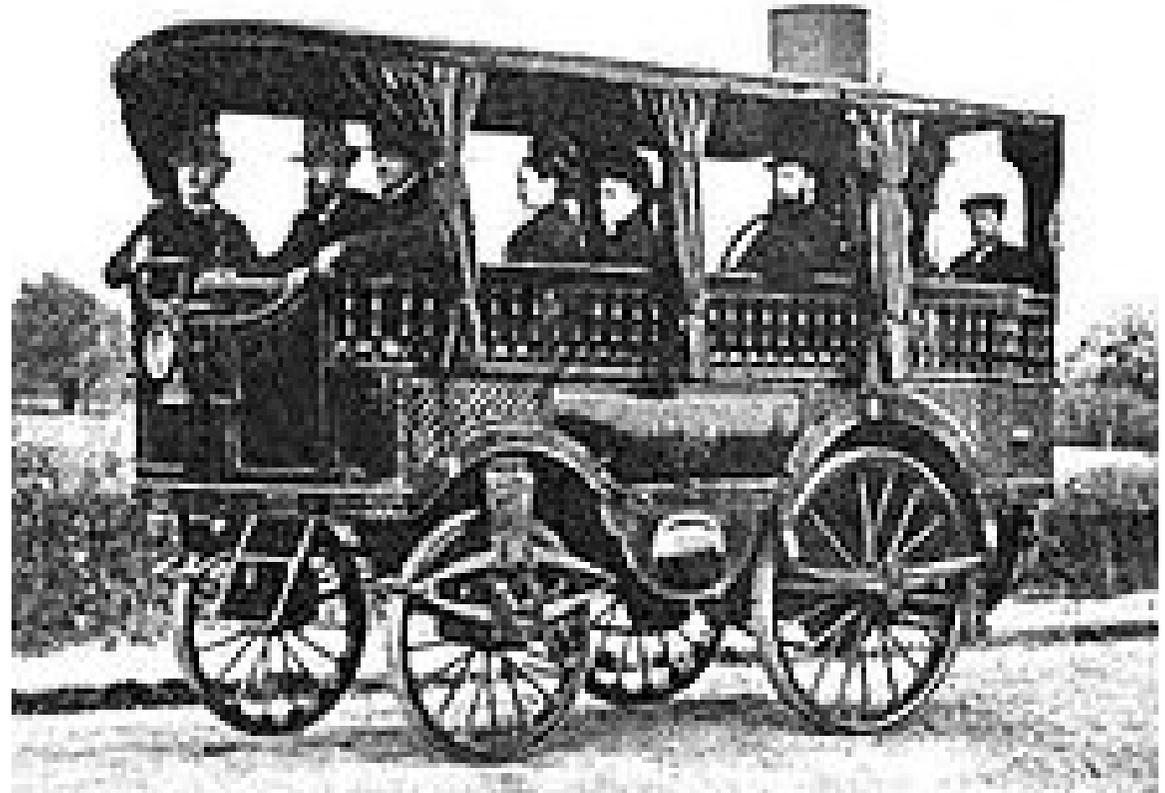
Monsieur et madame Serpollet sont en promenade en 1900



Léon Serpollet vainqueur de sa troisième Coupe Rothschild à Nice (1903).



Amédée BOLLÉE, père
(1844-1917)



La **Société Bollée**, était une fonderie de cloches du Mans

Toute la famille s'est intéressée à l'Automobile naissante.

En 1873, Amédée Bollée avait construit un véhicule à vapeur appelée **l'Obéissante**, qui fut le premier véhicule à moteur ayant obtenu un certificat d'enregistrement, la **première carte grise**.

Équipée de deux moteurs de 20 CV, sa vitesse pouvait atteindre 42 km/h.

C'est la société américaine **Doble Steam Car**, créée par l'ingénieur **Abner Doble**, qui a mis au point la première chaudière dite à vaporisation instantanée, en 1923.

Un détail qui intéressera mes coprom's Cortot et Picolier, derniers survivants de l'époque Neyrpic, le père Doble avait fait fortune avec le brevet de la roue hydraulique "**Doble Pelton**".



Une Doble de 1931



Ci dessus, la chaudière à vaporisation instantanée montée sur une Stanley de 1924.

À droite, le condenseur pour récupérer l'eau et augmenter le rendement thermodynamique.

1^{ère} époque: la traction à vapeur

On a continué à produire des voitures à vapeur jusque dans les années 30 en Angleterre, mais surtout aux USA.



Ici, une Stanley de 1912



Ci-dessus, une Stanley de 1923

Il ne faut pas oublier que l'usage de la vapeur garde quelques avantages toujours prônés dans le monde.

Pour un poids et un volume très réduit, le moteur à vapeur fournit un couple constant, à toutes les vitesses et ne nécessite ni embrayage ni boîte à vitesses.

De plus, ce moteur à combustion externe peut être alimenté par une infinité de combustibles liquides comme des alcools, des huiles végétales ou minérales.

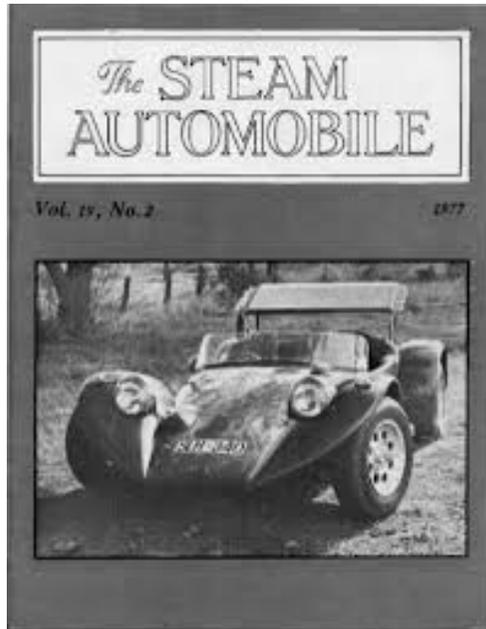
On peut aussi envisager de brûler des granulés issus de végétaux secs.



L'ensemble moteur d'une voiture anglaise Stanley

C'est pour ces raisons, qu'en **1973 Saab** avait développé un projet de moteur à vapeur à 9 cylindres de 250 CV dont je n'ai pu trouver aucune image précise.

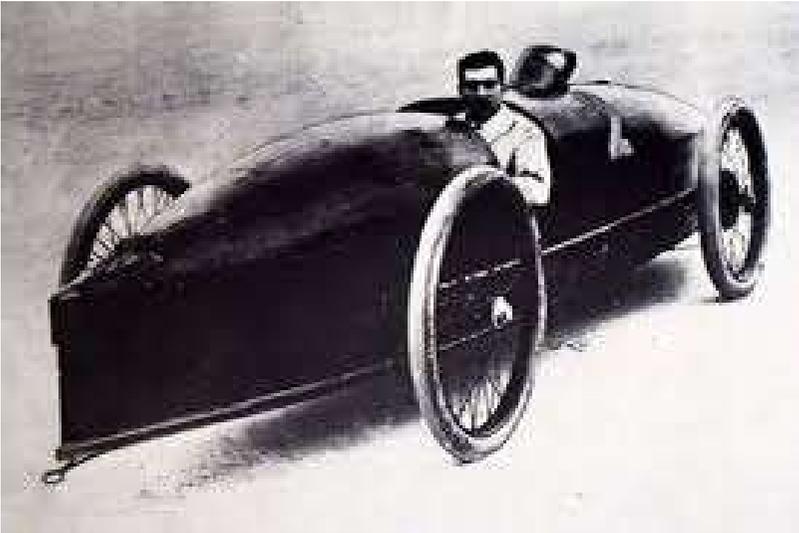
En **1974**, le designer britannique **Peter Pellandine** avait produit la voiture "Pelland Steamer" pour un contrat avec le gouvernement sud-australien. (un moteur à vapeur avec trois cylindres à double effet).



Un an après, la firme australienne **Peter Pellandine Cars** avait présenté une voiture à tendance sportive avec un moteur à vapeur.

Dans les années **1990**, **Volkswagen** aurait également étudié un moteur à vapeur de 220 CV appelé "Zéro émission Engine" mais qui n'a pas trouvé de possibilité de fabrication en série.

Des véhicules expérimentaux à vapeur ont battu des records de vitesse terrestres.



En 1906, Fred Marriott avait atteint la vitesse de 205 km/h à Ormond Beach en Floride, sur la **Rocket Stanley**.
Ça resta très longtemps la plus grande vitesse terrestre réalisée.

D'autres pilotes ont pu avoir très chaud, tel celui de la **Doble Steam Spirit**.

Propulsée par une turbine à vapeur, elle prit feu lors de la seule tentative de 1931.



Le 25 Août 2009, le vieux record de Fred Marriott a été battu par **Charles Burnett III** à 243,148 km/h sur la base aérienne Edward's Air Force.

Ici, le moteur est une turbine à vapeur de 364 CV.

Le déclin de la vapeur a commencé par la concurrence des voitures électriques, plus légères, plus maniables et immédiatement disponibles.

Mais c'est principalement la rapide évolution des moteurs à pétrole qui offraient à la fois autonomie, disponibilité, propreté, vitesse et un relatif silence de fonctionnement qui a accéléré la désaffection pour ces voitures.

En 1928, le coup de grâce a été apporté par la mise sur le marché de la redoutable **Ford modèle T**, une voiture très robuste, utilisable sans apprentissage et, surtout, à un prix très bas.



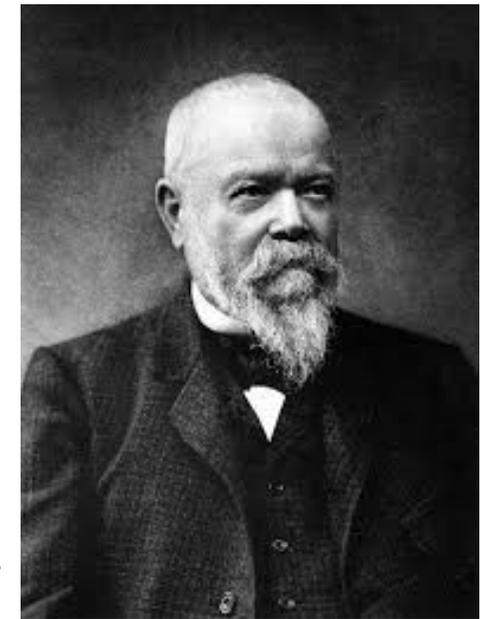
2

LES PREMIÈRES VOITURES ÉLECTRIQUES



Zenobe Gramme

En 1867, le belge **Zenobe Gramme** avait déposé un brevet sur les générateurs électriques à courant continu appelés "dynamos de Gramme".

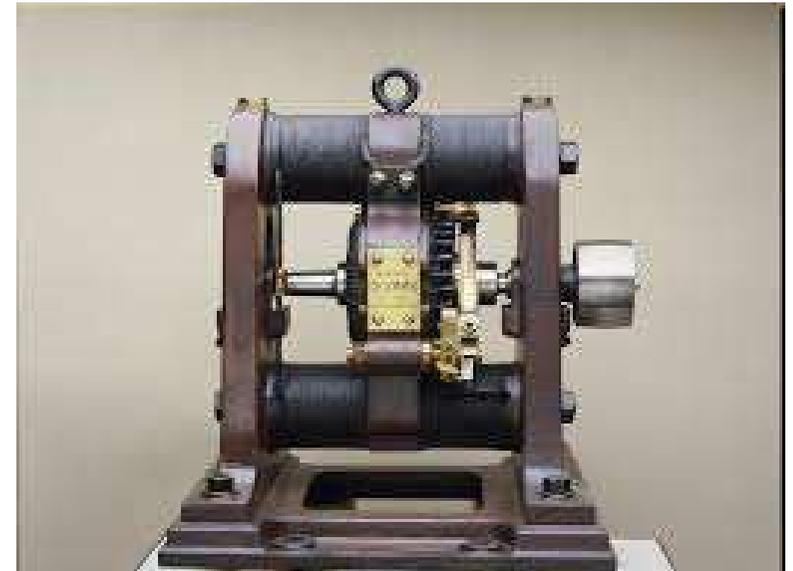


Hippolyte Fontaine

Sous la direction d'Hippolyte Fontaine, un ingénieur A&M de Châlons 1848, l'usine de la **Société des Machines Magnétoélectriques Gramme** assura la mise au point et la production industrielle des moteurs correspondants



Ces appareils furent à l'origine de la plupart des voitures électriques du XIXe siècle.





En 1859,
Gaston Planté
avait découvert
l'accumulateur au
plomb/acide.

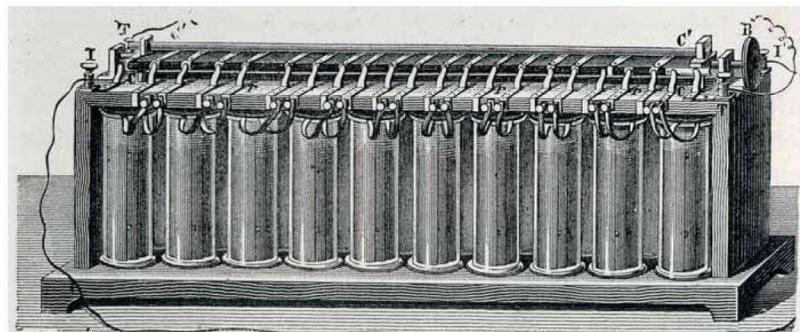


Fig. 90. — Pile secondaire de 20 éléments Planté pouvant se charger en quantité

Un accumulateur
actuel dont le principe
initial est conservé

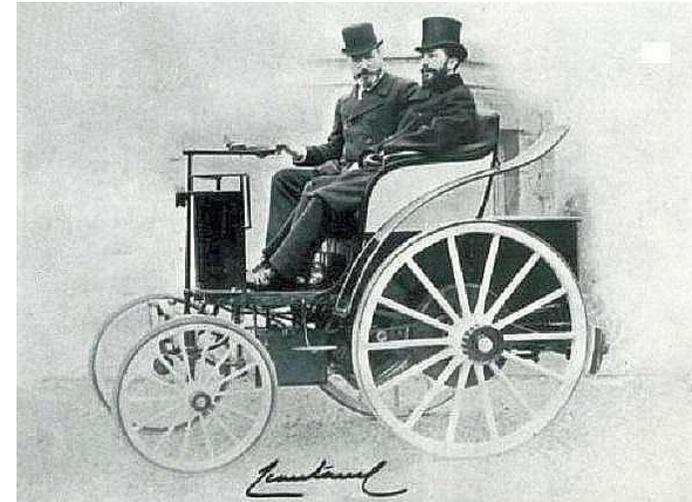


La batterie d'accumulateurs fut
largement améliorée, en 1881, par
Camille Alphonse Faure,
ingénieur A&M d'Aix 1857.

Alors, dès les années 1880, des véhicules électriques individuels avaient été réalisés de façon anecdotique, par des artisans à l'imagination créative.



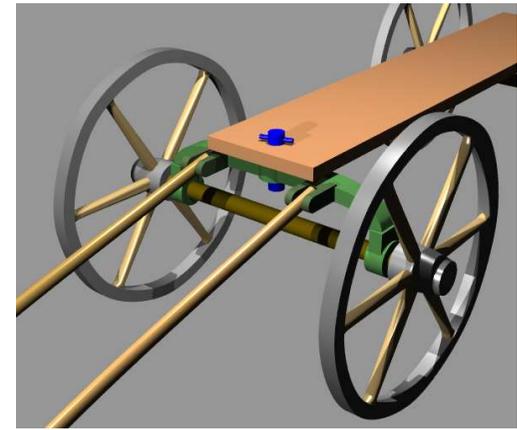
Parmi les nouveaux constructeurs, **Charles Jeantaud** était un ancien fabricant de fiacres hippomobiles.



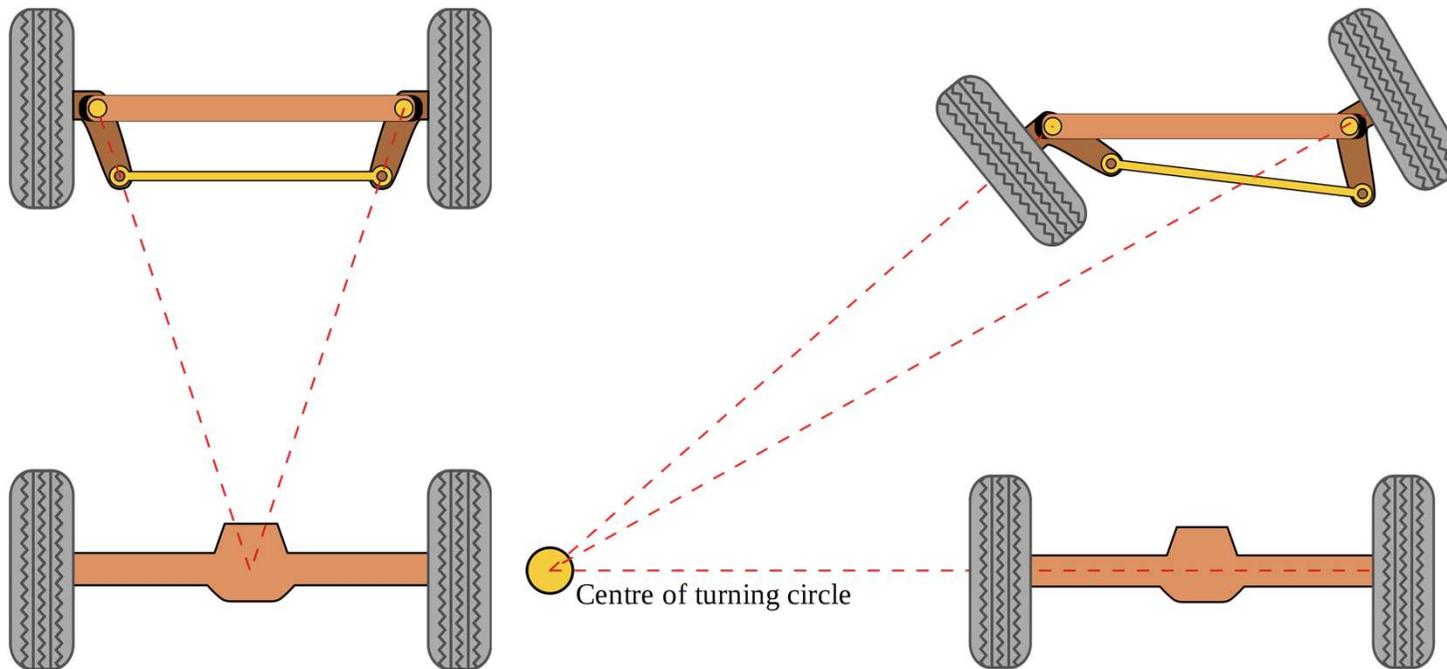
Mais Jeantaud était un technicien de grande valeur et il apporta de nombreuses innovations dans ses productions.



En particulier, il inventa un nouveau train avant directionnel pour remplacer les essieux à cheville ouvrière des véhicules à traction animale où l'ensemble de l'essieu pivote autour de la cheville.



Il détermina une géométrie d'attelage qui permettait à chaque roue de suivre le rayon de virage convenable.



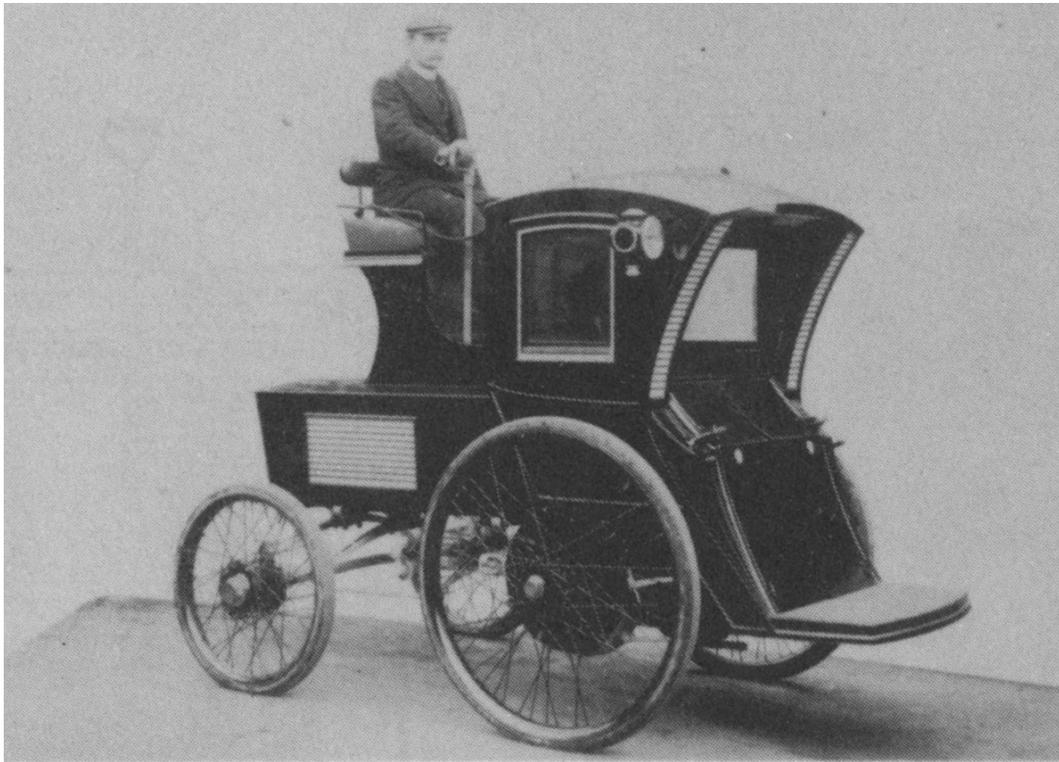
La base de son schéma porte le nom de "Triangle de Jeantaud".
On l'utilise toujours plus d'un siècle après sa création.

Avec Jeantaud, le monde vit apparaître de nombreux constructeurs, mais l'éternel défaut des automobiles électriques, leur faible autonomie, limita les applications aux utilisations à faible rayon d'action permettant une recharge quotidienne.

Louis Antoine Kriéger, un ingénieur centralien, d'abord associé avec Jeantaud, créa sa propre entreprise, la **Compagnie Parisienne des Voitures Électriques Système Kriéger** qui exporta largement ses modèles



Jusqu'aux dix premières années du XXe siècle, les taxis français, allemands, britanniques, et surtout américains, étaient des voitures électriques

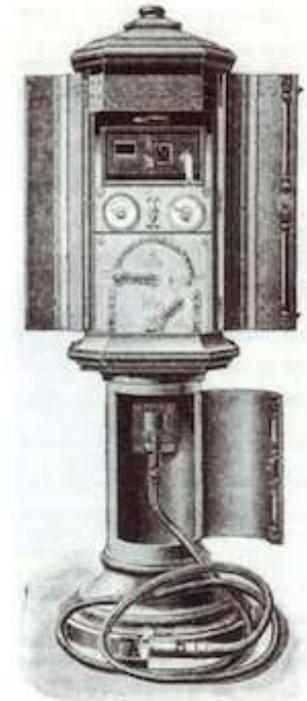


Un taxi de NewYork en 1900

COLONNE DE CHARGE
POUR AUTOMOBILE ELECTRIQUE

*Appareil primé au
Concours de Juillet 1899,
par la Commission mixte
chargée de déterminer les
conditions dans lesquelles
les automobiles pourront se
ravitailler en énergie élec-
trique.*

Marque pour l'AUTOBILÉ GLEB de PRISCE



Mais les stations publiques pour effectuer des recharges n'étaient pas assez nombreuses



On pouvait aussi utiliser certains véhicules urbains, postiers ou de livraison.



Un camion électrique américain vers 1900

Véhicules électriques pour les livraisons matinales de lait à Londres



Des sportifs fortunés ont toujours tenté d'établir et de battre des records de vitesse, le plus souvent dans la plaine d'Achères

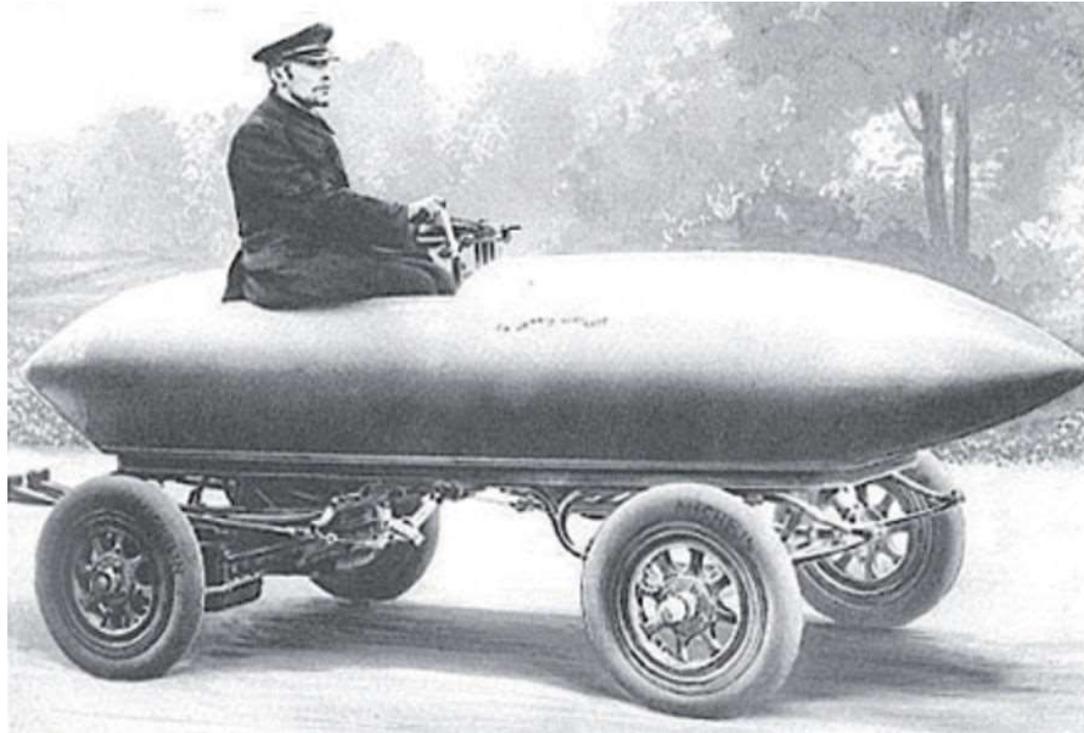


Le Comte de Chasseloup Laubat pendant le tour de France 1899



Gaston de Chasseloup Laubat sur une voiture Jeantaud pour une tentative de record de vitesse en 1883

La **Jamais Contente**, du pilote Belge Camille Jenatzy, est le 1er véhicule ayant atteint la vitesse de 105 km/h, dans la ligne droite d'Achères, le 29 avril 1899.



Le record a été rendu possible par deux moteurs électriques, d'une puissance totale de 50 kW, placés à l'arrière entre les roues.

L'alimentation comprenait des accumulateurs Fulmen, 100 éléments de 2 Volts, qui représentaient près de la moitié du poids total de 1,5 t.

Sur l'initiative du Comte De Dion et sous la présidence de M. Deprez et M. Berger, un Comité s'est formé en 1895 pour organiser une grande course qui allait marquer une date cruciale dans l'histoire de l'Automobile.

**La course se fera de Paris à Bordeaux,
aller et retour d'une seule traite (environ 1200 km)**

Le 11 juin 1895, 46 concurrents prennent le départ Place de l'Étoile à Paris

- 16 voitures à vapeur
- 21 voitures à pétrole
- 7 voitures à gazoline
- 2 voitures électriques



À l'arrivée:

seuls 10 véhicules sont en état de marche,
7 ont des moteurs Daimler à pétrole ou à gazoline
2 ont des moteurs Benz à gazoline
l'avant-dernier est le seul moteur à vapeur survivant



Cette course d'anthologie fixera le début de la fin des voitures à vapeur ou électriques au vu de la domination des moteurs à pétrole, puis, bientôt, à essence

Mais on a continué de construire des voitures électriques jusque dans les années 30, avec de faibles résultats sur le plan commercial



Deux voiture modèle Kriéger en 1900



Une voiture modèle Kriéger en 1909



La voiture électrique du Serbo-Croate Nikola Tesla en 1930

De temps en temps, le plus souvent lors de crises pétrolières, on a proposé des voitures électriques modernisées, mais sans aboutir à des productions significatives.

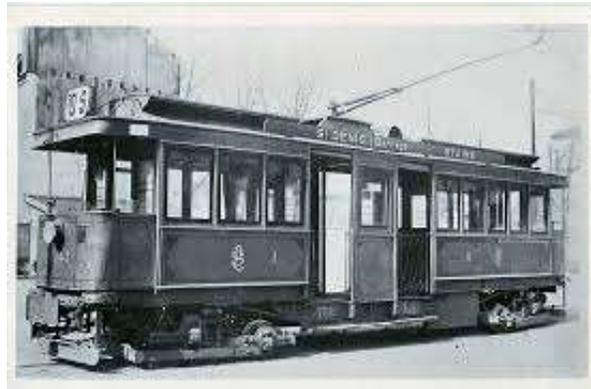
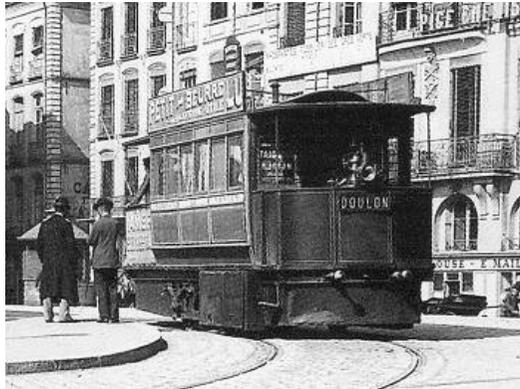


Corre la Licorne Mildé-Krieger 1942



L'Oeuf de Paul Arzens 1942

On n'a jamais cessé d'employer des véhicules mus par l'électricité, pour autant que la source soit joignable, tramways ou trolleybus, où que la recharge soit à proximité, comme pour les engins de manutention des entrepôts.



Les tramways d'origine ont progressivement disparu de nos rues, leurs rails ont été arrachés pour revenir vers la fin du XXe siècle. Puis les trolleybus ont été éliminés à leur tour.



Transpalette



Engin de levage

3

LA DOMINATION DES VOITURES THERMIQUES

L'ABANDON PROVISOIRE
DE LA VOITURE ELECTRIQUE

Domination des voitures thermiques

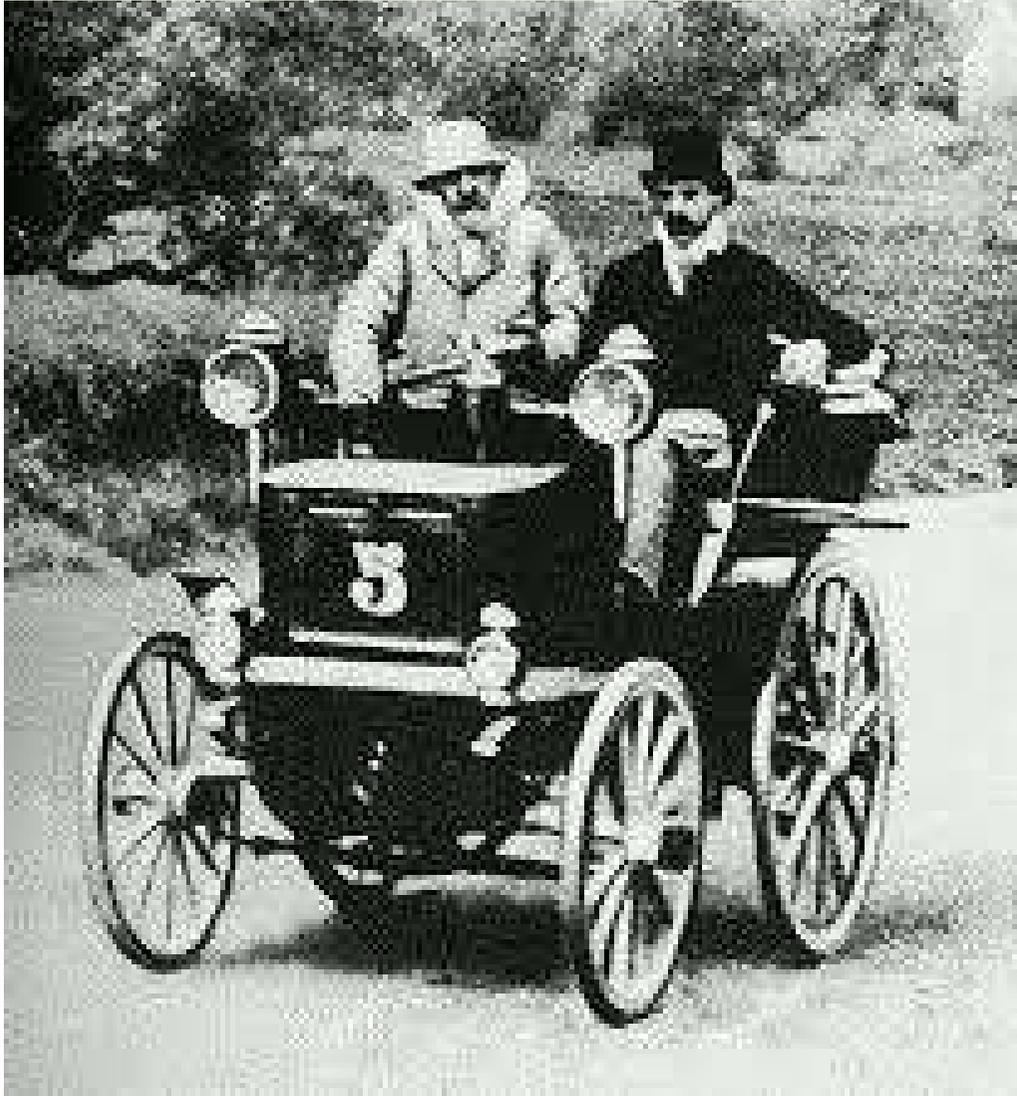
On peut dire que la course mythique de 1895, Paris-Bordeaux-Paris, marque une date fondamentale dans l'histoire de l'automobile.

Les concurrents se partageaient entre moteurs à vapeur, à pétrole, ou une essence légère appelée "gazoline".

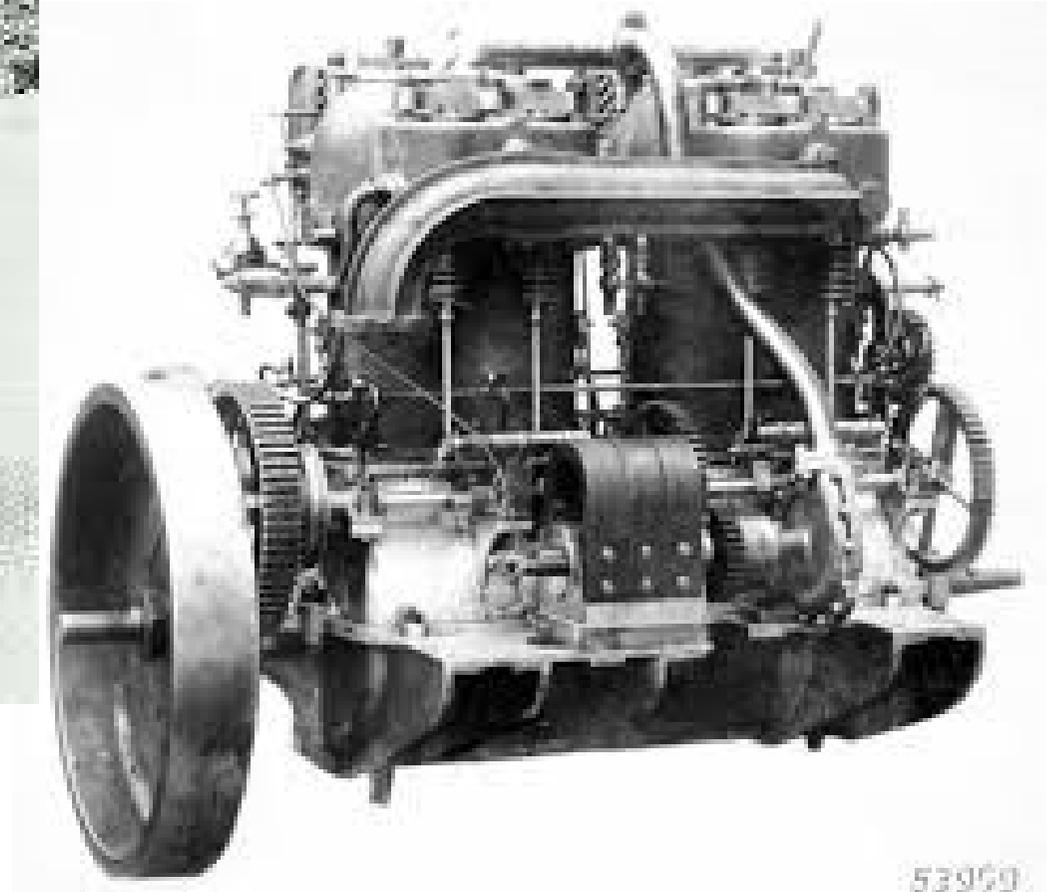


C'est d'ailleurs un phaéton à 4 places Peugeot équipé d'un moteur Daimler à 2 cylindres en V d'environ **3 cv** qui remporta l'épreuve,

Domination des voitures thermiques



Le phaéton Peugeot était suivi par une Panhard et Levassor à 2 places avec un moteur Phoénix à 4 cylindres de 8 cv.



Domination des voitures thermiques

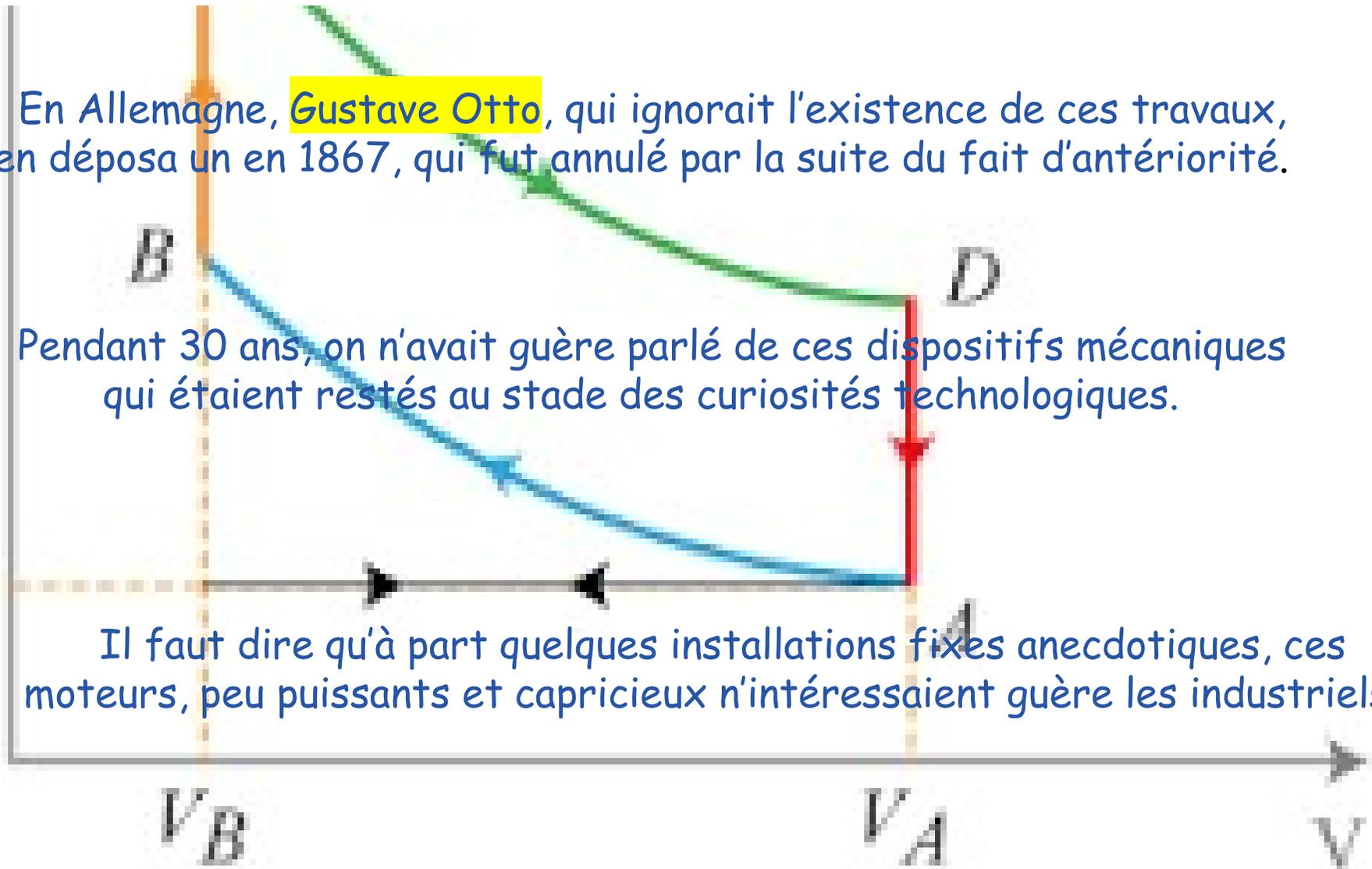


Ces moteurs thermiques utilisaient de l'essence de pétrole et fonctionnaient suivant un cycle breveté en 1862 par **Alphonse Beau de Rochas**.

En Allemagne, **Gustave Otto**, qui ignorait l'existence de ces travaux, en déposa un en 1867, qui fut annulé par la suite du fait d'antériorité.

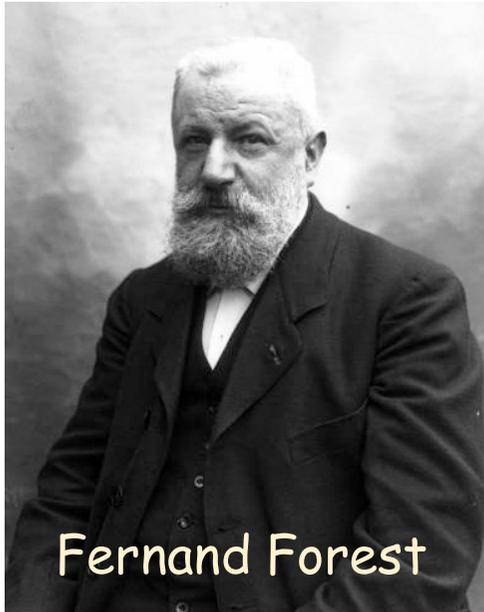
Pendant 30 ans, on n'avait guère parlé de ces dispositifs mécaniques qui étaient restés au stade des curiosités technologiques.

Il faut dire qu'à part quelques installations fixes anecdotiques, ces moteurs, peu puissants et capricieux n'intéressaient guère les industriels.

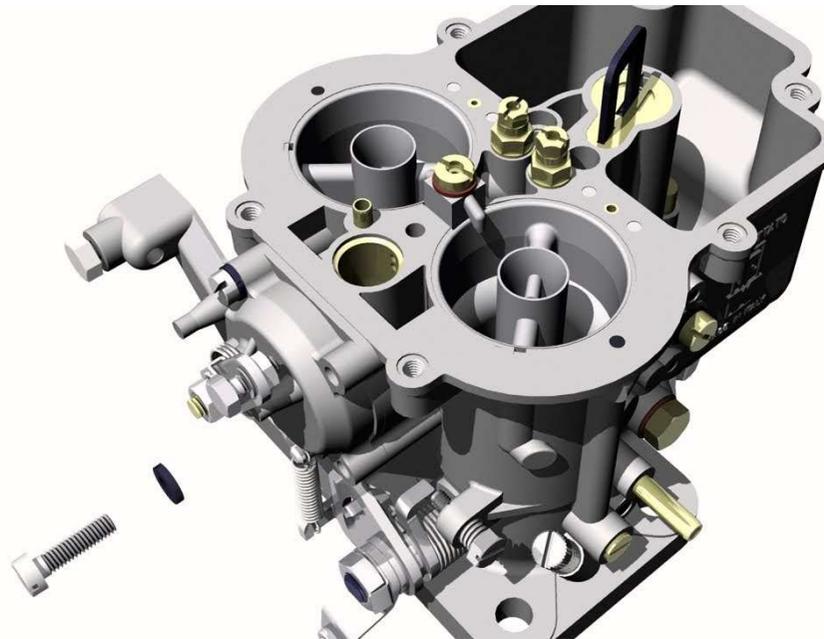


Deux inventions capitales déclenchèrent leur développement.

En premier lieu, celle du **carburateur à niveau constant** inventé en 1885 par le Français Fernand Forest qui améliorait considérablement la qualité du mélange air/carburant aspiré par le moteur.



Il est couramment admis que l'Allemand Karl Benz en soit l'inventeur en 1885, mais il ne déposa son brevet qu'en 1886



De nombreux ingénieurs ont contribué à la mise au point des dispositifs destinés à l'allumage des mélanges carburés dans les moteurs thermiques à explosion.

Faraday, Ampère, Ruhmkorff, Siemens, participèrent à cette constante évolution.

Enfin, en 1897, Bosch inventa la magnéto à haute tension, ainsi que la bougie d'allumage

En 1902 il était en mesure d'équiper tous les moteurs en cours de développement.

Robert Bosch

Le moteur à explosion était devenu utilisable.

L'autre date fondamentale de l'histoire de l'automobile fut le 28 septembre 1908, le jour où sortit d'usine la première Ford Modèle T.



Henry Ford avait su s'entourer pour imaginer celle qui est considérée comme : "la voiture du XXe siècle".

Conçue avec intelligence, elle est réputée incassable.

Quelques pièces de collection centenaires fonctionnent encore très bien.

Sa conduite, d'une remarquable simplicité, ne nécessitait aucun apprentissage.

Le prix des tout premiers modèles était trois fois moins élevé que les modèles concurrents.

Il n'a cessé de baisser pour atteindre 300 \$ en 1928, sensiblement 3.300 \$ d'aujourd'hui.

Sa production, qui ne fut arrêtée qu'en 1928, avait porté un coup fatal aux voitures électriques.

Entre 1914 et 1918, les technologies ont considérablement évolué, et principalement grâce aux multiples améliorations apportées aux moteurs d'avions.

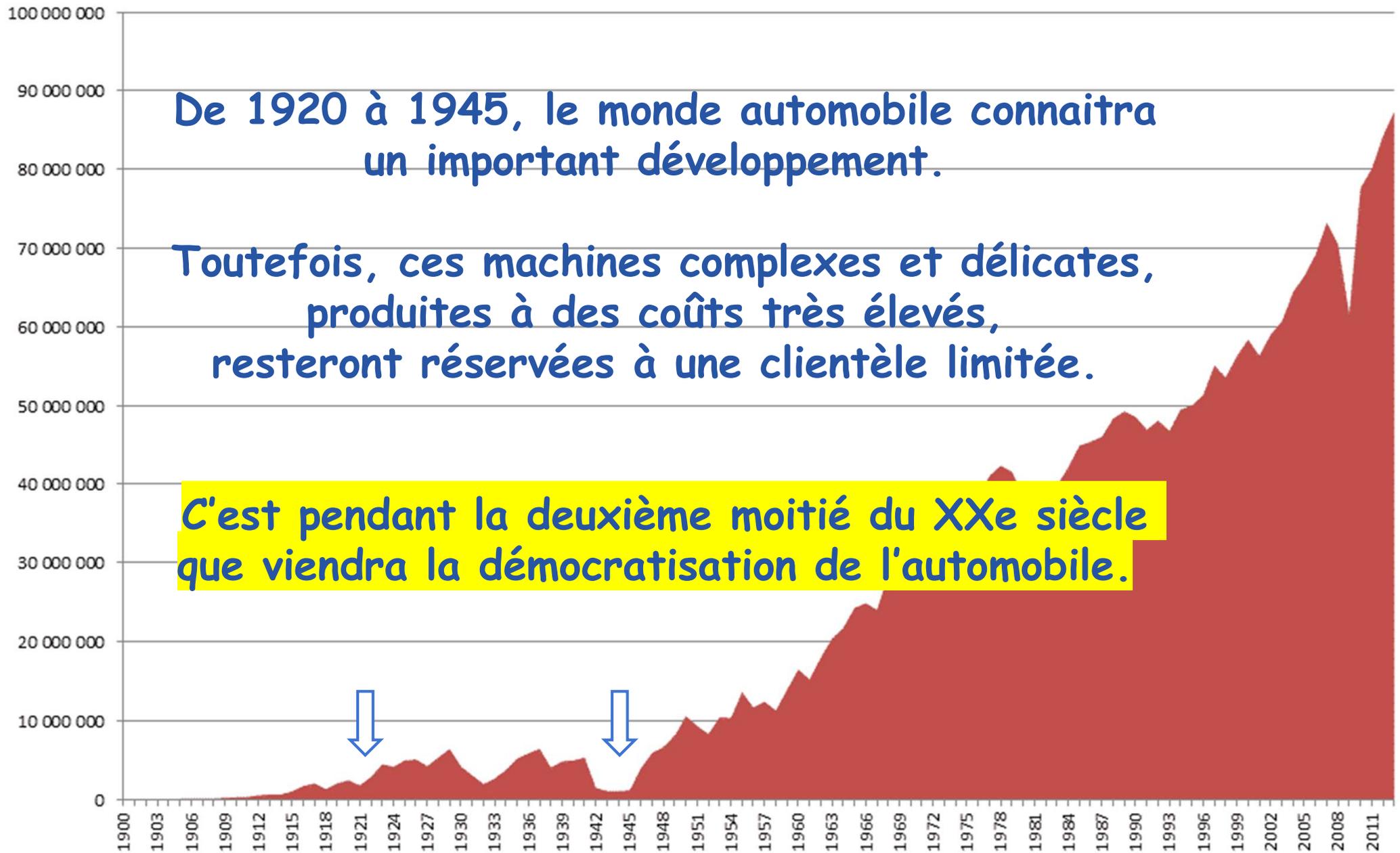
BMW et **Gnome Rhône**, obligés de réduire la production de moteurs d'avions, se sont tournés vers les motos comme fournisseurs assurés de l'Armée et de la Gendarmerie.

Hispano Suiza, qui produisait les meilleurs moteurs d'avions de l'époque, continua ses fabrications jusqu'en 1940 mais dès 1920, elle se spécialisa dans les automobiles de grand luxe et de sport.

Hotchkiss se détourna des mitrailleuses et produisit d'excellentes automobiles réservées aux classes moyennes.

De nombreuses entreprises européennes, comme **Rolls Royce** en Angleterre, se sont ainsi reconverties.

Domination des voitures thermiques



GÉNÉRALITÉS

- Les pionniers de l'automobile
- 1^{ère} époque: la traction à vapeur
- Les 1^{ères} voitures électriques
- Domination des thermiques

| NOVEMBRE 2020 | | | | | | |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Dim | Lun | Mar | Mer | Jeu | Ven | Sam |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | | | | |

| DÉCEMBRE 2020 | | | | | | |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Dim | Lun | Mar | Mer | Jeu | Ven | Sam |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | |

RENAISSANCE ÉLECTRIQUE

- Hybrides
- 100% électriques
- Hybrides rechargeables
- Conclusion personnelle

4

LA RENAISSANCE DE LA VOITURE ÉLECTRIQUE

C'est l'écologie,
et non le progrès technologique,
qui a engendré le changement

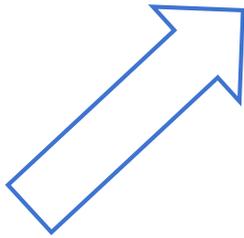
L'âge d'or des voitures à moteurs thermiques

À partir de 1945, la fabrication en grande série avec des outillages très élaborés a permis d'offrir des véhicules sûrs et performants à des prix de plus en plus accessibles.



Les moteurs diesels

- ❑ bon rendement thermodynamique y compris aux faibles charges et
- ❑ consommation plus réduite que celle des moteurs à essence.



- ✓ CO₂, comme tous les moteurs thermiques, mais aussi ...
- ✓ CO, NO_x, hydrocarbures imbrûlés et
- ✓ fines particules.

- ❖ moteurs à combustion interne fonctionnant constamment à pleine ouverture avec toujours suffisamment d'air,
- ❖ à part en France, ont tardé à équiper les voitures particulières.

Il n'est pas interdit de penser que les pétroliers français se sont activés à promouvoir le gazole qui n'est, en somme qu'un des sous-produits de distillation du pétrole.

1 litre d'essence =

- 710 grammes d'hydrocarbure

1 litre de gazole =

- 830 g, soit + 17%

tous les hydrocarbures, gazeux ou liquides, ont sensiblement le même pouvoir calorifique..

Autres polluants

Depuis les années 20, pour augmenter l'indice d'octane et, accessoirement, pour lubrifier les guides de soupapes, l'essence était dopée au **plomb tétraéthyle**, ce qui ajoutait d'autres polluants très dangereux.

Les résidus de plomb représentaient plus du tiers des particules émises, et les pots catalytiques ne pouvaient être utilisés.

Aux USA....

prix de l'essence dérisoire



pas d'importation de voitures diesel européennes avant les années 90

Dans les années 1970-80, quelques médias spécialisés avaient calculé que l'Américain moyen n'utilisait que 15% de la puissance installée dans sa voiture.

... et les **big-blocks** dont la cylindrée est exprimée en cubic inches (ci).



Certains annonçaient, 429 ci, soit plus de 7 litres de cylindrée, comme la Ford Mustang.



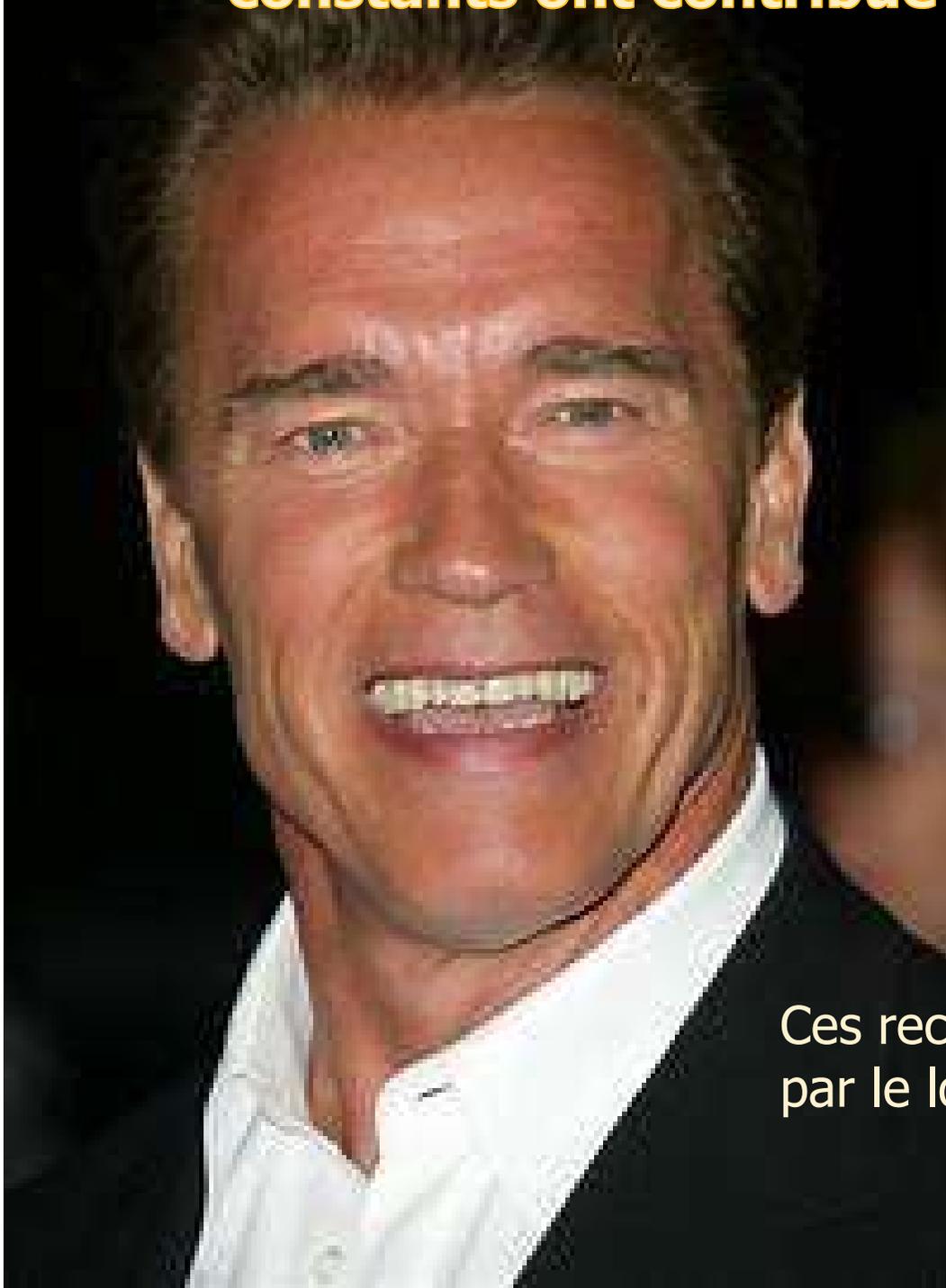
De même pour la Pontiac GTO

Cette sur-motorisation et les embouteillages constants ont contribué à l'asphyxie des grandes villes

L'Etat de Californie, le plus riche et le plus motorisé des USA, a pris des initiatives, d'abord avec le gouverneur **Arnold Schwarzenegger** puis avec son successeur, **Jerry Brown**.

Des lois ont été promulguées pour imposer un calendrier de réduction des émanations de CO₂.

Ces recherches ont d'abord été combattues par le lobby pétrolier.



Après l'appui du gouvernement alerté par l'état de l'air dans les autres grandes villes, les constructeurs ont été contraints de concevoir des moteurs de plus en plus performants.

L'industrie automobile mondiale a dû suivre le mouvement.

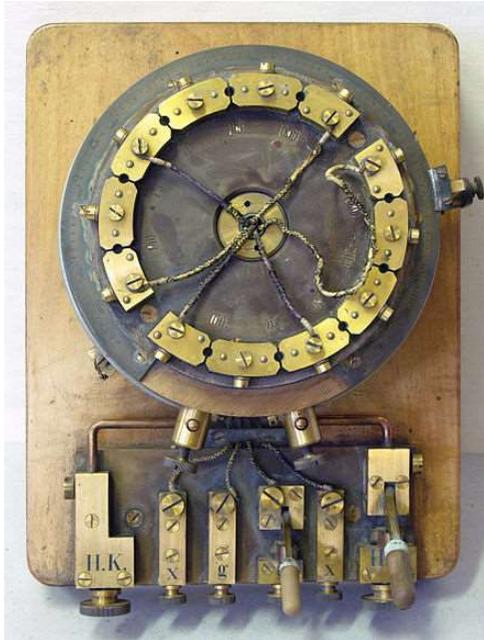
Les motoristes ont apporté de profondes améliorations et adopté l'essence sans plomb devenue obligatoire.

Les pots catalytiques et les filtres à particules ont été installés.

Et surtout, la taille des moteurs s'est progressivement réduite, les rendements ont progressé.

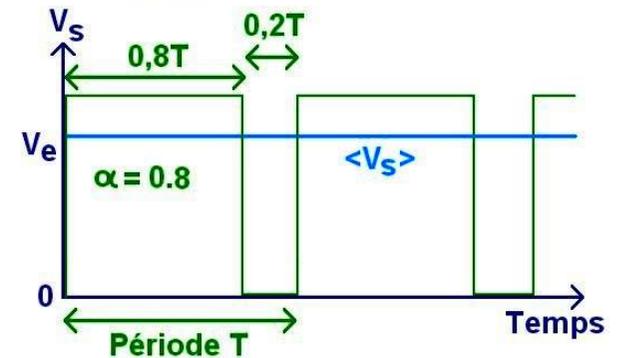
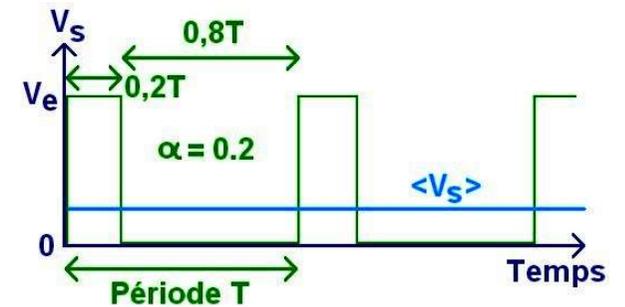
Curieusement, c'est dans ce climat où les moteurs thermiques sont au mieux de leurs offres que les voitures électriques vont prendre la première place dans les divers projets.

On avait ignoré les gros progrès intervenus dans l'utilisation de l'électricité, car les bénéficiaires, l'électronique, l'informatique et le téléphone, étaient, pour la plupart hors du domaine direct de l'automobile



Disparu le rhéostat qui dépensait inutilement des W/h par effet joule.

Il avait été remplacé par le hachage du courant qui rendait le démarrage très progressif.



Les moteurs "Brushless", sans collecteur et sans balais ont pris la place des anciens moteurs à courant continu. Leur alimentation est assurée par un "controller", un onduleur de puissance, qui crée un courant alternatif à fréquence variable.

Enfin, l'organe majeur de la propulsion d'une voiture électrique, la batterie d'accumulateurs au plomb, était restée quasiment inchangée depuis des lustres.



Ci dessus Accu Saft (Ni-Cd) pour véhicules PSA

Le but des recherches était d'améliorer le rapport poids/capacité fondamental pour des applications mobiles.

Ce rapport initial de 20 à 40 Wh/kg a été porté à 40 à 60 Wh/kg dans les accumulateurs nickel-cadmium (Ni-Cd).

Ils ont été dépassés par les modèles nickel-hydrure métallique Ni-Mh dont le rapport poids/capacité est 30 % supérieur.

Sensibles à "l'effet mémoire", pour préserver leur capacité originelle, il est impératif d'effectuer une décharge complète avant recharge, un gaspillage d'énergie qui augmente d'autant la durée de l'opération.

Une invention capitale fut l'utilisation du lithium, issue des travaux de trois chimistes, un Anglais, un Américain et un Japonais, ayant obtenu, ensemble, le Prix Nobel de Chimie 2019



Les accumulateurs Lithium-Ion (Li-Ion) ont un rapport poids/capacité 3 à 5 fois supérieur aux précédents, et plus faciles à intégrer dans la structure d'un véhicule.

Dépourvues de nickel, elles sont insensibles à l'effet mémoire.

Batterie d'accumulateurs Lithium-Ion
Chaque cellule à une tension de 3,6 volts

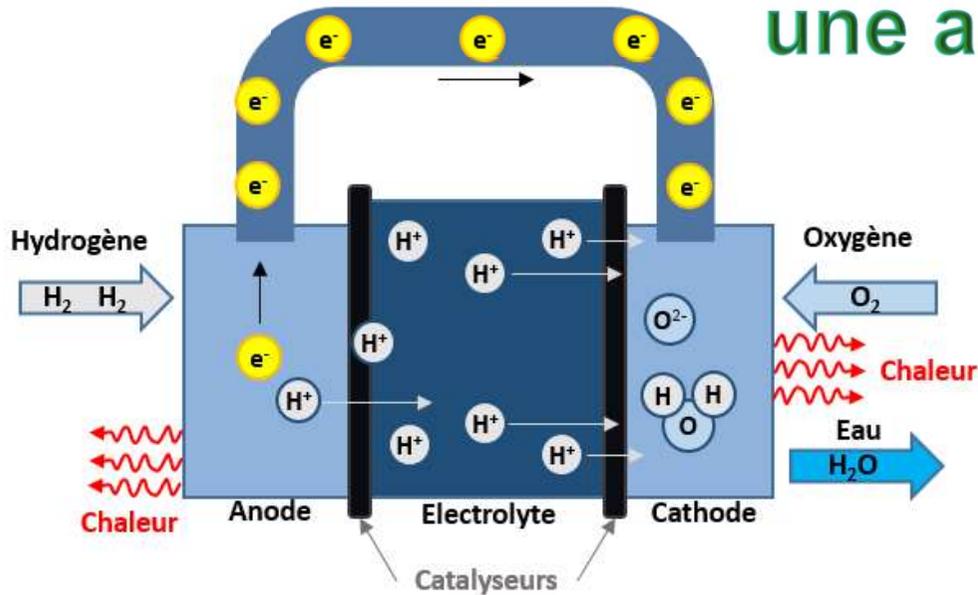
Mais ils imposent d'intégrer un système électronique de protection embarqué (BMS), qui empêche une charge ou une décharge trop profondes.

À défaut, le danger de surcharge peut aller jusqu'à l'explosion de la batterie

Toutefois, les accus de grande puissance, soit plusieurs centaines de W/h par élément, disposent d'une chimie améliorée et d'une gestion électronique optimisée.

Grâce à leur bon rapport volume/capacité, ils sont utilisés sur les véhicules totalement ou partiellement électriques.

Les piles à combustible à hydrogène sont une autre source d'électricité



Le principe de la pile à combustible a été mis en évidence, il y a plus de 150 ans par deux chercheurs, Christian Friedrich Schönbein et Sir William Grove.

Il s'agit d'une réaction chimique où, à travers une paroi semi perméable en résine échangeuse d'ions, l'hydrogène est oxydé par l'air en produisant du courant électrique, de la chaleur et de l'eau.

Mais la production d'hydrogène est coûteuse et ce gaz est très difficile à conserver et dangereux à utiliser.

À une époque, il était formellement interdit d'employer de l'hydrogène sur un véhicule.

Actuellement, plusieurs produits agricoles sont à base d'hydrogène obtenu par diverses opérations.

- Par vaporeformage de méthane,
- Par électrolyse de l'eau
- ou autre procédé chimique

4-a

Le retour de l'électricité dans le monde automobile était devenu envisageable

LES NOUVELLES VOITURES ÉLECTRIQUES

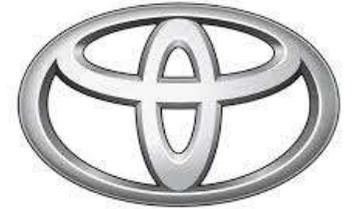
Dans les bureaux d'études automobile tout le monde savait que les voitures étaient obligatoirement surmotorisées.

Cela tient aux caractéristiques fondamentales des moteurs thermiques dont le couple-moteur est nul à vitesse nulle et qui ne sont utilisables qu'à partir de vitesses de rotation minimales.

De ce fait, on ne peut démarrer qu'en faisant suffisamment patiner un embrayage, ce qui contraint à installer dans le véhicule une puissance totale qui ne sera jamais utilisée.

CRÉATION DU PRINCIPE HYBRIDE

À la fin des années 80, TOYOTA était le constructeur mondial N° 1



Un groupe de chercheurs a été chargé de proposer des moyens pour répondre aux obligations écologiques qui ne pourraient qu'empirer.

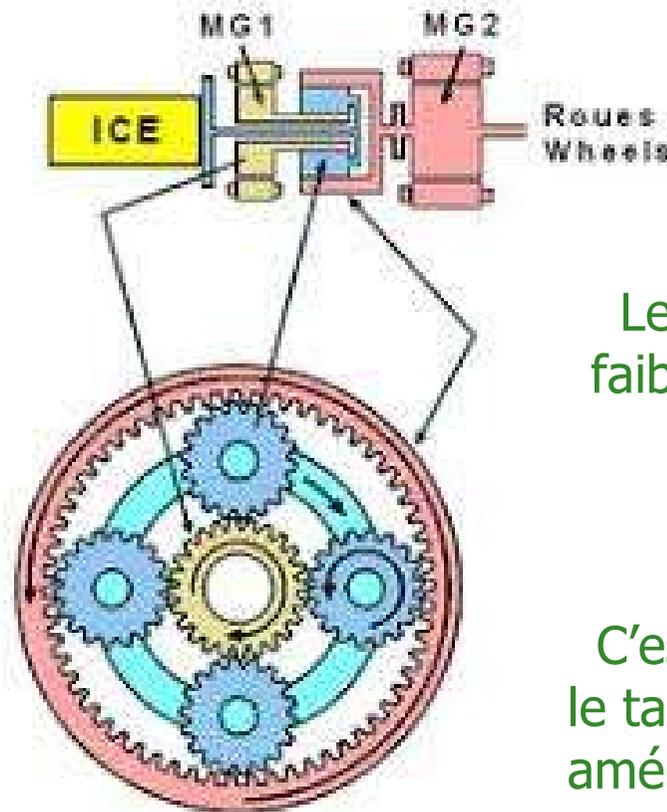
L'ennemi déclaré étant le CO2 dont l'émission est proportionnelle à la consommation de carburant, on devra s'efforcer de la réduire.

Depuis 1997, la dénomination **Toyota Prius** couvre plusieurs versions d'automobiles hybrides, présentant une double motorisation thermique et électrique, équipés du système Hybrid Synergy Drive (HSD).



Le concept Hybride créé par Toyota....

.... associe un moteur à essence qui serait sous-dimensionné s'il était utilisé seul, avec deux moteurs-générateurs électriques dénommés MG1 et MG2, de tailles et de puissances différentes, tous trois étant reliés à un train épicycloïdal,

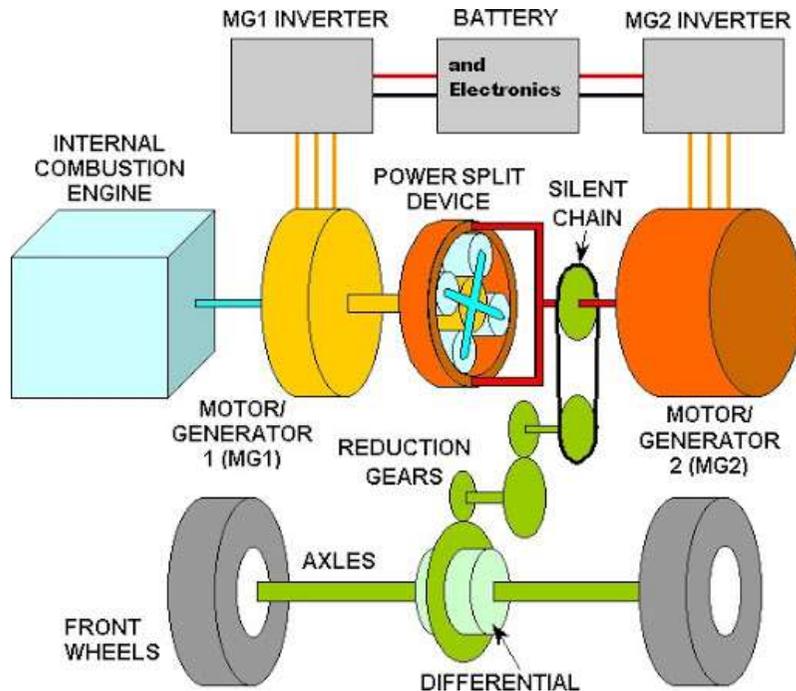


Le moteur thermique a été choisi pour sa faible consommation et une pollution limitée.

C'est un moteur à cycle de Atkinson où le taux de détente supérieur au taux de compression améliore le rendement thermodynamique.

La transmission est électro-mécanique

le couple et la puissance des différents moteurs sont transmis aux roues par un pont différentiel



La gestion de la puissance et du couple par le choix du moteur optimal est confiée à un ordinateur.

Il n'y a aucun embrayage, le fonctionnement procure les sensations de conduite d'une transmission à variation continue.

En 1997, la batterie d'accumulateurs installée, d'une capacité de l'ordre de 1,3 kWh, était du type Ni-Mh dont le régime charge/décharge était contrôlé par l'ordinateur.

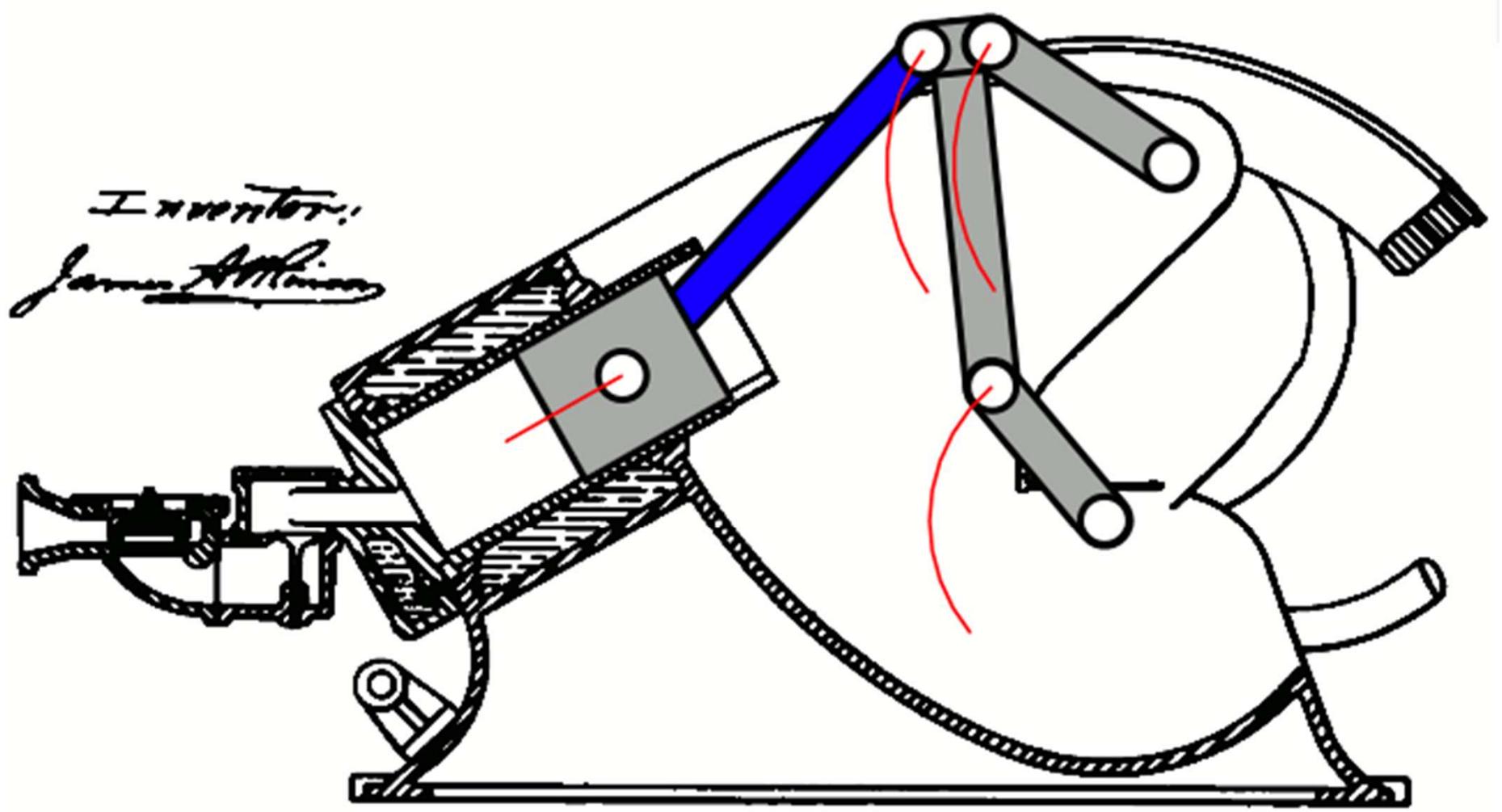
Cycle de Atkinson utilisé dans la plupart des voitures hybrides



James Atkinson était un scientifique écossais qui regrettait le médiocre rendement thermodynamique du cycle Beau de Rochas, où le taux de détente était égal au taux de compression, obligatoirement limité par les essences de médiocre qualité.

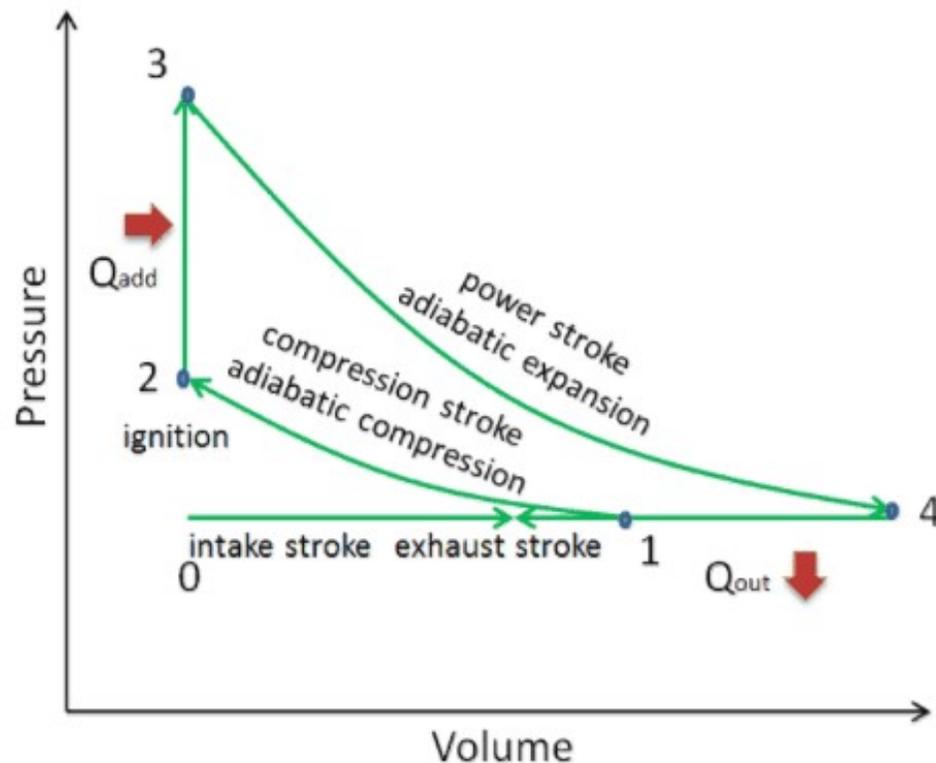
En 1882, il avait proposé un dispositif original où les 4 temps se déroulaient en un seul tour de vilebrequin, avec une course courte pour admission/compression, et une course longue pour détente/échappement.

*Inventor:
James A. H. Lincoln*



Le système original n'a jamais été exploité

Mais on a conservé le nom de cycle d'Atkinson à un moteur où la soupape d'admission reste ouverte après le point mort bas avec éjection d'une partie de la charge gazeuse.



Il en résulte une réduction du taux de compression alors que le taux de détente demeure prolongé.

Dans ces moteurs, seule la came de la soupape d'échappement demande un tracé approprié, sans augmentation du prix de revient de l'ensemble.

Le principal défaut de ce dispositif est une puissance réduite par rapport à un moteur classique habituel.

Pour obtenir la puissance désirée, il faut augmenter la cylindrée, donc le poids, le prix, ainsi que les taxes basées sur les chevaux fiscaux.

De plus, ni les commerciaux ni les clients n'apprécieraient ce qui serait pris pour un mauvais moteur.

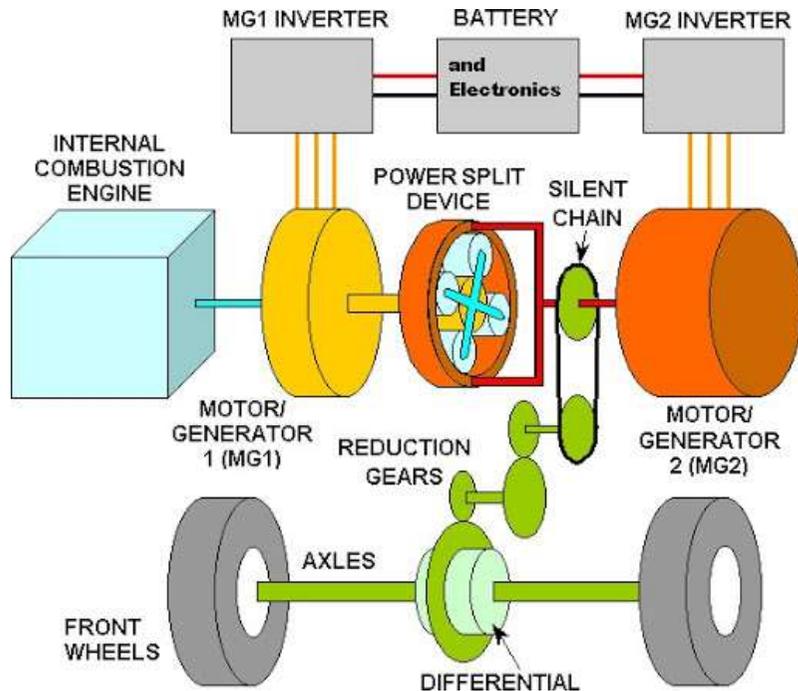
Les moteurs de cycle d'Atkinson sont majoritairement montés sur des voitures de type hybrides où l'appoint occasionnel du moteur électrique compense leurs faiblesses tout en conservant leur économie de consommation.

Dans les années 40,
l'ingénieur américain Ralph Miller
proposé une variante du cycle de Atkinson où
l'ouverture de la soupape d'admission était, au contraire, retardée.

Le bénéfice était équivalent,
mais l'absence d'un moteur électrique d'appoint était compensée par
l'installation d'un compresseur.

La réalisation des turbo-compresseurs fiables a permis l'adoption récente
du Cycle Miller, notamment sur certains modèles du groupe Volkswagen.

Revenons à la TOYOTA Prius



Au départ, seul le moteur électrique de traction MG1 assure le démarrage et reste actif pendant la mise en vitesse.

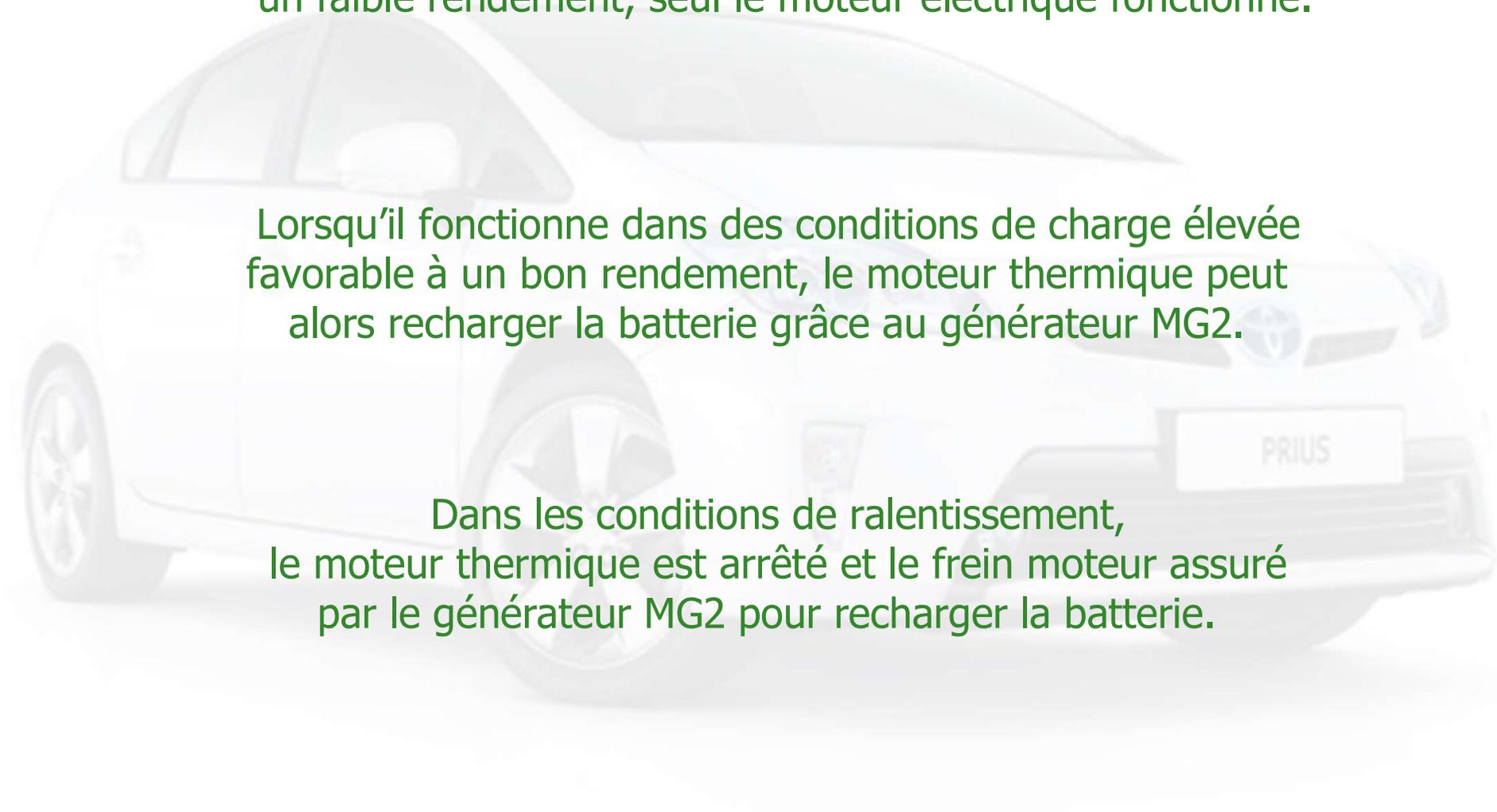
Dès qu'elle atteint une valeur suffisante, le moteur thermique démarre automatiquement et prend le relais avec une charge suffisante pour avoir un rendement acceptable.

En régime stabilisé, seul le moteur thermique est actif.
Le moteur de traction, MG1 peut lui être associé lors d'un besoin de puissance complémentaire, par exemple pour un dépassement.

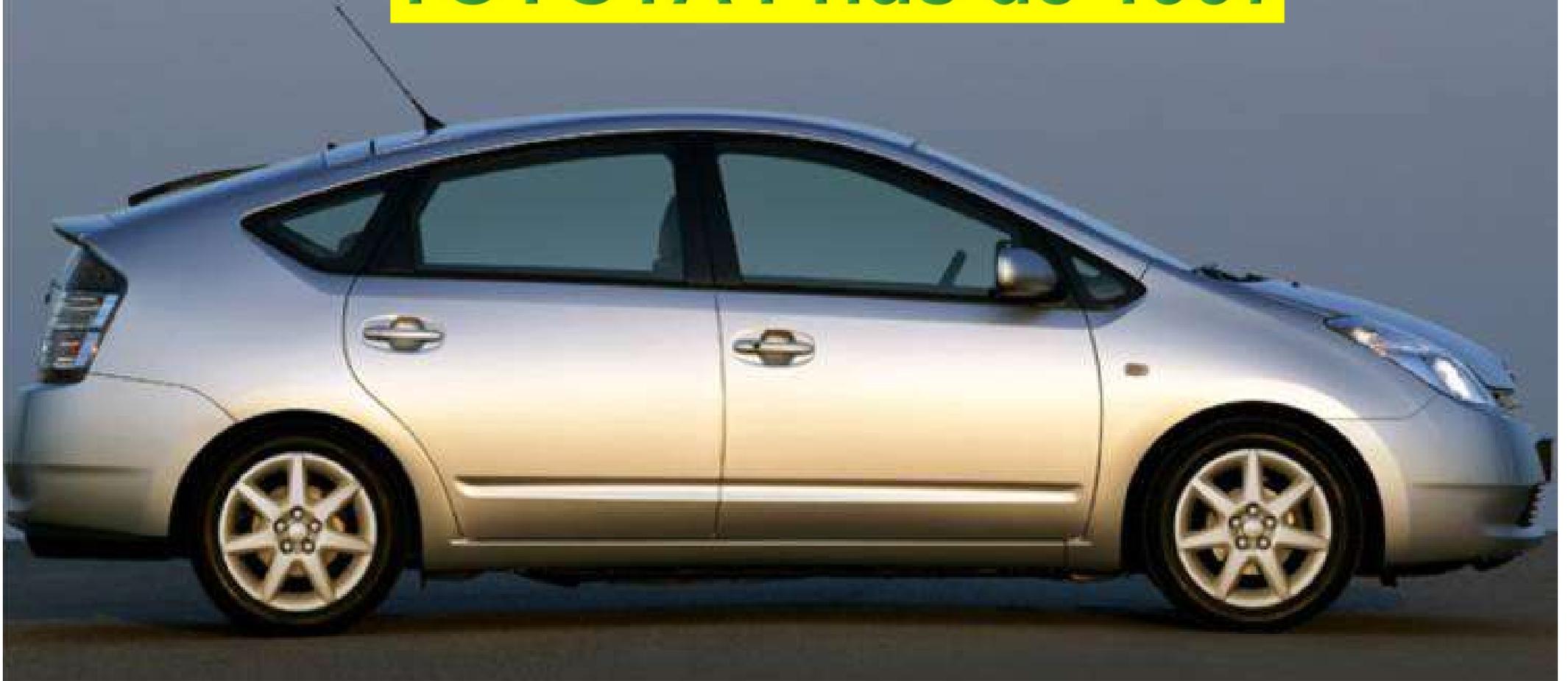
Dans le cas de vitesse réduite où le moteur thermique aurait un faible rendement, seul le moteur électrique fonctionne.

Lorsqu'il fonctionne dans des conditions de charge élevée favorable à un bon rendement, le moteur thermique peut alors recharger la batterie grâce au générateur MG2.

Dans les conditions de ralentissement, le moteur thermique est arrêté et le frein moteur assuré par le générateur MG2 pour recharger la batterie.



TOYOTA Prius de 1997



Puissance maximale de 72 cv,
(53 cv thermique et 19 cv électrique)
Batterie Ni-Mh de 1,3 kWh

La Prius de première génération
consommait de 4 à 6 L/100km.

Le rapide succès commercial de la formule hybride, fut essentiellement dû à la baisse sensible de la consommation tout en conservant une qualité d'usage habituelle.



□ De nombreux constructeurs s'engagent dans la voie ouverte, qui perdure de nos jours.

□ Les concepts diffèrent, mais l'esprit continue.

□ La plupart des modèles présentés ont adopté les nouvelles batteries Li-Ion.

Toyota figure toujours dans le peloton de tête,
y compris dans sa marque de prestige LEXUS.

En 2020, la voiture hybride type comprend :

- Un moteur thermique économique de 70 à 90 kW
- Un moteur électrique de 30 à 40 kW
- Une batterie Li-Ion de 1,2 à 1,5 kWh
- Une autonomie électrique de 4 à 6 km
- Une autonomie totale de 600 à 800 km

4-b

LES NOUVELLES VOITURES 100% ÉLECTRIQUES

En 2009, la société Mitsubishi présenta la i-MiEV,
une citadine qui sera vendue au Japon, puis, dès 2010, aux USA et en Europe

Elle fut intégrée au catalogue PSA sous le nom de Peugeot-iOn ou Citroën C-Zéro



Elle était propulsée par un
moteur électrique synchrone
de 19 kW, et disposait d'une
batterie Li-Ion d'une capacité
de 16 kWh.

Avec la première norme NECD
elle était créditée d'une
autonomie de 160 km.

TULIP

Chez **PSA**, de 1990 à 1998, la Direction des Recherches et des Affaires Scientifiques, avait été chargée de concevoir un véhicule électrique léger destiné à être mis en libre-service.

La Cellule de Créativité, en partenariat avec **VIA-GTI** et **CEGELEC** avait conçu, et réalisé des prototypes roulants.

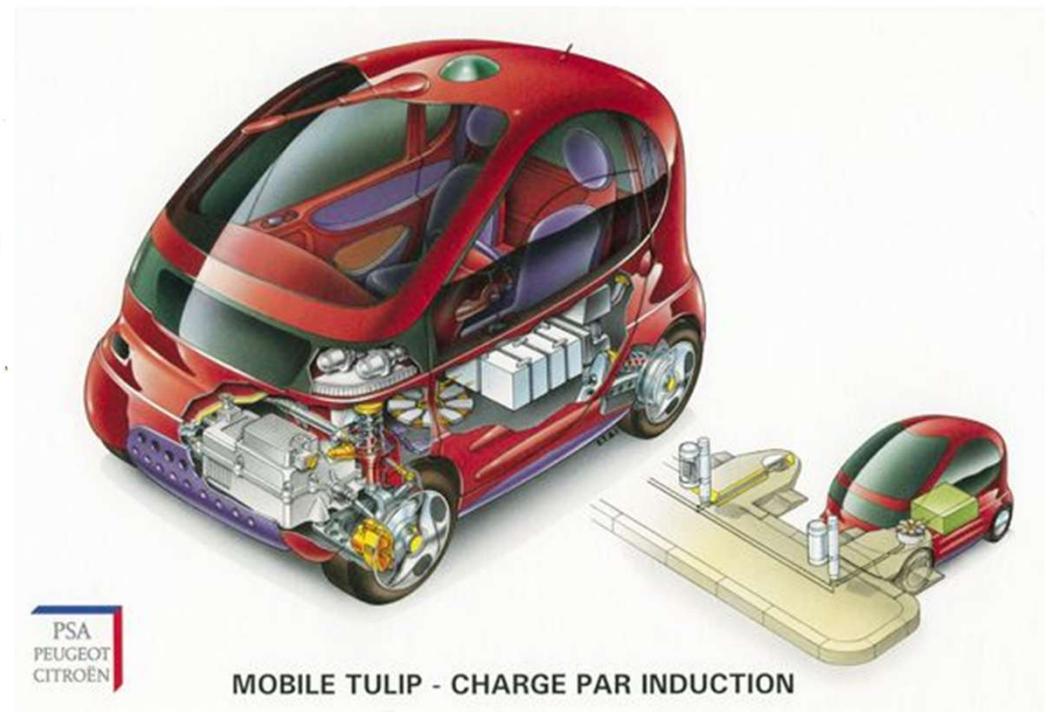
On avait baptisé le véhicule "**TULIP**" : **T**ransport **U**rbain **L**ibre *Individuel* et **P**ublic.

Avec un moteur de 9,8 kW et une batterie Ni-Mh de 6 kWh, l'autonomie de 72 km, était suffisante pour l'usage envisagé.



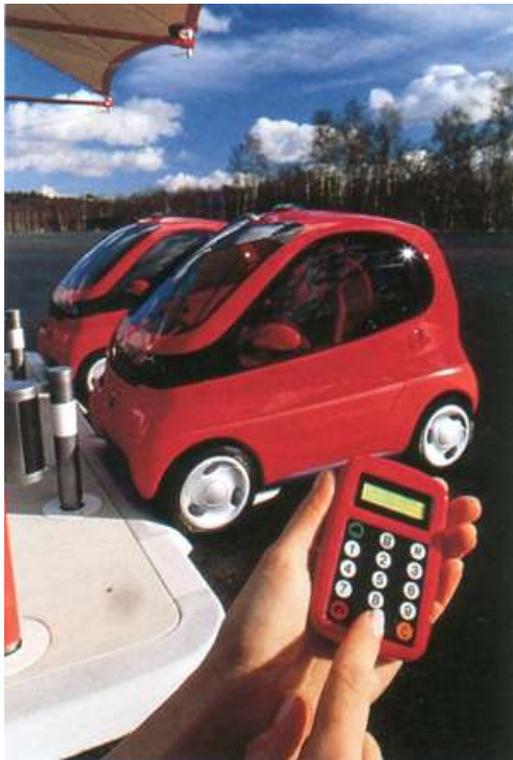
PSA
PEUGEOT
CITROËN

COQUE COMPOSITE EN CINQ PARTIES



PSA
PEUGEOT
CITROËN

MOBILE TULIP - CHARGE PAR INDUCTION



La longueur de 2m20 inférieure au gabarit standard de 2m50 permettait de se garer face au trottoir.

L'abonné au service disposait d'un badge à GPS permettant de localiser et de choisir une des voitures disponibles, d'ouvrir sa porte et de l'utiliser, son compte étant automatiquement connecté.

En 1997, Jean Martin Folz, successeur de Jacques Calvet, avait tout arrêté, le partenaire VIA-GTI n'ayant pas réussi à installer les relais urbains indispensables pour ce projet.

En 2010, Nissan proposait la Leaf, une compacte un peu plus ambitieuse.



Elle offrait une puissance de 80 kW et disposait d'une batterie Li-Ion de 60 kWh.

Son autonomie était affichée à 385 kms suivant la nouvelle norme WLTP

Les différentes versions successives de la Leaf en font le véhicule électrique le plus vendu dans le monde.

Aujourd'hui, une voiture électrique standard...

...type Renault Zoé ou Peugeot e-208 : batterie Li-Ion # 50 kWh
moteur de 80 à 100 kW.

MR1

Peugeot e-208

autonomie : 450 km (ancien cycle NECD)

340 km avec le cycle WLTP un peu plus sévère.

200 km sur autoroute



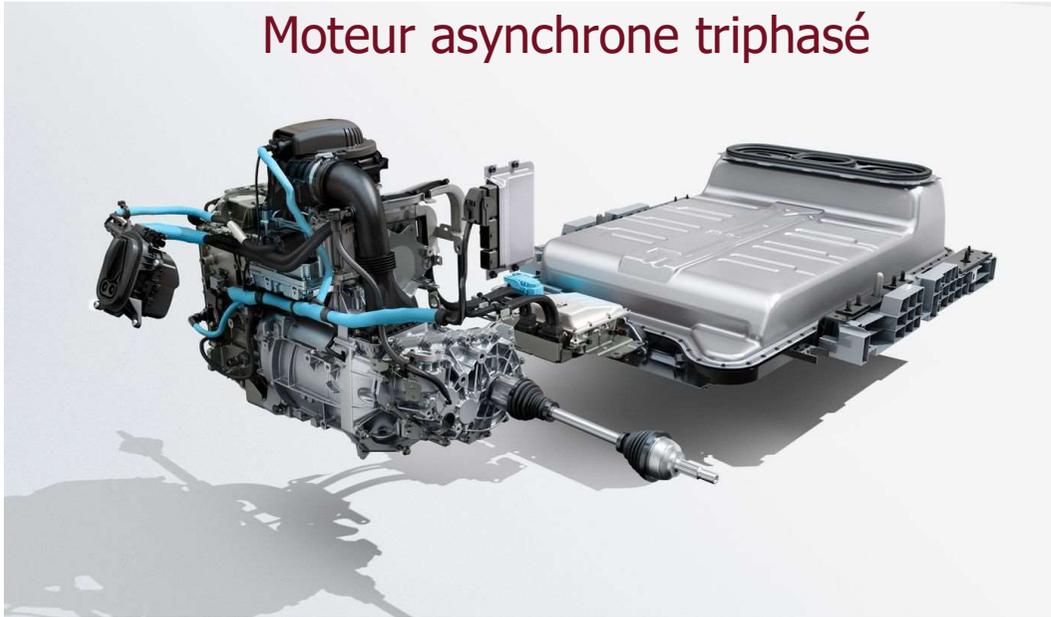
Batterie de la Peugeot e-208
Lithium-Ion Capacité utile 50 kWh

Moteur de la Peugeot e-208
Version standard 80 kW
Onduleur pour courant triphasé

Renault Zoé

autonomie : 185 km sur autoroute en hiver (5°), et
214 km au printemps (17°)

Moteur asynchrone triphasé



Moteurs de la Renault Zoé:

- ✓ Version R135 100 kW
- ✓ Version R110 80 kW

Batterie de la Renault Zoé:

- ✓ Lithium-Ion, Nombre de cellules: 192
- ✓ Capacité utile: 52 kWh Poids: 326 kg

Il est possible de charger la batterie à domicile.

Avec le chargeur fourni, les essayeurs ARGUS ont mis plus de 30 h pour une charge complète.
Il en faut de 8 à 10 avec le super chargeur à 7,4 kW qu'on peut faire installer chez soi..

Autres voitures électriques



Audi e-tron



Kia NIRO



Renault TWINGO électrique



Volkswagen ID-4

Utilisation des voitures électriques

Pour préserver l'état des batteries, il est vivement conseillé de n'utiliser que 70 % de leur capacité utile, soit entre 20 % et 90 %.
La décharge totale devra rester accidentelle, et la recharge sur borne-relais sera surveillée pour la stopper au moment opportun.

L'autonomie d'une voiture 100% électrique

dépend énormément des conditions d'utilisation:

- ❖ Style de conduite, modéré ou sportif,
- ❖ Charge du véhicule,
- ❖ Profil de la route,
- ❖ Climat hiver (chauffage, et été (climatisation))

Il ne faut pas oublier que si un moteur arrêté ne consomme rien, les déperditions d'énergie restent constantes

Des journalistes de l'Argus, ont noté une consommation entre 14 et 28 kWh/100 km suivant les circuits, autoroutes, routes nationales ou voies rapides et les saisons extrêmes.

Budget prévisionnel

pour un automobiliste Lambda, plutôt tranquille, habitant un immeuble, utilisant une Renault Zoé stationnée sur un parking extérieur, et donc obligé d'utiliser les bornes relais :

- consommation électrique moyenne 16 kWh / 100 km
- sur borne standard 0,8 € / kWh
- dépense ? 12,8 € / 100 km

si le kilométrage annuel < 7.500 km, soit 625 km/ mois,
location batterie 74 € / mois,
au-delà, le loyer peut augmenter jusqu'à 134 € / mois.

Donc, location batterie minimum 11,8 € / 100 km

| |
|--|
| La dépense totale ne sera donc pas inférieure à 24 € / 100 km correspondant à la consommation de 20 litres de gazole aux 100 km |
|--|

**Il faudra être certain de disposer de bornes en état de fonctionnement tous les:
100 km sur autoroute, et 150 km sur les nationales.**

Sinon, gare au stress !

4-C

LES HYBRIDES RECHARGEABLES

Aujourd'hui, il est impossible de proposer une voiture 100 % électrique qui soit aussi la voiture familiale.

Même les TESLA américaines aux tarifs exorbitants ne peuvent prétendre au statut de voiture familiale.

Il faut en plus pour les déplacements famille/vacances, disposer soit d'une thermique classique, soit d'une hybride classique.

Souvent les 5 km d'usage 100% électrique paraissent trop limités
et sans possibilité d'augmentation.

**D'où le concept d'une super-hybride
disposant d'une batterie de capacité intermédiaire,
rechargeable à domicile
et offrant une quarantaine de km d'autonomie électrique.**

D'un coût unitaire également intermédiaire, dans un grand
nombre de cas elle remplacera les deux véhicules envisagés,
et pour un coût global également intermédiaire.

La plupart des constructeurs présentent des Hybrides rechargeables qui sont des versions issues de leurs voitures thermiques vedettes.

Peugeot 3008 Plug-in Hybrid



Peugeot 3008 Plug-in Hybrid

Type SUV

Moteur thermique 133 kW

Moteur électrique 81 kW

Batterie Lithium-Ion 13,2 kWh

Autonomie électrique 50 km

Renault Captur e-Tech Plug-in



Renault Captur e-Tech Plug-in

Type SUV

Moteur thermique 110 kW

Moteur électrique 15 kW

Batterie Lithium-Ion 7,5 kWh

Autonomie électrique 50 km

La recharge de la batterie

Sur une prise domestique avec le chargeur 3,7 kW :

La charge complète est atteinte en 4 à 5 h

Avec le chargeur optionnel à 7,4 kW :

Le temps est ramené à 2 h

La voiture hybride rechargeable type comprendra :

- Un moteur thermique économique de 80 à 110 kW
- Un moteur électrique de 50 à 80 kW
- Une batterie Li-Ion de 10 à 12 kWh
- Un chargeur intégré basique de 3,7 kW
- Une autonomie électrique de 30 à 40 km
- Une autonomie totale de 600 à 800 km

Polyvalente, elle s'intégrera aux véhicules à faible pollution urbaine

ÉPILOGUE

Établir une préférence entre les trois principes utilisant l'électricité dépend d'un choix personnel, qui n'est pas forcément d'une totale objectivité.

Mon choix sera le suivant.



**Numéro 1, le système hybride
que je considère comme universel.**

Une voiture hybride est entièrement autonome, au même titre qu'une voiture thermique classique et dispose d'un important réseau de stations-services.

La consommation de carburant est considérablement diminuée.
Les démarrages se font avec la vigueur du moteur électrique.

Les déplacements urbains, également électriques, sont silencieux et non polluants.

Le stationnement est indifférent, garage ou parking extérieur.



Numéro 2, le système **hybride-rechargeable** dans le cas où on dispose d'une prise domestique.

Les avantages sont les mêmes, et on profite d'un usage électrique augmenté, avec, pour l'instant, le bénéfice du courant domestique nocturne peu coûteux.



Numéro 3, le **100% électrique** qui me paraît réservé aux écologistes convaincus qu'une fourniture de courant d'origine éolienne ou solaire sera bientôt disponible avec un coût du kWh réduit

En attendant, il faut aussi accepter l'exportation des émanations polluantes ou nocives.

Cas personnel

Mon âge m'interdisant de recourir aux achats à crédit, j'utilise les locations type LOA.

Début juin 2020, je devais remplacer ma Golf VII par une Golf VIII que Volkswagen ne pouvait pas homologuer à cause d'un bug sur un dispositif de sécurité obligatoire.

J'ai dû restituer la Golf.

Dans l'attente, j'ai consulté Peugeot qui propose la 308, directement concurrente.

On m'a proposé une opportunité, la location d'un véhicule de démonstration,
une 508 hybride rechargeable déjà immatriculée en janvier 2020 par la concession.

Devenue véhicule d'occasion, j'ai accepté la location dans des conditions très favorables,.
Depuis 6 mois, je roule quasiment en 100% électrique avec une autonomie de l'ordre de 40 km.
Je recharge à domicile tous les 2 ou 3 jours sur le courant nocturne.

J'ai utilisé le moteur thermique, en formule hybride, pour des déplacements de 150 à 900 km.

Dans ces conditions, avec ma conduite habituelle sans extravagance,
la consommation est environ 1,5 l/100 km plus faible que celle de sa concurrente

Je n'ai pas encore calculé le coût du déplacement en
électrique avec, pour l'instant, un kWh à 0,1344 €.

François Andriussi – décembre 2020

MOTORISATION

24 novembre 2020
1 décembre 2020

TRANSMISSION

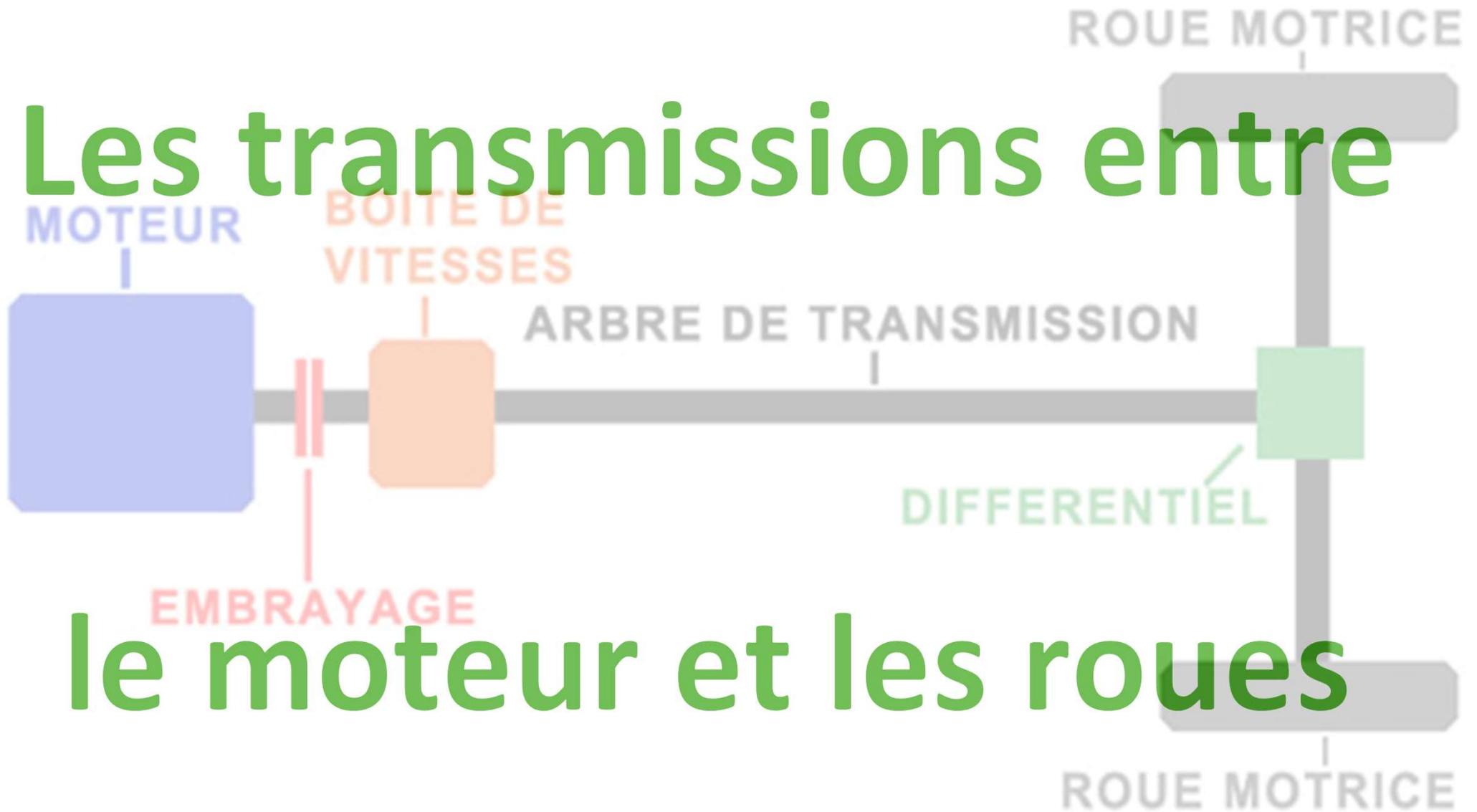
16 mars 2021

CONCEPTION D'UNE AUTOMOBILE

**LIAISON AU SOL
SÉCURITÉ ACTIVE**

**SÉCURITÉ
PASSIVE**

Les transmissions entre



le moteur et les roues

Les premiers véhicules automobiles étaient équipés de moteurs à vapeur ou électriques qui fournissaient un couple constant, depuis l'arrêt, jusqu'à la vitesse permise par la réserve d'énergie disponible..



Ce couple était modulable suivant les besoins



Les moteurs à combustion interne ne fournissent un couple moteur que dans une zone réduite de vitesse.

Il était devenu impossible d'entraîner directement les roues sans un organe de coupure.

d'où l'invention indispensable de l'**embrayage**.

De plus, les faibles puissances offertes par les premiers moteurs utilisables devaient être réparties au minimum en deux zones:

- ❑ une réservée au démarrage et à la circulation dans les déclivités relativement fortes,
- ❑ la seconde consacrée à un régime de croisière ne présentant que des pentes légères.

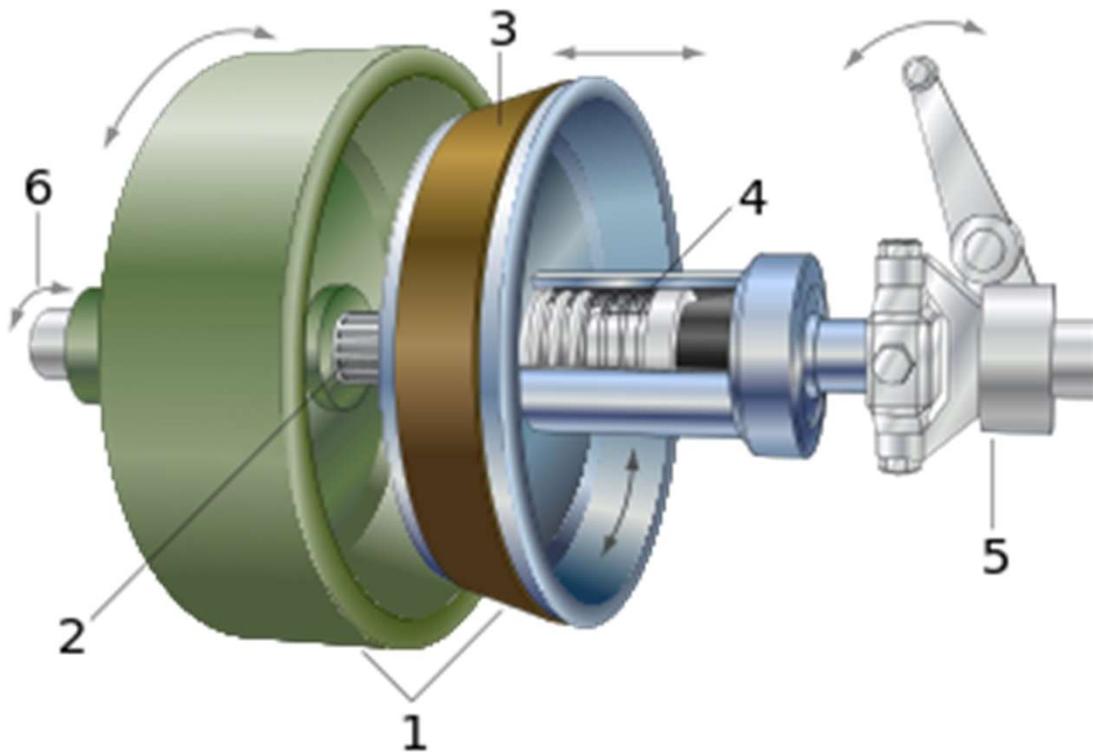




Le léger phaéton Peugeot vainqueur de la course Paris-Bordeaux en 1895, était entraîné par un moteur Daimler de seulement 3 CV qu'il fallait adapter aux aléas du voyage.

Les premiers embrayages

La transmission progressive du mouvement se faisait par friction entre une partie reliée au moteur et une autre avec le changement de vitesses vers les roues motrices.



EMBRAYAGE CONIQUE (1)

- VOLANT (2) avec alésage conique fixé sur ARBRE MOTEUR (6)
- VOLANT (3) conique mâle avec (bandes cuir collées), poussé par
- RESSORT (4) concentrique, pour adhérence progressive
- LEVIER (5) permet débrayage par écartement

Utilisés pendant plusieurs décennies. Souvent victimes de fuites d'huile accidentelles qui les mettaient hors d'usage.

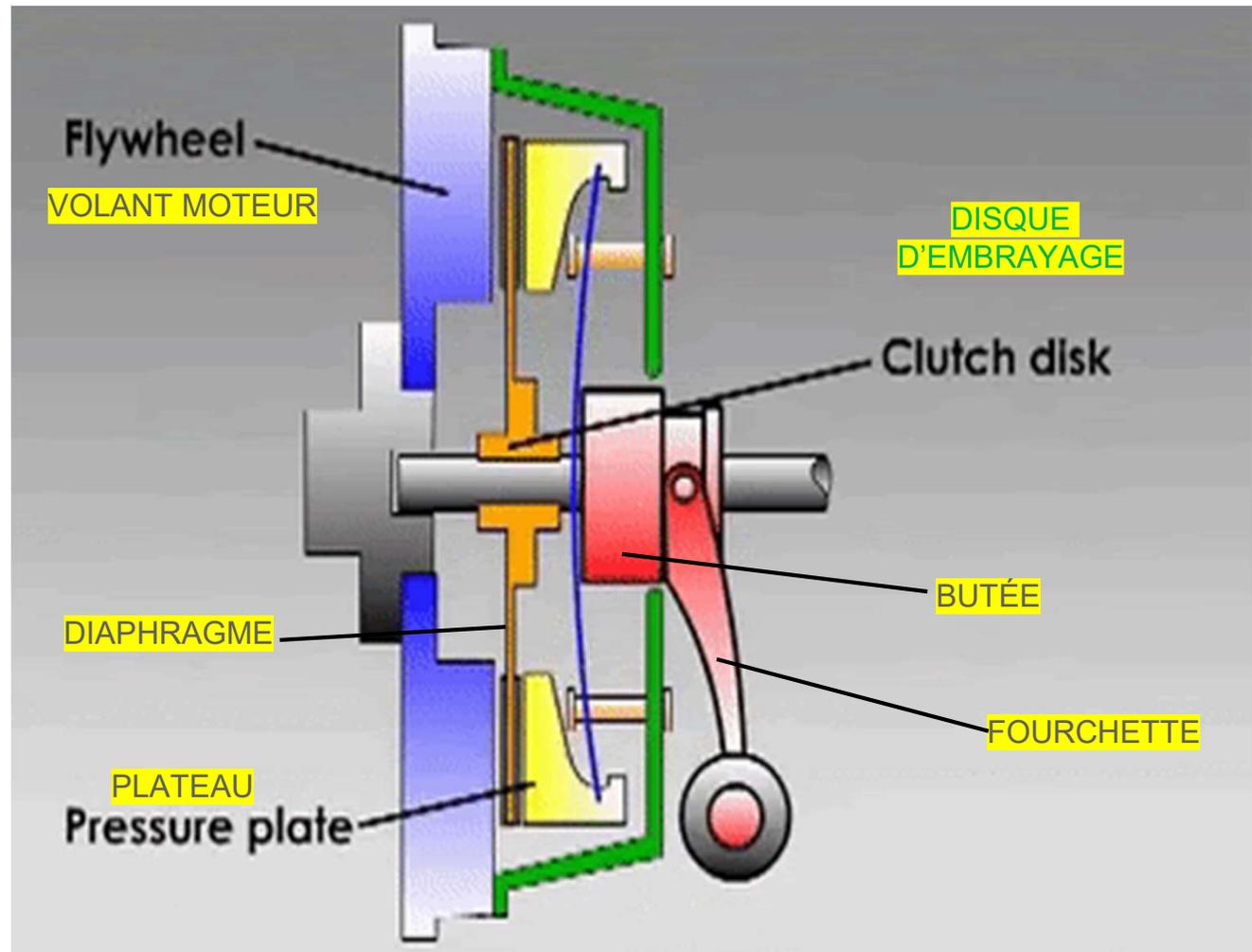
Embrayage à disques plans

Le volant moteur est usiné avec une surface plane parfaitement polie.

Le disque entraîné:

- est revêtu de garnitures de friction sur chaque face,
- est pressé contre volant par diaphragme élastique appuyé sur butée.

Une fourchette permet de dégager la pression et entraîne le débrayage. Pour les couples élevés, on installe des dispositifs bi-disques.



Le différentiel

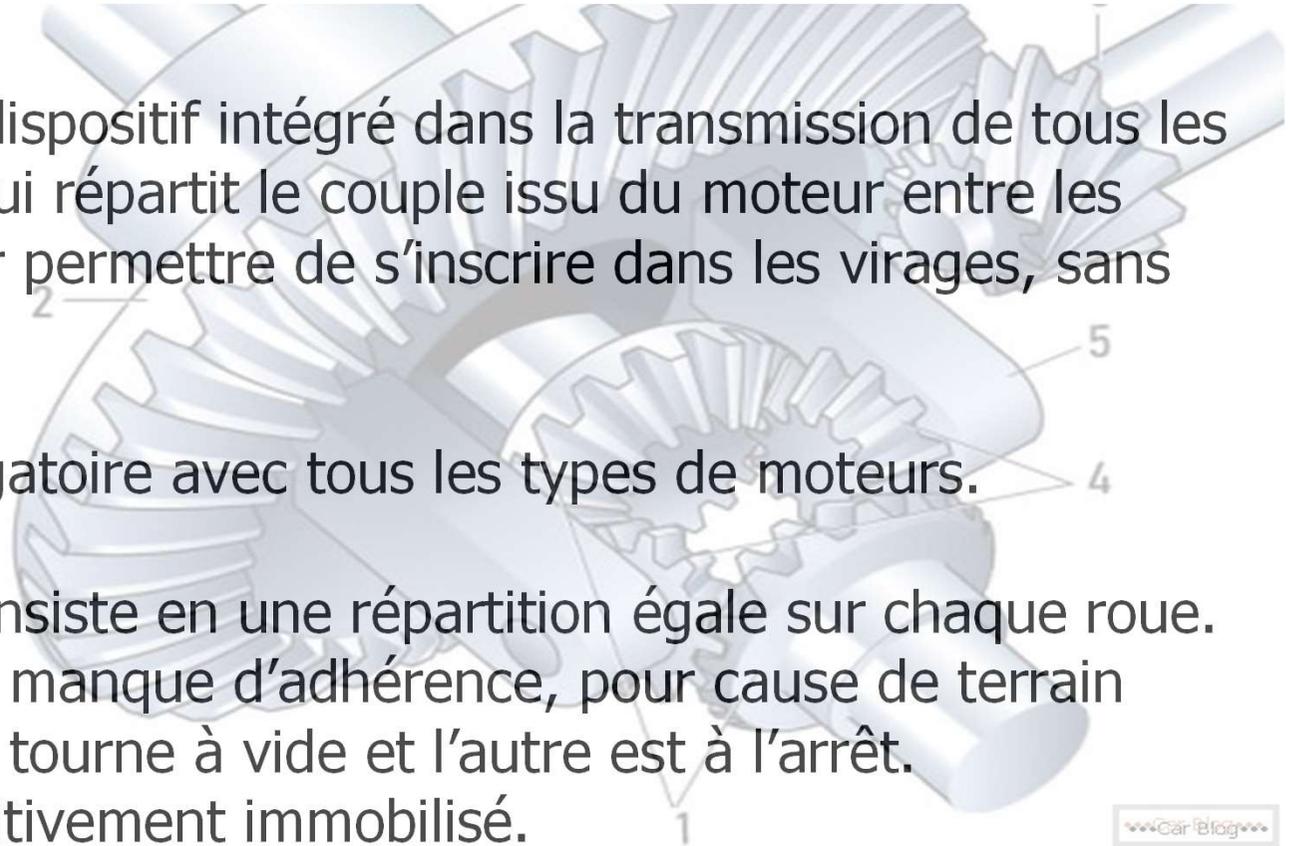
Le différentiel est un dispositif intégré dans la transmission de tous les véhicules automobiles qui répartit le couple issu du moteur entre les roues motrices pour leur permettre de s'inscrire dans les virages, sans patinage intempestif.

Son utilisation est obligatoire avec tous les types de moteurs.

Le principe habituel consiste en une répartition égale sur chaque roue. Mais si l'une des roues manque d'adhérence, pour cause de terrain boueux ou enneigé, elle tourne à vide et l'autre est à l'arrêt. Le véhicule reste définitivement immobilisé.

Ces situations sont rares en usage courant, mais elles sont fréquentes chez les forestiers ou autres usagers de véhicules de secours, les pompiers par exemple.

Des techniciens ont affronté ces questions et ont proposé diverses solutions qui empêchent la fuite du couple.



Le différentiel à glissement limité

Le principe directeur consiste à disposer, à chaque sortie, un embrayage plaqué contre le boîtier par une rondelle élastique.

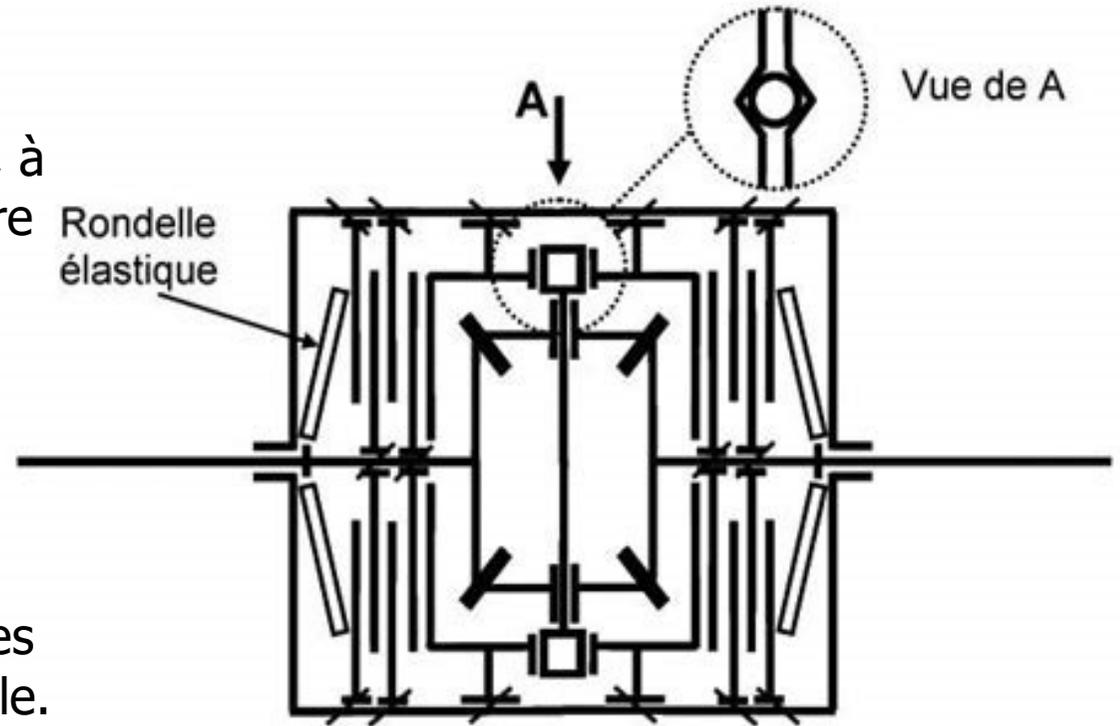
À l'arrêt, l'effet différentiel est bloqué.

Pour libérer partiellement la liberté de rotation, on utilise la force de séparation induite par les réactions entre les dents des engrenages lors de l'application d'un couple.

Cette force comprime la rondelle élastique et réduit le serrage proportionnellement à l'intensité du couple.

Si une roue offre moins de résistance, la libération de son côté sera réduite et la répartition du couple privilégiera la roue la plus chargée.

En absence totale d'appui sur une roue, elle sera déchargée totalement et tout le couple disponible sera affecté à la roue porteuse.



Les différentiels de type TORSEN

Plusieurs systèmes plus ou moins sophistiqués ont été proposés, le plus répandu est connu sous l'appellation Torsen.

Entre autres caractéristiques, il offre la possibilité de répartir le couple avec un taux différent entre chaque sortie.

Cette possibilité est très appréciée pour le différentiel central des 4/4 à traction intégrale qui peut transmettre plus de couple vers l'essieu privilégié.

Grâce à des logiciels spécialisés, il est possible, sur certains véhicules, de partager le couple disponible pour le distribuer vers les roues ayant la meilleure adhérence, même s'il n'y en a qu'une !

Sans véritable intérêt sur un véhicule de tourisme, ces coûteuses installations sont réservées aux sportifs de haut niveau.



Les premières boîtes à vitesses.

Dans l'historique des boîtes à vitesses, on sera amené à revenir à plusieurs reprises sur l'emploi des trains épicycloïdaux.

Un train épicycloïdal est un dispositif de transmission mécanique qui a la particularité d'avoir 2 degrés de mobilité,

C'est-à-dire qu'il associe 3 arbres ayant des vitesses de rotation différentes avec une seule relation mathématique:

il faut fixer les vitesses de 2 des arbres pour connaître celle du 3^{ème}



La boîte à 2 vitesses de la Ford T

s'est particulièrement illustrée pendant 20 ans.

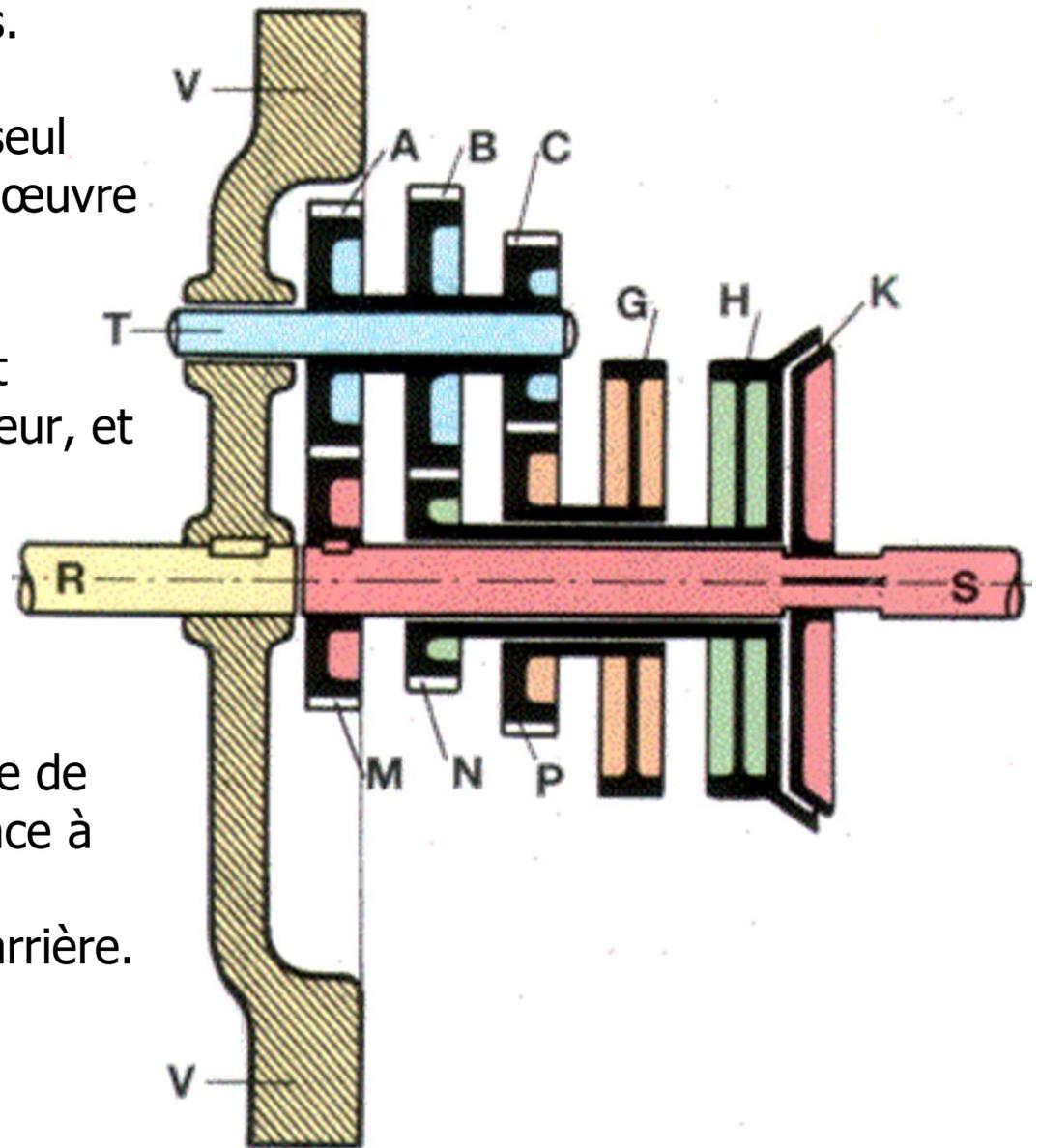
Dépourvue d'embrayage, elle comprenait un seul train, dit épicycloïdal, avec 3 satellites mis en œuvre à tour de rôle par une simple pédale.

Le poste de conduite de la Ford T comprenait 3 pédales au sol, un levier à côté du conducteur, et 2 manettes au volant.

Les 2 positions de la pédale de gauche commandaient les 2 vitesses.

L'accélération était contrôlée par la manette de droite au volant, celle de gauche réglait l'avance à l'allumage.

La pédale centrale servait pour la marche arrière.
Le levier mettait la boîte au point mort.
La pédale de droite commandait un frein à bande sur la transmission.

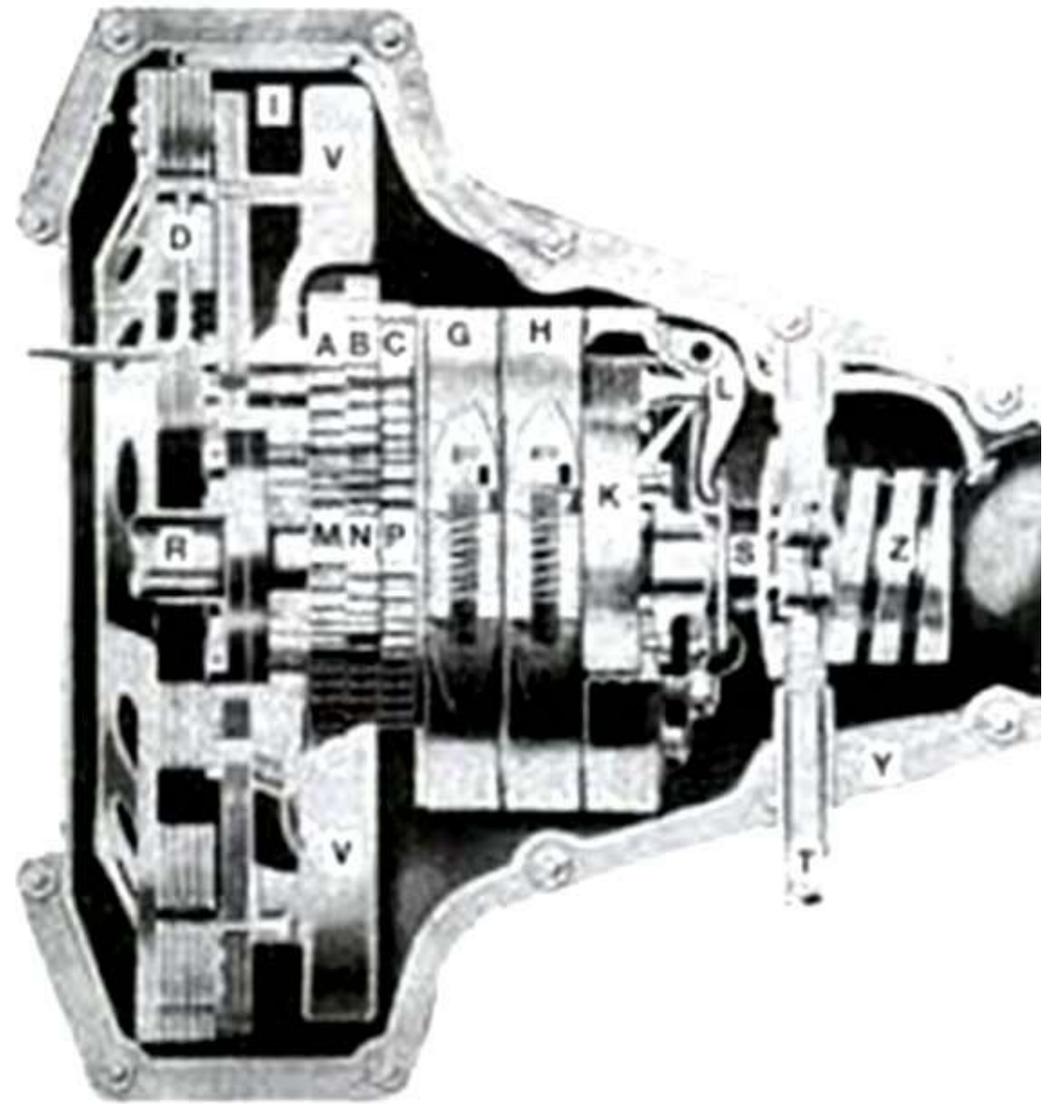


Après mise en route du moteur, le plus souvent à la manivelle, il suffisait d'appuyer sur la pédale pour exercer le freinage d'un des satellites qui assurait un démarrage progressif en fonction de la pression exercée.

Ce satellite donnait la vitesse courte utilisable à faible vitesse ou sur des rampes fortes.

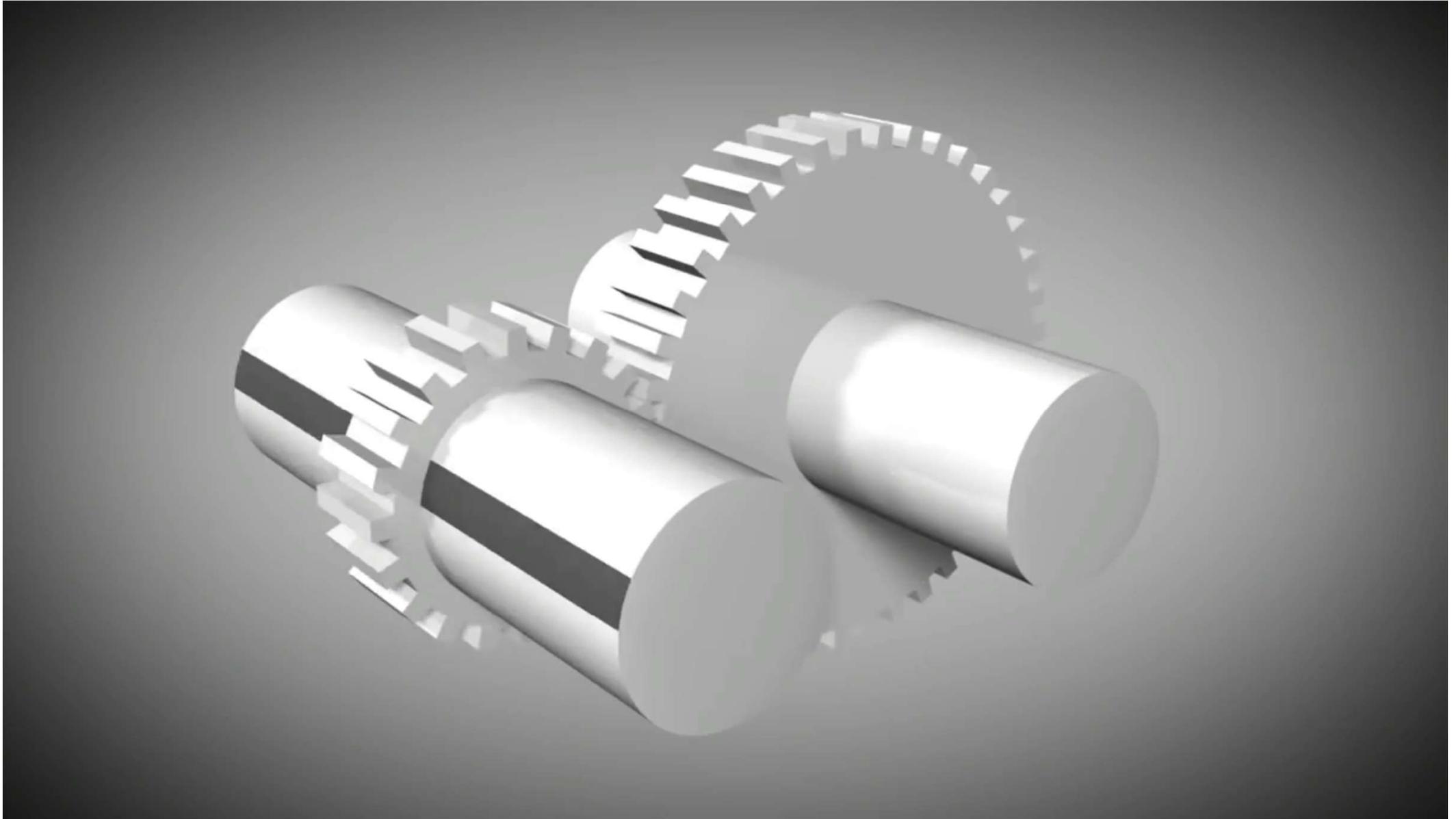
En relâchant la pédale, on bloquait l'autre satellite planétaire et on passait à la vitesse de croisière.

Le levier faisait remonter la pédale ce qui mettait la boîte au point mort.



Associée à un assez gros moteur de 3 litres de cylindrée, la conduite du véhicule ne nécessitait aucun apprentissage.

Comment marche une boîte à vitesses



C'est en 1898 qu'un jeune artisan français,
Louis Renault,
eut une vision géniale.

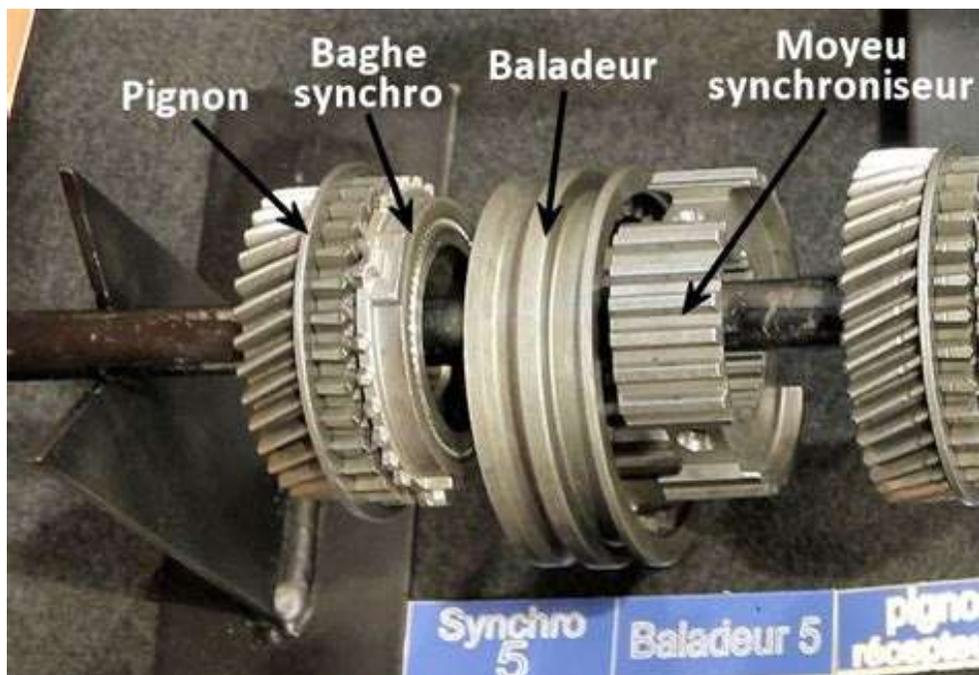
Comme on désirait 3 rapports de vitesses :
R1, R2 et R3,

il choisit de fixer $R3 = 1$.

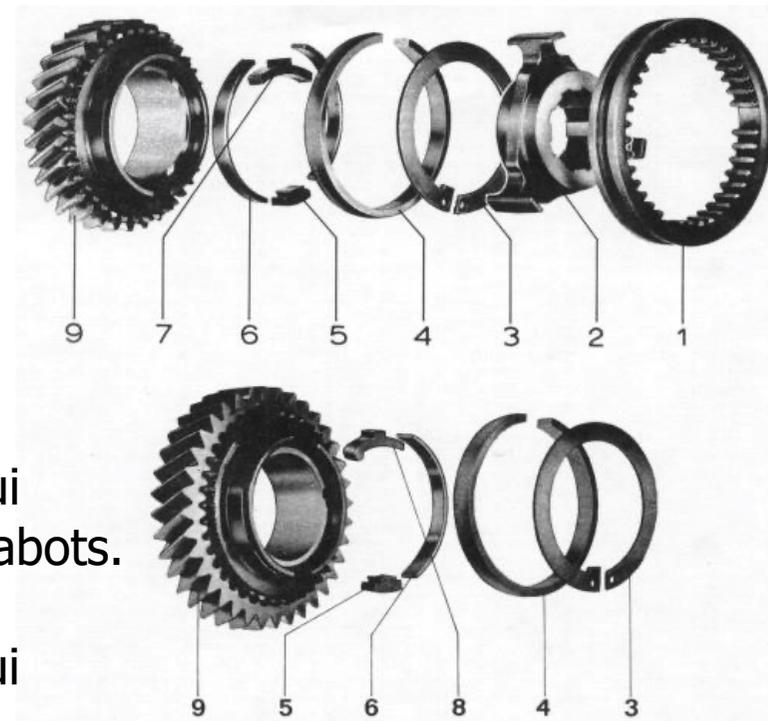


La boîte à 3 vitesses à "prise directe" était née pour le siècle à venir.

Les boîtes à crabots synchronisées



Les baladeurs peuvent être équipés d'un dispositif de synchronisation qui comprend un alésage aménagé dans le pignon, précédé d'une entrée conique.



À l'extrémité du baladeur est inclus un élément élastique qui frotte dans le cône d'entrée et prépare l'introduction des crabots. Le synchroniseur qui est devenu universel a été créé par **Porsche** et comprend de simples anneaux genre *circlips* qui assurent la friction dans l'entrée du pignon.

Aujourd'hui, toutes les boîtes à vitesses sont synchronisées.

La plupart des voitures européennes, jusqu'aux années 50/60, avaient des boîtes à 3 vitesses: Traction avant, 4 CV Renault, Peugeot 201, même les Ford Versailles et Cie

Boîtes à vitesses *séquentielles*

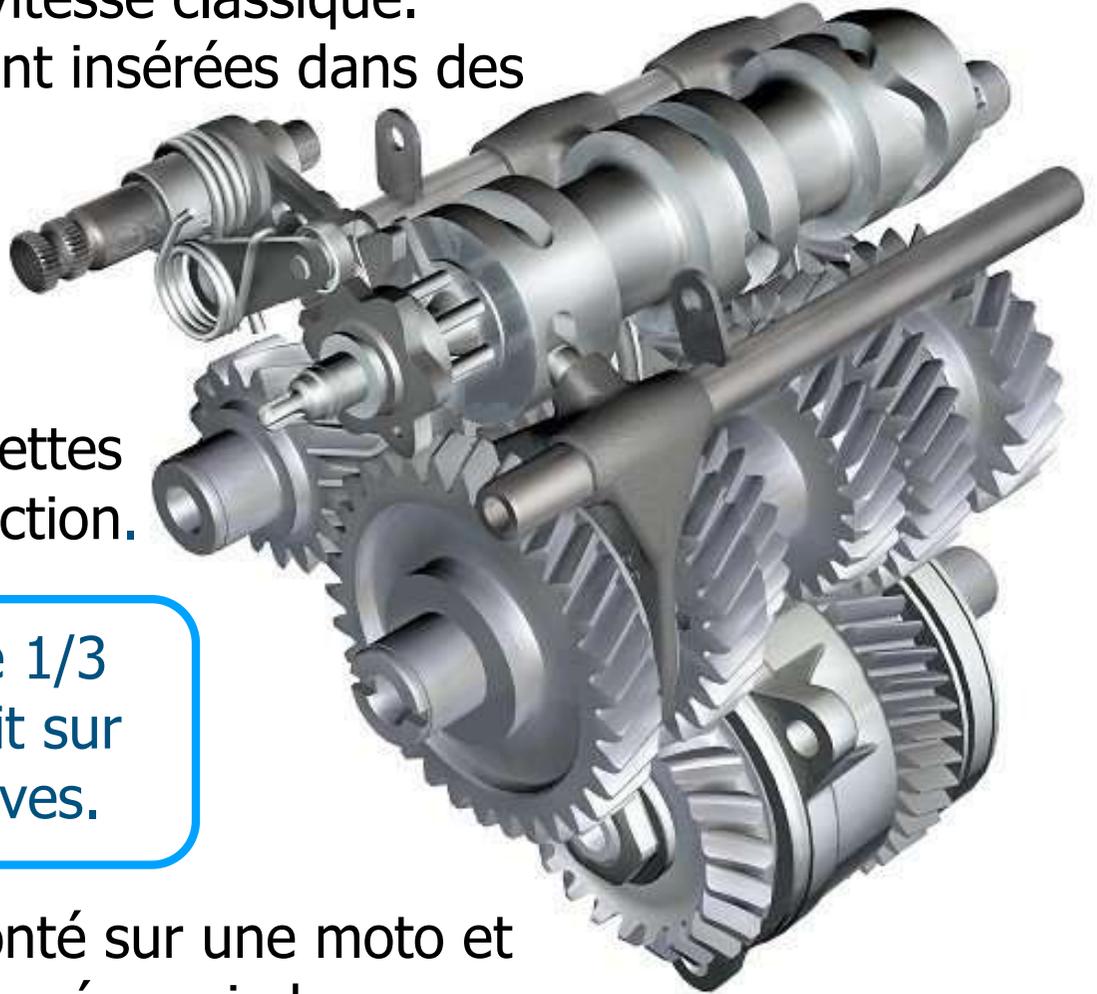
Elles sont dépourvues de levier de vitesse classique. Les fourchettes liées aux crabots sont insérées dans des rainures taillées à la périphérie d'un cylindre de sélection.

Le développement sur 360° des rainures comprend un Zigzag assurant 2 allers-retours des fourchettes correspondant à 2 rapports de réduction.

Sur une boîte à 6 vitesses, chaque 1/3 de tour du cylindre de sélection agit sur 2 vitesses obligatoirement successives.

C'est un dispositif généralement monté sur une moto et commandé par un sélecteur manœuvré au pied, ou sur une voiture de rallye avec un levier unique.

Chaque action provoque un changement de rapport, montant ou descendant, suivant le sens, et peut se faire sans utiliser l'embrayage.



Des boîtes originales :

La Boîte présélective WILSON

Pendant la première guerre mondiale, le gouvernement du Royaume Uni avait demandé au major Walter G. Wilson, d'étudier une boîte de vitesses destinée aux véhicules militaires, et en particulier aux blindés dont les moteurs, souvent d'origine aéronautique, augmentaient en puissance.

Ce matériel, obligatoirement très fiable, ne devait pas impliquer un maniement trop compliqué de la part de son utilisateur.

Probablement inspirée de la boîte de la Ford T encore en production, elle faisait appel à plusieurs trains épicycloïdeaux qui offraient 4 vitesses et une marche arrière.



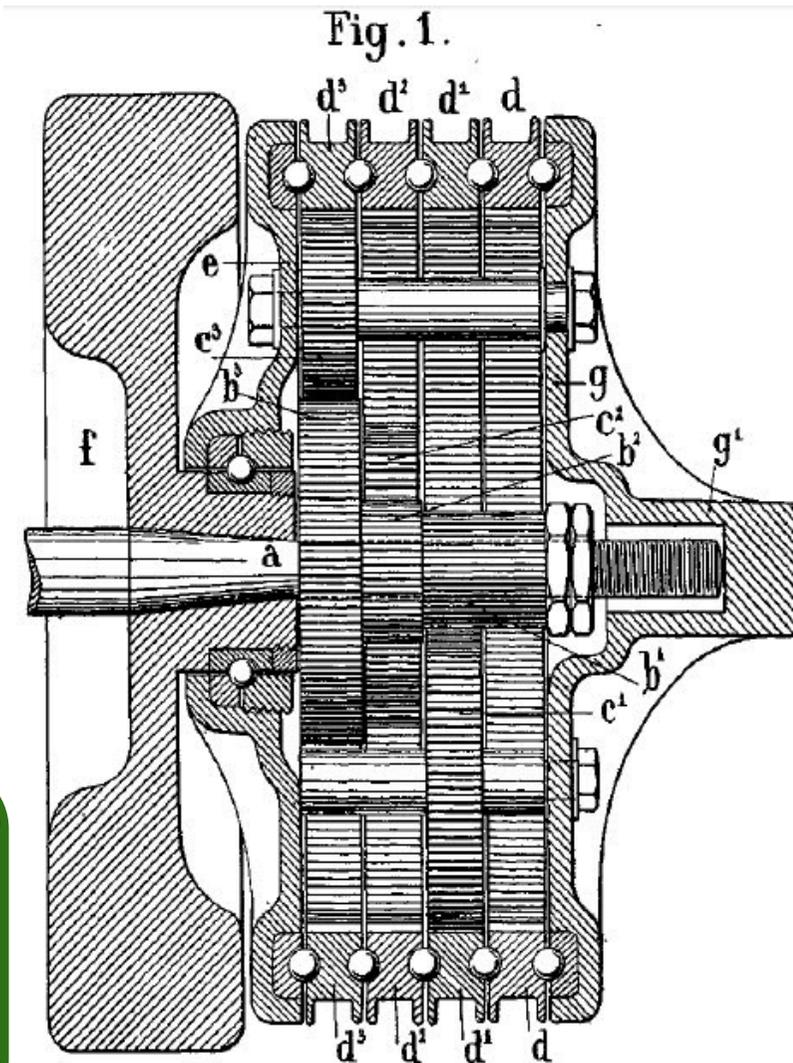
L'arbre d'entrée de boîte porte les 4 planétaires intérieurs plus un autre planétaire associé au train inverseur permettant la marche arrière.

Les 4 planétaires extérieurs sont libres dans le carter, mais peuvent être bloqués grâce à des vérins hydrauliques alimentés depuis une pompe intégrée.

Leur combinaison permet d'engager une des 4 vitesses.

Pour changer de vitesse, le conducteur **prépare** l'engagement de la prochaine, mais le changement ne se fera qu'après l'appui sur l'embrayage, sans avoir à lâcher le volant.

Le schéma ne représente que le principe des boîtes à trains épicycloïdaux multiples. Ici, on trouve 4 vitesses, la marche arrière doit être réalisée par un train supplémentaire inverseur, disposé à la sortie.



La conduite sans obligation d'abandonner le volant pour changer de vitesse a contribué au succès de la boîte Wilson.



Après la guerre, elle fut employée sur différents véhicules civils : voitures particulières haut-de-gamme, poids lourds, jusqu'au milieu des années 50.

Elle équipe aussi les fameux autobus anglais à étage (*doubledeckers*).

À partir de 1928, on la trouve sur certains modèles d'autos Armstrong-Siddeley.

Elle a été graduellement adoptée, sous licence, par différents constructeurs de voitures de sport, Daimler, Delahaye, Talbot, Aston-Martin, Riley, etc.



La Boîte “COTAL”

Comme la boîte WILSON, la boîte COTAL fait appel à des trains d'engrenages épicycloïdeaux qui offrent 4 vitesses et une marche arrière.

La sélection des vitesses ne se fait pas par des freins à commande hydraulique, mais par des actionneurs électriques.

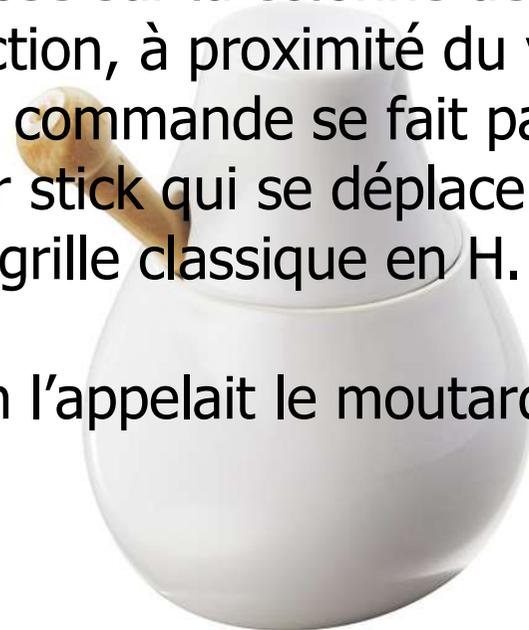
Très similaire à sa concurrente, mais sans possibilité de présélection, la boîte COTAL était très lourde et très chère.

Sans attirer les sportifs, elle était installée sur les grosses berlines de luxe, Panhard, Voisin, Delahaye ou Hotchkiss.



Un mini boîtier électrique est disposé sur la colonne de direction, à proximité du volant et la commande se fait par un léger stick qui se déplace dans une grille classique en H.

On l'appelait le moutardier.



LE MONDE DES AUTOMOBILES AMÉRICAINES

Les USA sont rapidement devenus les 1ers producteurs mondiaux d'automobiles. Leur marché, essentiellement intérieur, a toujours été organisé sur deux paramètres prépondérants, l'*espace* et le *pétrole*.

Sans passé médiéval, le développement urbain a toujours tiré profit de l'étendue du territoire, et la part dévolue à l'automobile y a toujours été privilégiée.

Le pétrole, abondant et très bon marché, a poussé les constructeurs vers des modèles de grand gabarit, propulsés par de gros moteurs générateurs de couples toujours surabondants.

De ce fait, la technologie est restée basée sur un modèle typique.



À de rares exceptions près, les moteurs américains étaient:

- **à soupapes latérales,**
- **de cylindrée comprise entre 2 et 4 litres,**
- **montés longitudinalement dans un châssis type échelle avec pont arrière rigide.**

La transmission faisait appel à :

- **un embrayage mono disque et à**
- **une boîte à 3 vitesses, avec 2ème et 3ème synchronisées.**



De l'incontournable pick up à la lourde berline en passant par de luxueux cabriolets, la plateforme restait standard.

Mais les constructeurs américains avaient cherché à faciliter la conduite des modèles haut de gamme en automatisant tous les processus dès le démarrage et en s'adaptant aux divers aléas du déplacement.



Ford V8 Convertible Cabriolet 1935

Le convertisseur de couple

En 1877, l'Amirauté avait chargé l'ingénieur William Froude de mettre au point un frein dynamométrique capable de mesurer la puissance des plus gros moteurs de marine du moment.

C'est ainsi que Froude produisit le premier frein hydrodynamique, dont l'emploi s'est généralisé et a donné l'expression "**puissance au frein**".

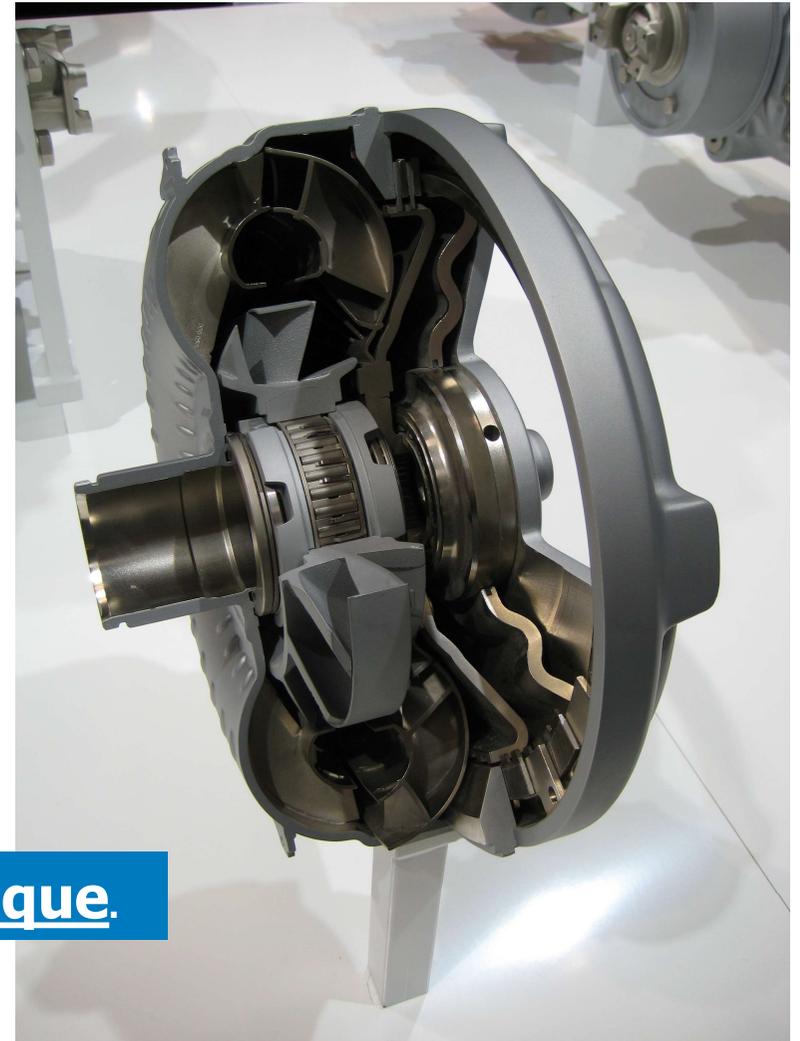
En 1905, l'ingénieur allemand Hermann Föttinger a déposé un brevet d'embrayage fluide.

Dans un second brevet, en 1915, il a proposé une version plus compacte, cette fois très proche des convertisseurs produits en série depuis 1948.

Le convertisseur est constitué:

- ❖ d'une turbine émettrice reliée en prise directe au vilebrequin du moteur,
- ❖ d'une turbine réceptrice reliée à l'arbre d'entrée de la boîte de vitesses, et
- ❖ d'un stator.

Il équivaut à un variateur de vitesse mécanique.



LES PREMIÈRES BOÎTES AUTOMATIQUES

Le convertisseur de couple peut remplacer un embrayage mécanique, en permettant à la charge d'être isolée de la source de puissance, et peut aussi réaliser une augmentation du couple quand les vitesses de rotation d'entrée et de sortie sont **différentes**.

La boîte **Dynaflow** était une transmission automatique utilisée sous diverses formes, notamment pour les voitures **Buick** produites par la **General Motors Corporation** de 1947 à 1963.



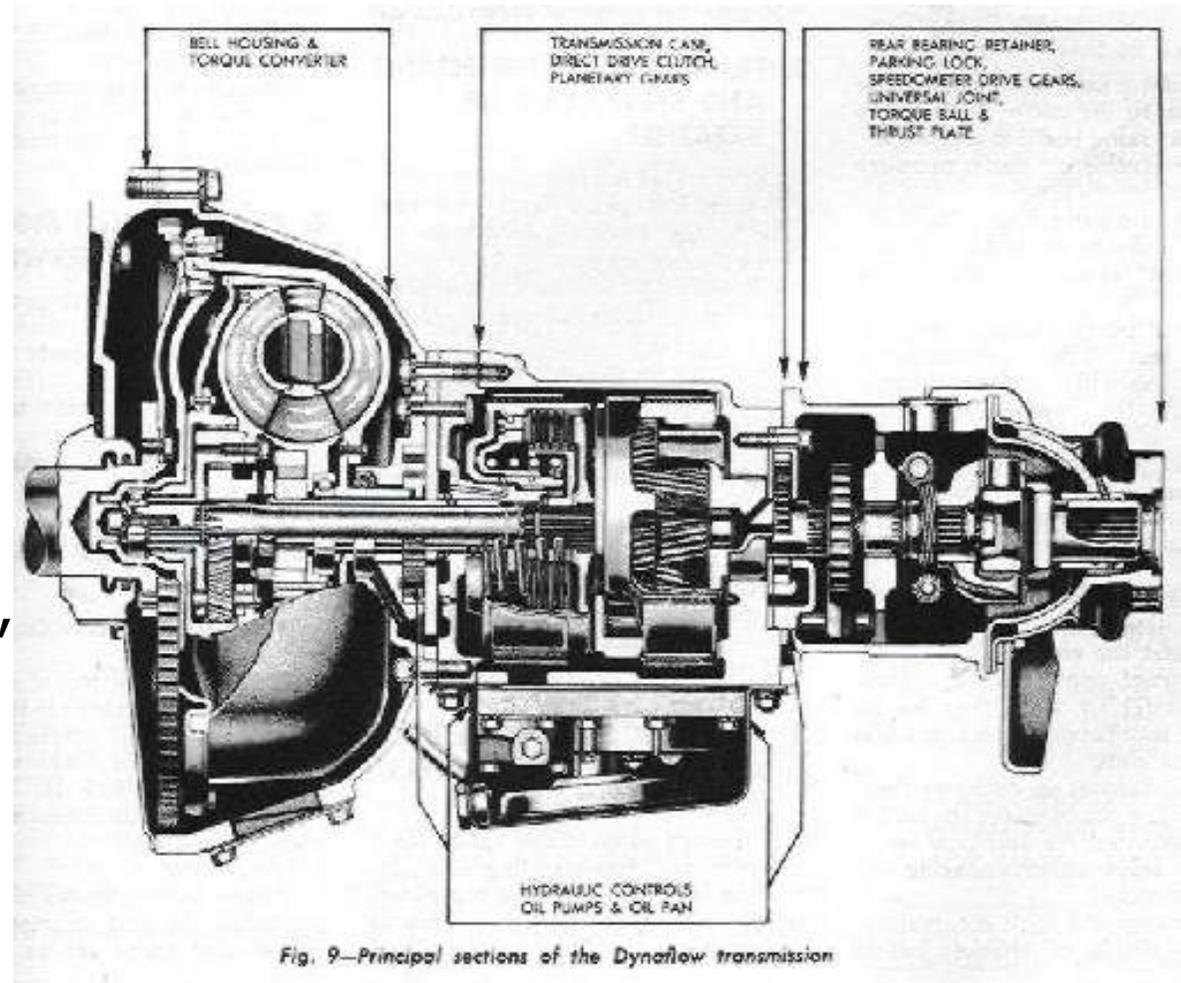
La boîte Dynaflow

La transmission utilisait initialement un convertisseur de couple à cinq éléments, avec deux turbines et deux stators, ainsi qu'un engrenage planétaire qui fournissait **deux vitesses avant** plus la marche arrière.

En conduite normale, la Dynaflow démarre en s'appuyant sur la multiplication par 3 du couple moteur grâce au convertisseur, pour accélérer le véhicule.

Le rapport bas, obtenu via le train planétaire, pouvait être maintenu jusqu'à environ 97 km/h (60 mph), améliorant ainsi l'accélération.

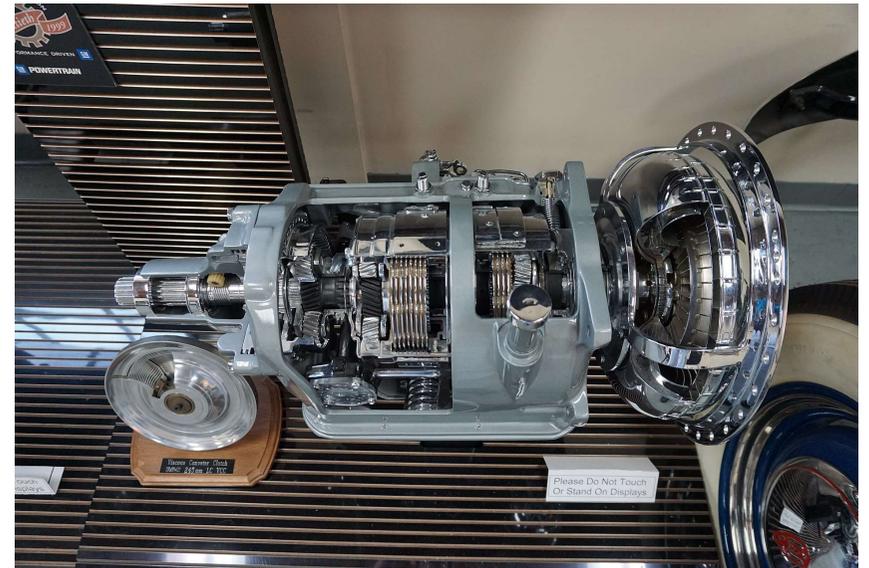
Le rapport haut était celui de croisière.

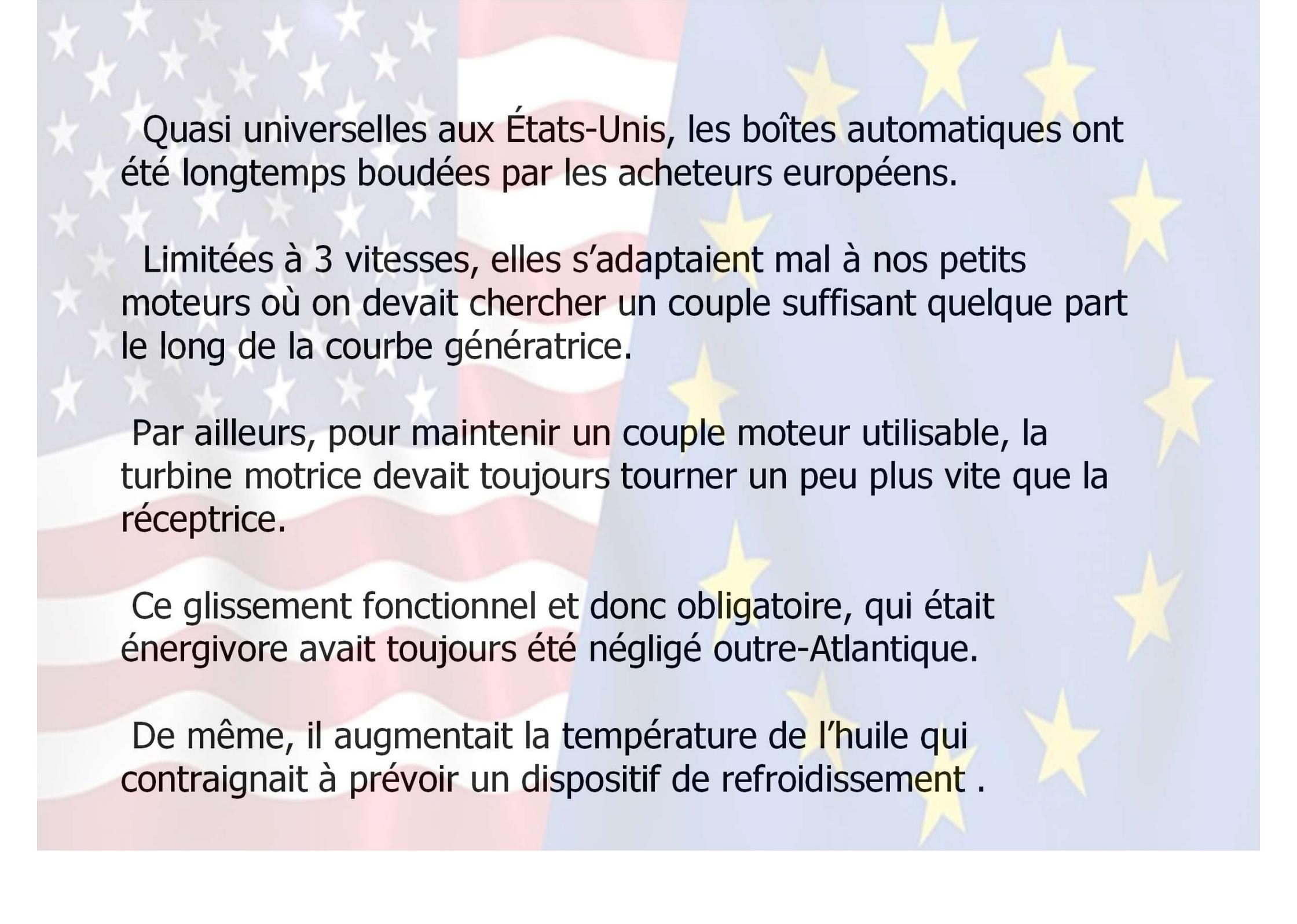


La boîte Hydra-Matic Drive

C'est également le Groupe General Motors qui a présenté la première voiture équipée d'une boîte automatique à **3 vitesses**, une **Oldsmobile** de 1940 qui fut équipée de cette transmission.

Cette boîte comprenait un train épicycloïdal qui donnait 2 vitesses en permutant alternativement les connexions entre les planétaires et le porte-satellites, puis la 3ème par la prise directe.





Quasi universelles aux États-Unis, les boîtes automatiques ont été longtemps boudées par les acheteurs européens.

Limitées à 3 vitesses, elles s'adaptait mal à nos petits moteurs où on devait chercher un couple suffisant quelque part le long de la courbe génératrice.

Par ailleurs, pour maintenir un couple moteur utilisable, la turbine motrice devait toujours tourner un peu plus vite que la réceptrice.

Ce glissement fonctionnel et donc obligatoire, qui était énergivore avait toujours été négligé outre-Atlantique.

De même, il augmentait la température de l'huile qui contraignait à prévoir un dispositif de refroidissement .

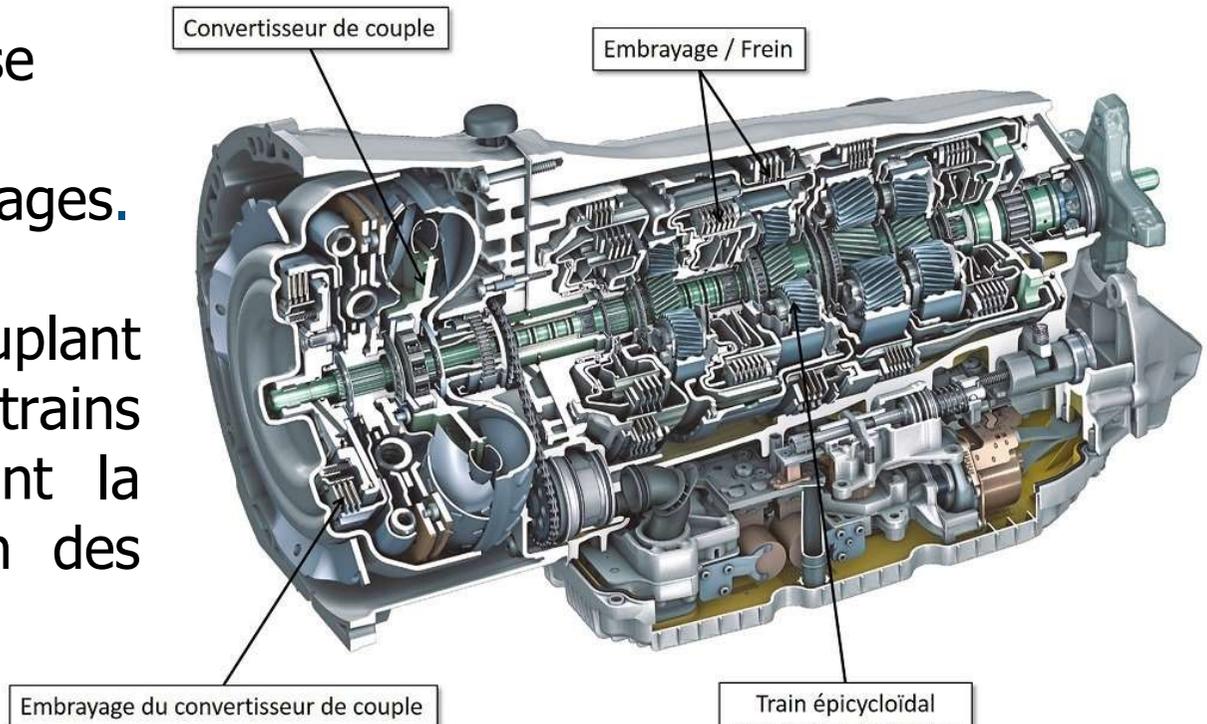
Il en résultait aussi que ces voitures qui consommaient plus avaient une vitesse de pointe inférieure à leurs concurrentes à boîte manuelle, une caractéristique de choix qui resta très longtemps un paramètre prépondérant chez nous.

Un perfectionnement radical a supprimé ce défaut en installant un embrayage qui annulait le glissement perturbateur en régime de croisière.

Avec la multiplication des rapports de vitesse, une boîte automatique qui compte désormais plusieurs trains épicycloïdaux, est devenue fréquentable sous nos latitudes.

Les différents rapports de vitesse sont créés par la fermeture ou l'ouverture de multiples embrayages.

Ceux-ci agissent, soit en couplant deux éléments des différents trains épicycloïdaux, soit en stoppant la rotation d'un élément de l'un des trains.



Mais ces organes sont devenus très compliqués et difficiles à inclure dans les ateliers de la plupart des constructeurs.

Certains équipementiers se sont spécialisés dans ces productions et équipent des modèles qui sont restés longtemps minoritaires.

Le groupe japonais AISIN SEIKI est le fournisseur attitré de Renault, Volvo, Opel, Toyota ou encore PSA.

BMW est fourni par l'équipementier automobile allemand ZF.

Mercédès reste le seul à réaliser ses propres transmissions automatiques.

Le Kick-down

La circulation peut présenter des circonstances imprévues qui nécessitent une action immédiate.

Le plus souvent, face à une situation dangereuse, le réflexe immédiat consiste à freiner, avec plus ou moins d'intensité suivant le besoin.

Mais les distances d'arrêt sont variables, bien que nettement améliorées avec le montage de pneumatiques de plus en plus performants.

Dans certains cas particuliers, un conducteur averti réalisera que son meilleur freinage ne pourra pas arrêter son véhicule avant de stopper sur le lieu dangereux.

Grâce à sa boîte automatique, il a une fraction de seconde pour inverser son action.

En appuyant l'accélérateur à fond, il donne au moteur l'ordre de rechercher le couple maximal possible.

En fin de course, la pédale appuie sur un bouton qui demande à la boîte de se mettre dans un rapport adapté au régime moteur correspondant.

Le logiciel de la boîte de vitesses automatique remonte considérablement les vitesses, jusqu'à 2 ou 3 positions, afin d'adapter le moteur à la nouvelle dynamique de conduite

Le "kickdown" existe depuis les premières boîtes auto à 3 vitesses qui passaient alors au rapport court.

Les boîtes CVT à variation continue

Continuously Variable Transmission

Ce genre de transmission a été très généralement utilisé sur les cyclomoteurs les plus évolués, Mobylette, Peugeot 105, etc...



Le fabricant néerlandais Daf a produit des automobiles entre 1958 et 1975.

Ces petites voitures populaires se remarquaient par leur petite taille et par leur système de transmission, le **Variomatic**, un variateur à courroie qui réunissait deux jeux de poulies à géométrie adaptable.



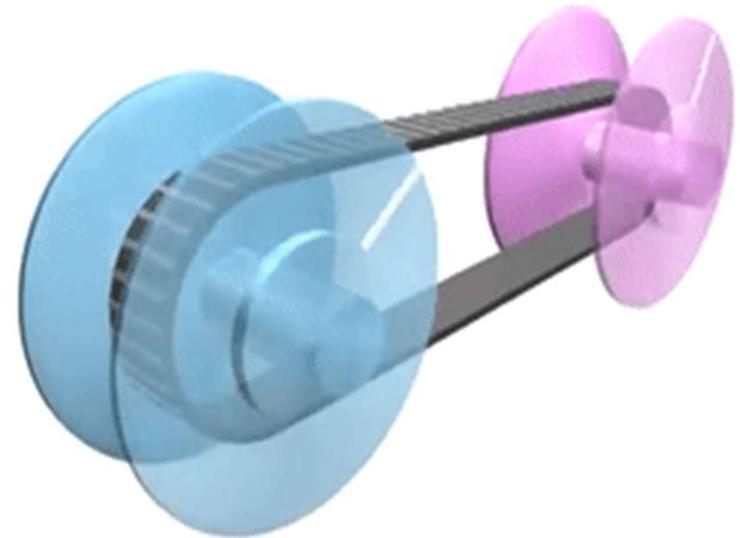
Le **Variomatic** était un dispositif repris pour les **CVT** à diamètre de poulie variable qui consiste en un arbre menant et un arbre mené, dont chacun dispose d'une poulie emmanchée sur l'axe.

Chaque poulie comprend deux galets coniques qui se font face.

Une chaîne métallique est tendue dans la rainure en V entre les deux galets coniques de chaque poulie.

La chaîne est composée de centaines d'éléments en acier spécial assemblés. Cette conception rend la chaîne souple et en même temps suffisamment forte pour transmettre le couple.

L'écartement des poulies, commandé pour la motrice et associé par un ressort sur la réceptrice fait varier le rapport de réduction.





Nissan Micra



Honda Jazz



Toyota Avensis

Un exemple de boîte
CVT à courroie



Quelques voitures
avec boîte CVT



Mercedes A



Mini Cooper



Dacia Steepway

Les Transmissions Automatiques Populaires

L'agrément offert par une **transmission automatique** a incité les constructeurs à imaginer des dispositifs moins lourds et moins coûteux que les boîtes classiques pour attirer des acheteurs qui pourraient apprécier le confort de conduite ainsi procuré.

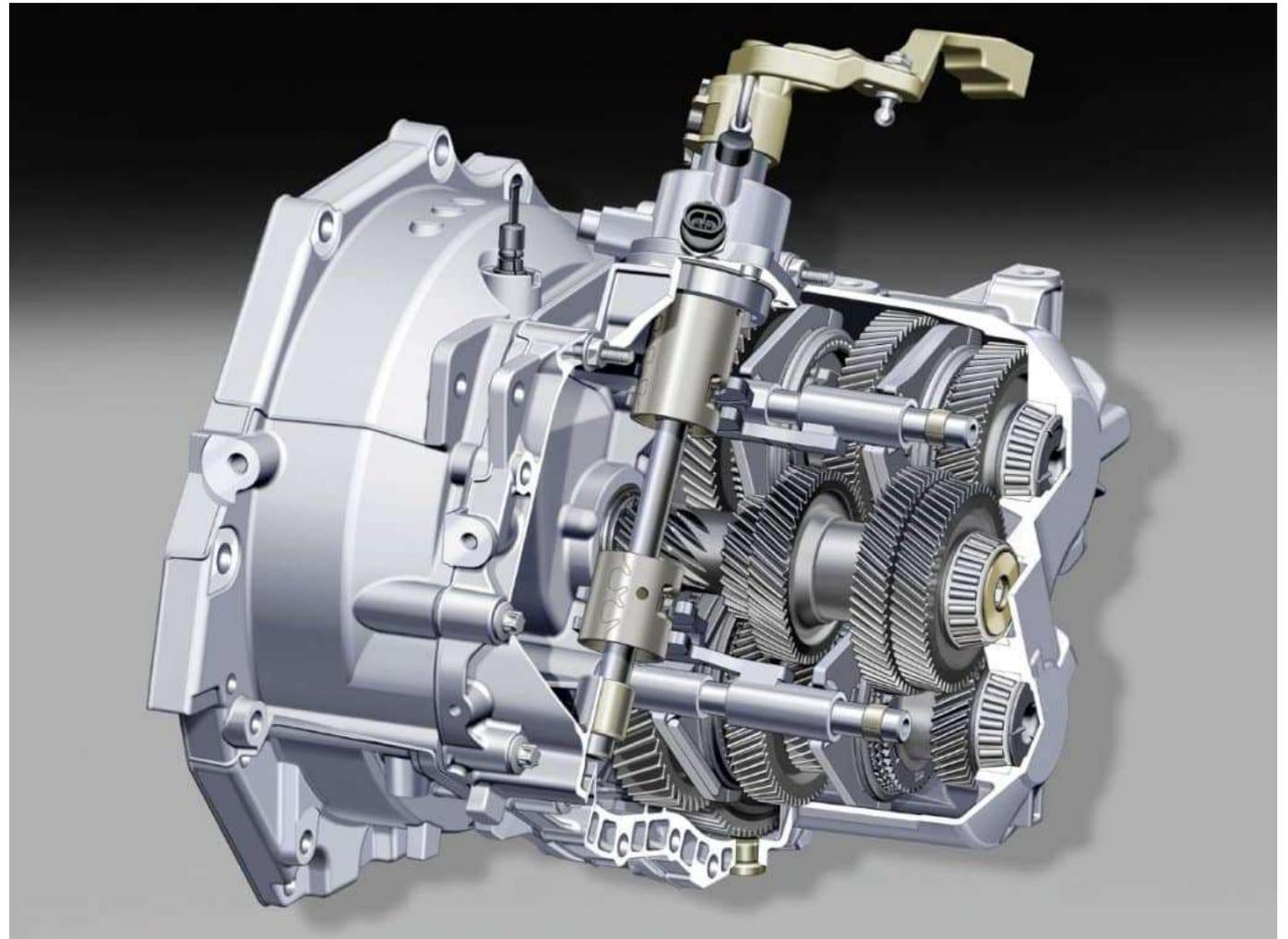
L'installation d'un ordinateur, déjà prévu pour la gestion optimisée des moteurs, a conduit à la notion de boîte robotisée.

Les 6 mouvements obligatoires pour un changement de vitesse sont :

- 1 - Couper l'accélérateur
- 2 - Débrayer
- 3 - Dégager la fourchette actuelle
- 4 - Engager la nouvelle fourchette
- 5 - Embrayer
- 6 - Accélérer

Ces actions peuvent être réalisées par des actionneurs électromagnétiques commandés par l'ordinateur de bord qui analyse tous les paramètres, la vitesse de roulage, la position de l'accélérateur, le couple délivré par le moteur et peut donc décider de procéder au changement de rapport approprié.

Une boîte de vitesses robotisée est une boîte mécanique ordinaire à engrenages parallèles sur laquelle est greffé un système automatisé électrotechnique qui pilote les fourchettes de sélection ainsi que l'embrayage, sous les ordres de l'ordinateur installé.



C'est en 2002 que PSA présenta les premières boîtes robotisées.

D'abord sur les citadines C2 et C3, sous l'appellation *Sensodrive* pour Citroën, ou *2-Tronic* pour la Peugeot 106. Elle évolue ensuite en boîte de vitesses mécanique dite "*pilotée*" à 5 et 6 rapports pour les gammes supérieures et devient disponible sur de nombreux autres modèles PSA.



Très bon marché, elles se sont très vite généralisées dans les gammes basses et moyennes chez tous les constructeurs européens.

Bien que presque comparables aux modèles normaux, elles ne profitent pas du confort apporté par un convertisseur de couple.

Le démarrage est paresseux et les changements doivent souvent être assistés par des palettes au volant.

Les boîtes à double embrayage

Raymond Devos, et son sketch sur les tournures d'expressions autour de "*rien*", avec : "*presque rien*", "*moins que rien*", etc ...
a-t-il participé à une des victoires de Porsche aux 24 heures du Mans ?
Allez-savoir !

Ce que l'on sait, c'est qu'à Zuffenhausen, quelques têtes pensantes du service des courses ont cherché à passer de *presque rien* à *moins que rien*.
Elles ont repris le schéma d'un changement de vitesse exprimé lors de l'étude des boîtes robotisées, soit :

- 1 - Couper l'accélérateur
- 2 - Débrayer
- 3 - Dégager la fourchette actuelle
- 4 - Engager la nouvelle fourchette
- 5 - Embrayer
- 6 - Accélérer

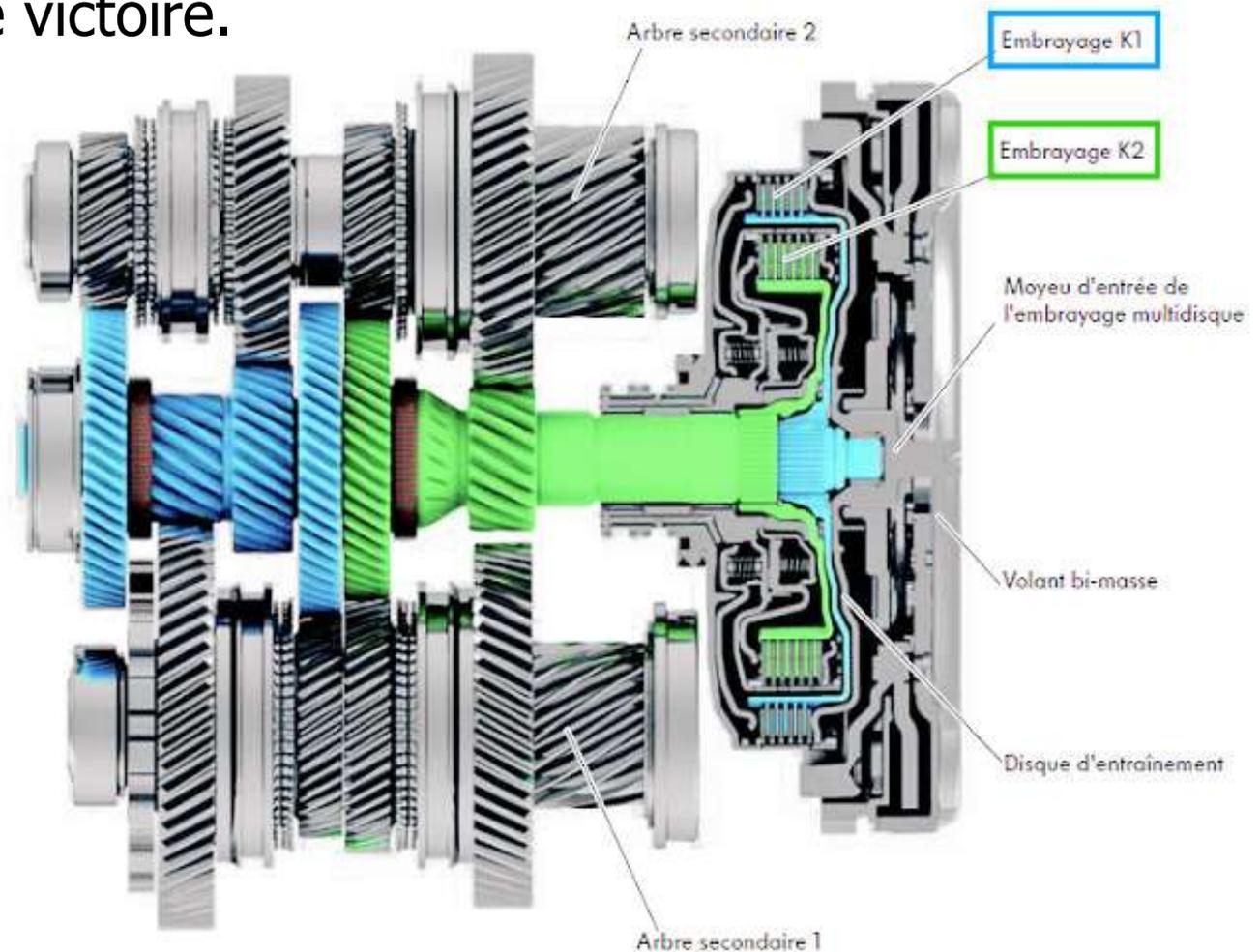
On en déduit qu'entre le point 1 et le point 6, la voiture est privée de puissance et perd ainsi quelques millisecondes.

Cette perte est tout à fait négligeables en tourisme.

Mais, malgré l'habileté des pilotes de course, les milliers de changements de vitesses en 24 heures vont cumuler des minutes qui peuvent faire ou défaire une victoire.

On demanda aux ingénieurs mécaniciens d'inventer un dispositif pour limiter ces pertes de temps.

De ces études émergea la fameuse boîte à double embrayage.



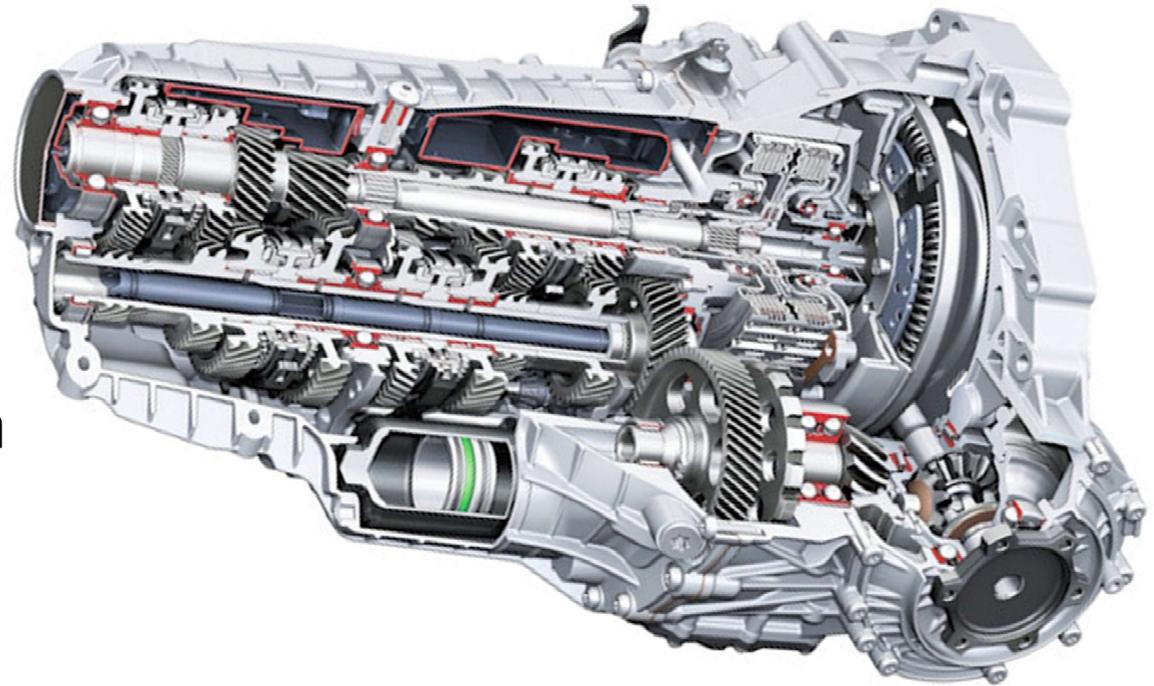
Elle comprend deux demi-boîtes à engrenages parallèles robotisées. La première délivre les vitesses impaires, 1, 3, 5 et 7. La deuxième se charge des paires, 2, 4, 6, plus la marche arrière. Chacune est entraînée par un embrayage indépendant.

Exemple :

On est sur la boîte n°1, en 3ème et en pleine accélération.

Les actionneurs engagent la 4ème sur la boîte n°2 qui est débrayée, mais il ne se passe encore rien.

Au régime moteur adéquat, l'ordinateur inverse simultanément les deux embrayages, et le passage se fait sans coupure d'accélération, donc sans ralentissement inopportun.



On peut aussi rétrograder dans les mêmes conditions.

En revanche, un changement de rapport ne peut se faire qu'entre des vitesses de parités différentes.

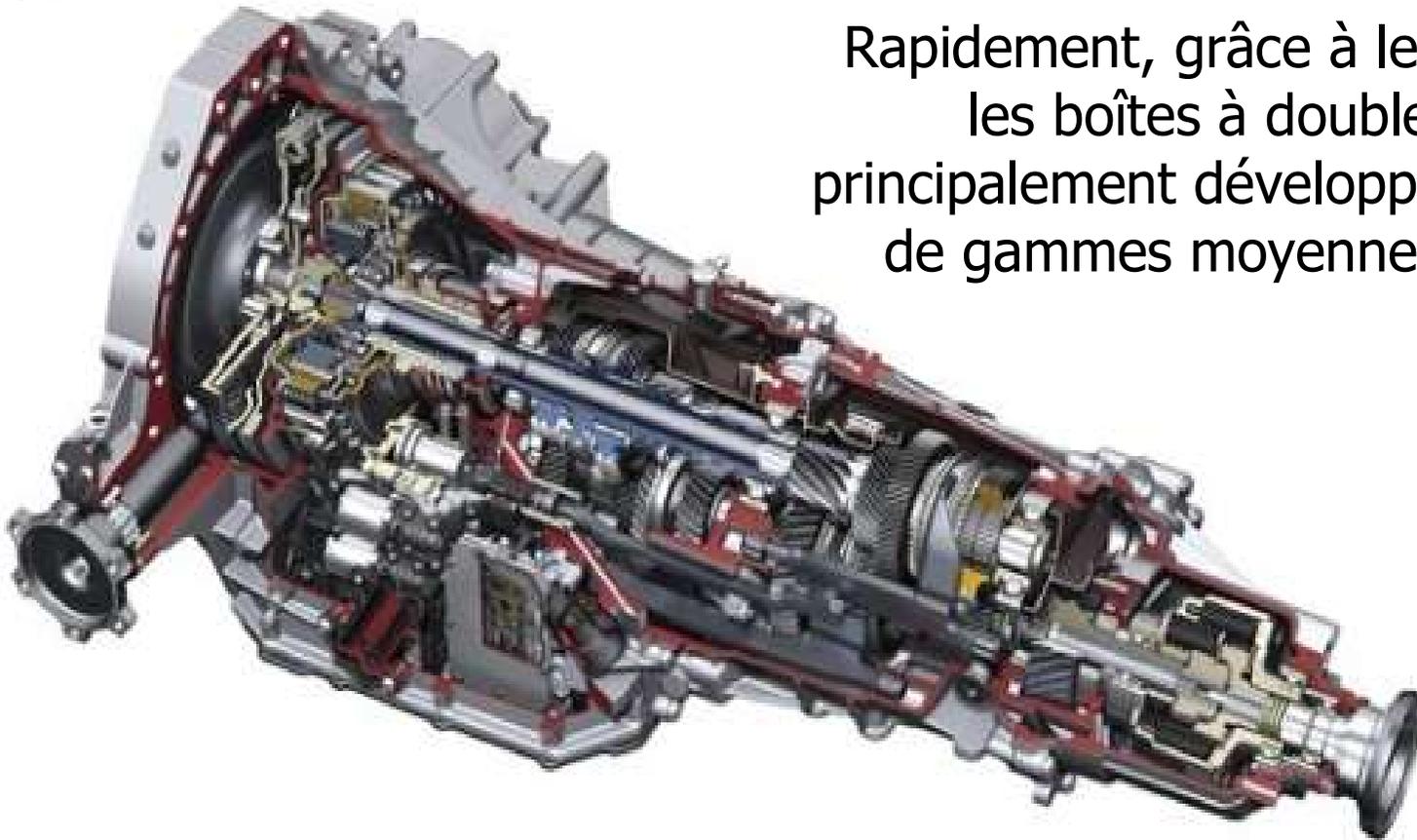
Audi S tronic 7-Gang

Audi S tronic 7 speed

03/08



Rapidement, grâce à leur faible coût relatif, les boîtes à double embrayage se sont principalement développées, sur les modèles de gammes moyenne ou moyenne/haute.



Porsche dépendant du groupe Volkswagen,
un modèle de la gamme Audi en a été équipé en 2008.

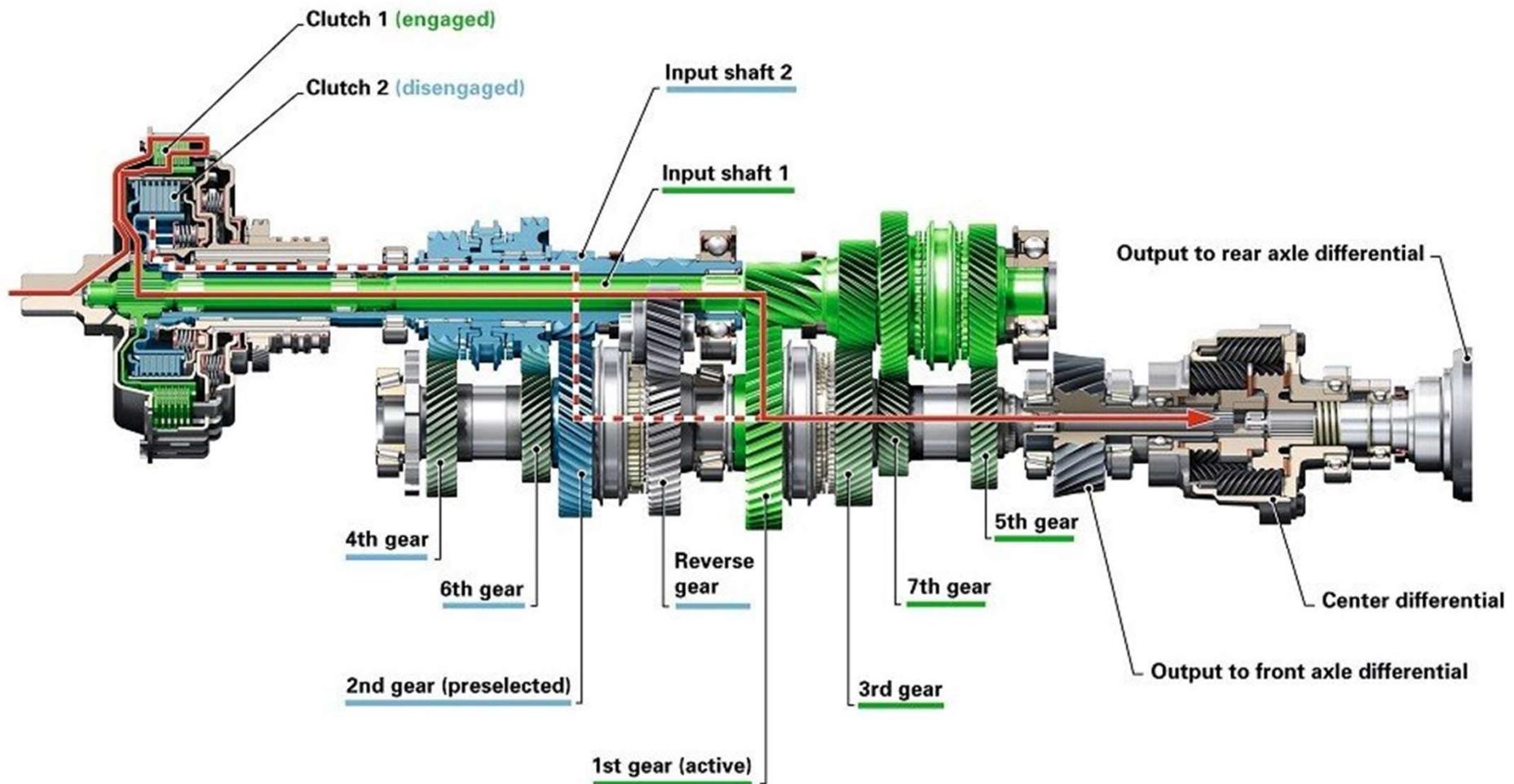


De gros problèmes de développement, dus à la difficile mise au point des commandes d'embrayages, ont donné beaucoup de soucis et une première image de fragilité.

Volkswagen, a rapidement traité et résolu ce problème qui a encore longtemps préoccupé les autres constructeurs.

Aujourd'hui, les boîtes à double embrayage sont massivement distribuées et ont, indirectement, participé aux évolutions des boîtes automatiques classiques, qui disposent toujours d'un convertisseur de couple, avec un nombre de rapports qui atteint 9 chez certains constructeurs.





Malgré leur réputation de *boîte automatique du pauvre*, les boîtes à double embrayage ont pris du galon, à l'image de celle montrée ci-dessus destinée à un véhicule 4/4 à traction intégrale.

Dans cette application, la transmission vers les roues motrices doit se faire obligatoirement avec 3 différentiels, un sur chaque essieu et un autre, en sortie de boîte, qui répartit le couple entre l'essieu avant et l'essieu arrière.

On rappelle qu'en virage, l'essieu avant fait plus de chemin que l'arrière et sans ce différentiel central, il est impossible de rouler sur une route revêtue.

Les voitures 4/4 occasionnelles ne peuvent utiliser cette fonction que sur terrain boueux, sableux ou enneigé.

Tous les constructeurs ont tenu à offrir des modèles à traction intégrale.



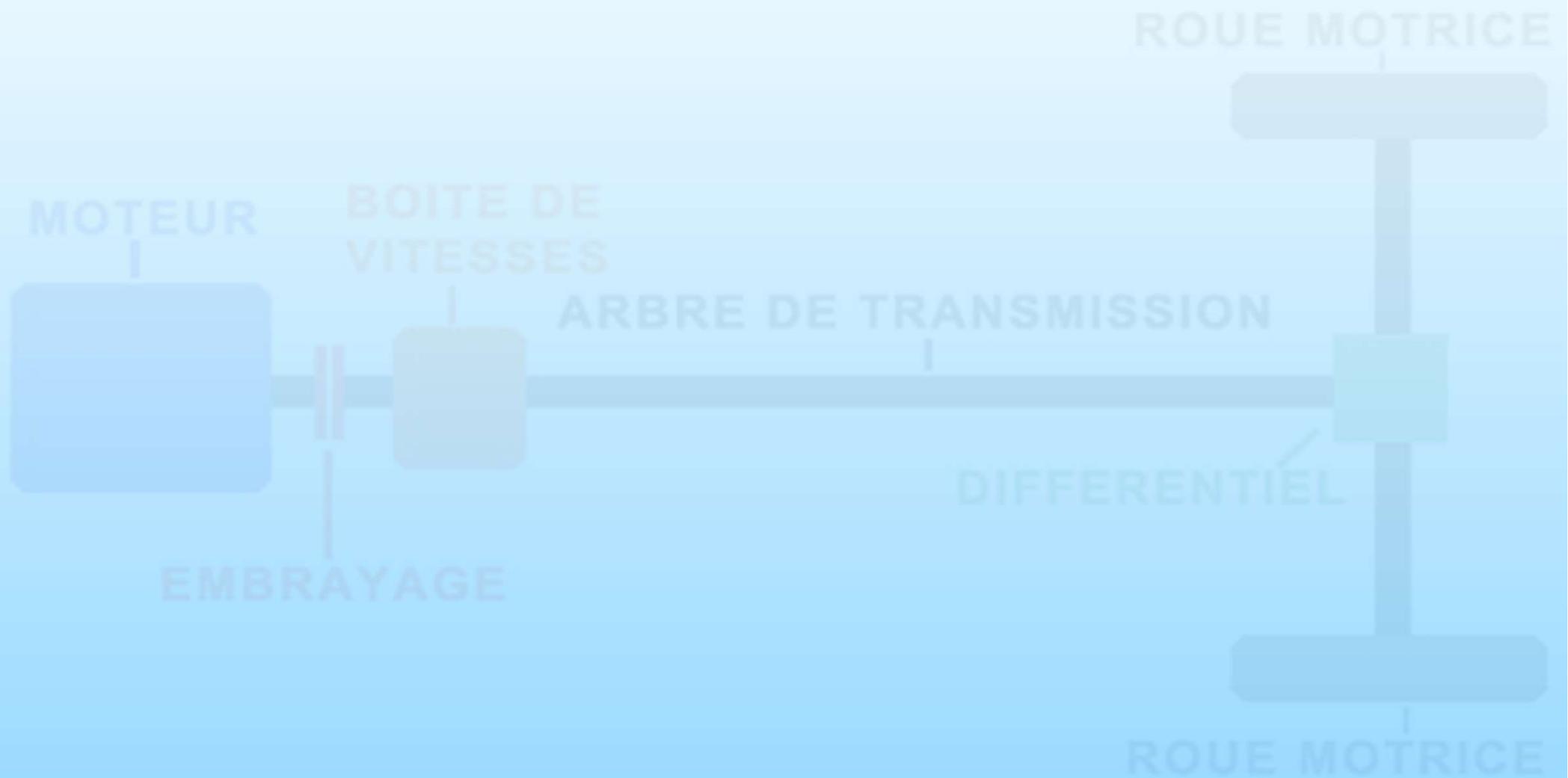
Parmi les plus réputés, on citera Volkswagen, Nissan, Ford, BMW et surtout Mitsubishi qui a un long passé sportif.





Subaru, la marque japonaise aux 6 étoiles, est le pionnier incontesté de la traction intégrale proposée dès la création de l'entreprise.

Ses modèles sportifs les plus élaborés intègrent trois différentiels Torsen ou équivalents et un ordinateur capable de distribuer le couple sur chaque roue à forte adhérence.



François Andriussi
23 mars 2021

MOTORISATION

24 novembre 2020
1 décembre 2020

TRANSMISSION

16 mars 2021

CONCEPTION D'UNE AUTOMOBILE

**LIAISON AU SOL
SÉCURITÉ ACTIVE**

**SÉCURITÉ
PASSIVE**

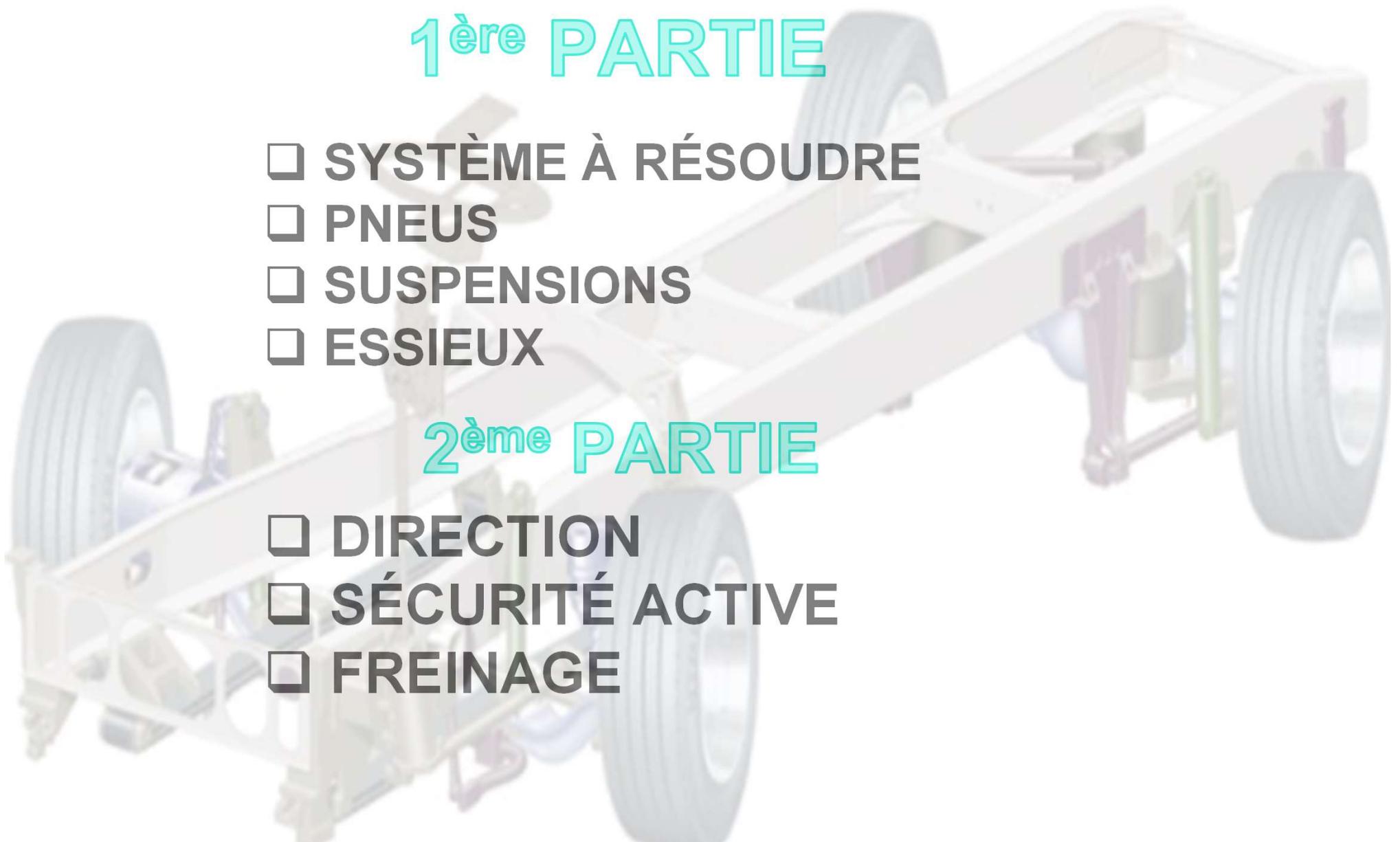
LES LIAISONS AU SOL

1^{ère} PARTIE

- SYSTÈME À RÉSOUDRE
- PNEUS
- SUSPENSIONS
- ESSIEUX

2^{ème} PARTIE

- DIRECTION
- SÉCURITÉ ACTIVE
- FREINAGE



LES PARAMÈTRES DES ACTIONS DE CONTACT

Par définition, une automobile est destinée à se déplacer sur un circuit routier, suivant les désirs du conducteur, en respectant toutes les règles, et en apportant confort et sécurité.

Dans ce but, elle est équipée d'une unité motrice et dispose des réserves d'alimentation indispensables.

L'énergie produite par le moteur est conditionnée et transmise aux roues motrices.

La suite des équipements doit être capable d'assurer les conditions d'adhérence dont chaque roue doit disposer pour jouer le rôle qui lui est attribué.

Le maître-mot de ces liaisons au sol est, effectivement:

ADHÉRENCE.

LES PARAMÈTRES DES ACTIONS DE CONTACT

L'adhérence dépend, évidemment de la **nature des matières en contact**,
mais essentiellement de la **force d'appui exercée par la roue sur le sol**.

La répartition des forces est en partie définie lors de la conception du véhicule
où les différentes masses sont distribuées géométriquement à l'état statique.

Cette répartition sera très fortement perturbée par des actions
dynamiques et aérodynamiques.

LES ACTIONS DYNAMIQUES

La répartition des masses dans une voiture en mouvement varie en fonction du nombre d'occupants et de la masse des bagages entreposés dans la malle.

Son centre de gravité se situe alors à une certaine hauteur au dessus du sol, le niveau où s'exercent les forces de traction ou de freinage transmises par les roues.

LES ACTIONS DYNAMIQUES

En période d'accélération,

l'inertie exercée au niveau du CDG induit un **couple cabreur**

qui opère un transfert de forces de l'essieu avant vers l'essieu arrière.

Les roues avant, qui assurent la fonction de direction, perdent de l'appui, et cette limitation d'adhérence sera plus sensible si ces roues sont également les roues motrices.

La définition des relations des roues avant avec la structure doit être très étudiée.

Lors du freinage,

les mêmes effets, mais inversés, induisent un **couple piqueur**.

Les roues avant sont les plus impliquées, mais il faudra conserver suffisamment d'appui sur les roues arrière pour conserver le contrôle de la trajectoire.

En virage à vitesse élevée,

l'inertie transversale produit un transfert de forces latéral avec l'apparition d'un

couple de roulis.

LES ACTIONS AÉRODYNAMIQUES

Chaque carrosserie a ses propres caractéristiques aérodynamiques dont la résultante des forces s'applique au niveau du foyer.

Mais une automobile n'a pas la pureté d'un avion.

De plus, la proximité du sol fait que les écoulements manquent de stabilité, et que le foyer ne se situe pas toujours au même endroit.

De toute façon, la traînée aérodynamique reste proportionnelle au carré de la vitesse, et son action produit, invariablement, un **couple cabreur** qui fait perdre de l'adhérence au train avant, mais qui assure un supplément d'appui profitable aux roues arrière lorsqu'elles sont motrices.

LES ACTIONS AÉRODYNAMIQUES

On comprend pourquoi les véhicules destinés à atteindre de grandes vitesses sont toujours avec la **formule propulsion**, souvent avec le moteur en position arrière, comme chez Ferrari ou Porsche, ou central-arrière comme chez Lamborghini.

Les constructeurs de grandes voitures routières haut de gamme, tels Audi ou BMW, ont ajouté au catalogue des options avec **traction intégrale sur les quatre roues**.

Pour conserver un pouvoir directeur suffisant aux vitesses élevées, on peut être amené à installer un dispositif annexe sous la forme d'un aileron aérodynamique qui ajoute une poussée sur le train avant, indispensable si les roues avant sont aussi les roues motrices.

La mise au point définitive des fonctions de liaison au sol ne peut se faire que par des essais réels avec recherche d'un compromis où la notion de sécurité restera primordiale

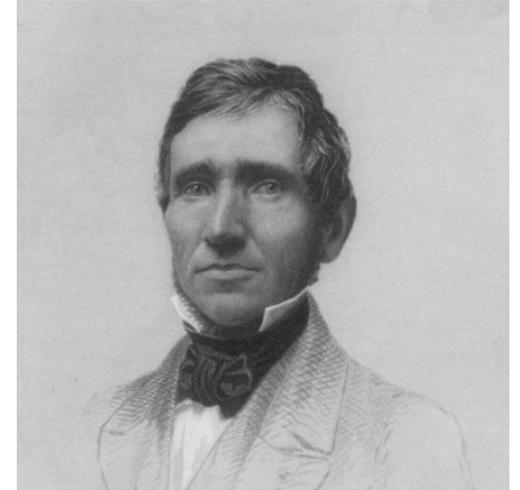
LES PNEUMATIQUES

Les organes toujours en contact avec le sol, sont les bandages des roues, qu'elles soient motrices, directrices ou simplement porteuses.

Quasiment contemporaine de l'histoire de l'automobile, celle des pneumatiques n'a cessé de se perfectionner.

Le pneu n'a pu être envisagé qu'après l'invention de la vulcanisation en 1839, par le chimiste américain **Charles Goodyear**.

En chauffant un mélange de caoutchouc et de soufre, on change sa structure moléculaire pour obtenir une gomme stable, souple et élastique.



Mais ce n'est qu'en 1842 que l'anglais **Thomas Hancock** en déposa le brevet.

Il s'ensuivit quantité de procès jusqu'au décès de Goodyear en 1860

En 1845, l'Écossais **Robert William Thomson** inventa le premier bandage en caoutchouc collé sur une jante, dont il déposa un brevet en 1846.

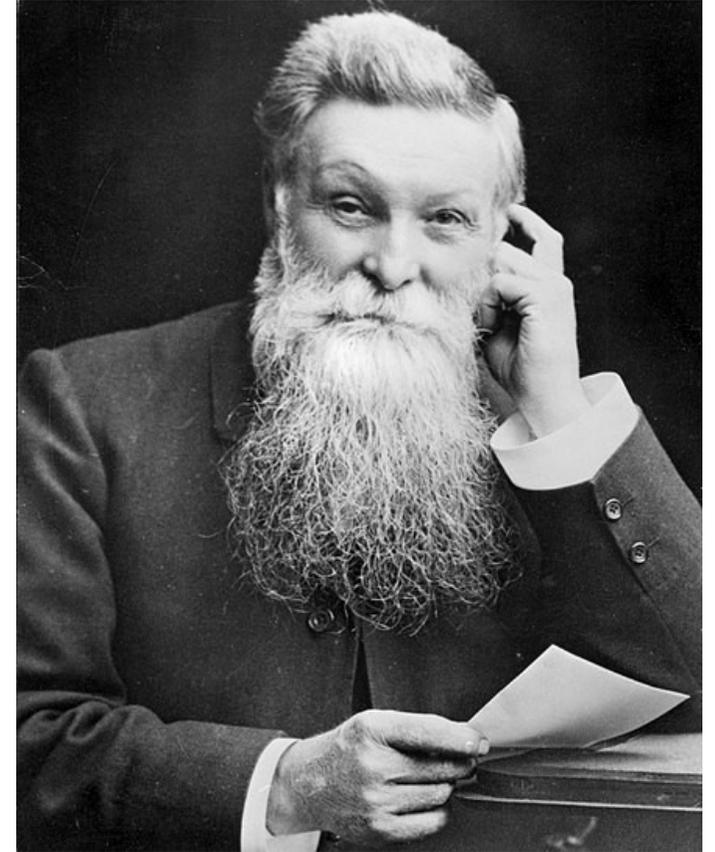
Hélas, l'impossibilité de trouver une application pratique à son invention, font que William Thomson abandonna son brevet.

En 1887, **John Boyd Dunlop**, un vétérinaire écossais , eut l'idée de confectionner des tubes de caoutchouc plein d'air pour entourer les roues des bicyclettes.

Aussitôt, ce dispositif remporta un grand succès dans le monde du vélo, conforté par les nombreux champions qui l'utilisaient.

L'année d'après, il déposa le brevet du pneu avec une valve permettant l'introduction de l'air.

Le principal défaut venait de la difficulté de réparation en cas de crevaison.



LES MICHELIN

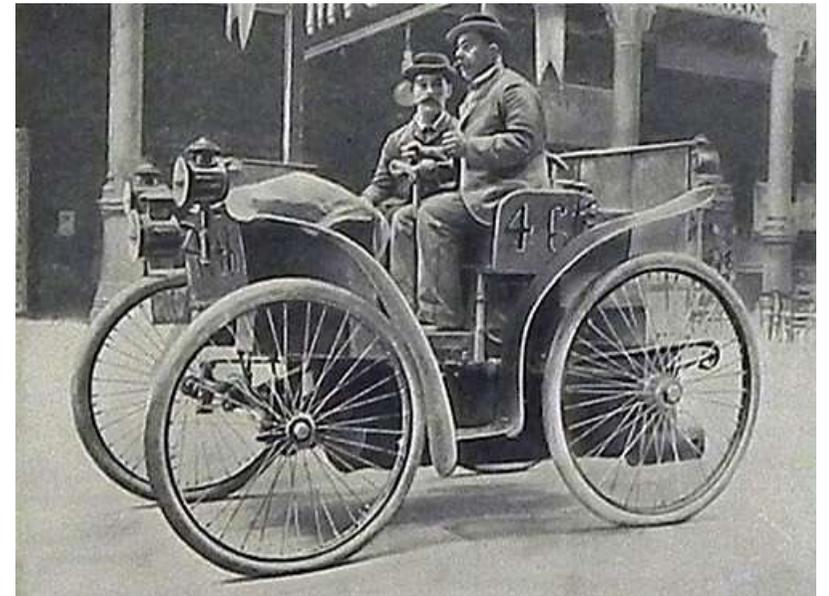


En 1891, **Edouard Michelin** fait breveter le pneu démontable avec chambre à air pour bicyclettes qui suivit également le rapide développement des motocyclettes.

Son adaptation à l'automobile ne tarda pas à être envisagée.

En 1895, Michelin construit une première automobile, **l'Éclair**, montée sur des pneus de la marque. Sur la base d'un châssis Peugeot, avec un indispensable moteur Daimler de 4 CV, elle participa à la course Paris-Bordeaux-Paris en 1895.

À son volant, les **frères Michelin** parviennent à rallier l'arrivée. Un véritable exploit car seulement 10 voitures parviennent au terme de la compétition. Ils arrivèrent bons derniers, les retards étant dus aux crevaisons et à leurs réparations, mais l'exploit amorça la notoriété mondiale de Michelin.



1898 - Michelin révolutionne sa façon de communiquer en créant **Bibendum** un bonhomme fait d'un empilement de pneus.

1899 - Enfin, au matin du 29 avril, le coureur-constructeur belge **Camille Jenatzy** a établi le premier record de vitesse à 105,88 km/h. Son véhicule appelé la “**Jamais Contente**” était une voiture électrique dont les quatre roues étaient chaussées de pneus Michelin.



1900 - Michelin édite le premier **GUIDE MICHELIN.**



Au XXème siècle, de multiples innovations n'ont cessé d'améliorer les pneus, le plus souvent à l'initiative de Michelin.

Le choix d'un pneu se fera toujours par un compromis entre deux caractéristiques antagonistes :

l'adhérence pour un bon freinage et **l'endurance** pour la durée de vie.

- 1910** - Une tringle métallique est glissée dans le talon.
- 1913** - La roue en acier permet la première roue de secours.
- 1929** - Le pneumatique sans chambre à air dit « **TUBELESS** »
- 1931** - La signalétique routière et les **Bornes Michelin**
- 1937** - Le pneu « **METALLIC** »
- 1946** - Le pneu **“X” À CARCASSE RADIALE**
- 1949** - Le pneu **radial tourisme**
- 1964** - Le pneu **hiver**



1965 - Le pneu ‘’**ASYMÉTRIQUE DIRECTIONNEL**’’

Michelin a créé le pneu **ASYMÉTRIQUE** dont la moitié de la bande de roulement porte de profondes rainures destinées à faciliter l'évacuation de l'excès d'eau et doit logiquement être disposée vers l'extérieur du véhicule. L'autre moitié reçoit des pavés de gomme spécialement élaborée pour améliorer l'adhérence.

Le pneu **DIRECTIONNEL** est une évolution du précédent, certains devant être montés obligatoirement du côté droit, les autres du côté gauche.

On s'interroge sur ces particularités et on se pose la question sur l'éventuelle circulation d'un véhicule français ainsi équipé circulant sur une route du Royaume Uni.

Le pneu
**ASYMÉTRIQUE
DIRECTIONNEL**



1965 - **Warnair** créé le signal de perte de pression

1992 - **Goodyear** invente le pneu roulage à plat

2002 - Le pneu **Runflat**, concurrent du Goodyear

2004 - Michelin parlait déjà de ses concepts « **Airless** » D'abord destiné aux véhicules ruraux, le pneu **UPTIS** serait bientôt disponible pour les voitures de tourisme.



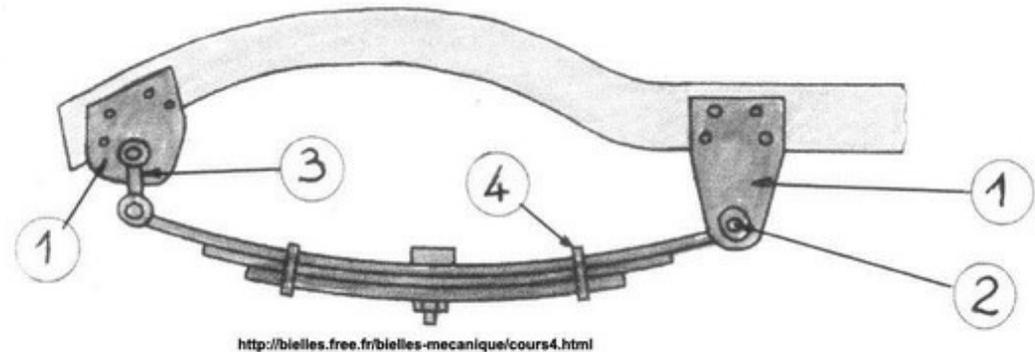
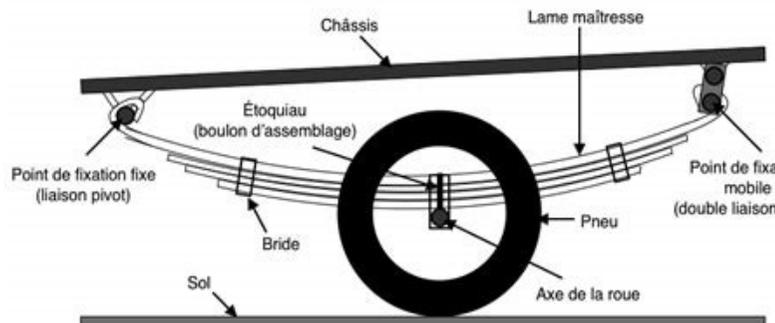
Aujourd'hui, le pneu
UPTIS Airless de Michelin

LES SUSPENSIONS

Les ressorts à lames

Pour affronter le mauvais état des chaussées de l'époque et les aléas de la circulation, les premières voitures ont reçu des éléments de suspension issus des anciens véhicules hippomobiles.

Des lames de ressort de longueurs différentes étaient assemblées pour égaliser sensiblement les contraintes, ce qui conduisait à un degré de flexibilité convenable. Le principal défaut de ces ressorts tenait à leur déformation dimensionnelle, la flexion s'accompagnait d'un allongement. La fixation au châssis d'une des extrémités devait être équipée d'une articulation sous forme de jumelle, repère 3 sur la figure..



Autre conséquence, la position longitudinale de l'élément relié aux roues n'était pas rigoureusement assurée. Les véhicules ainsi équipés devaient s'accoutumer à cet inconvénient. Dans leurs déformations, les lames frottaient entre elles ce qui conduisait à une usure, mais aussi à un certain degré d'amortissement.

Autres ressorts métalliques

Tous les ressorts métalliques n'utilisent que les particules du matériau éloignées de la **fibre neutre**, en fonction du carré de cette distance.

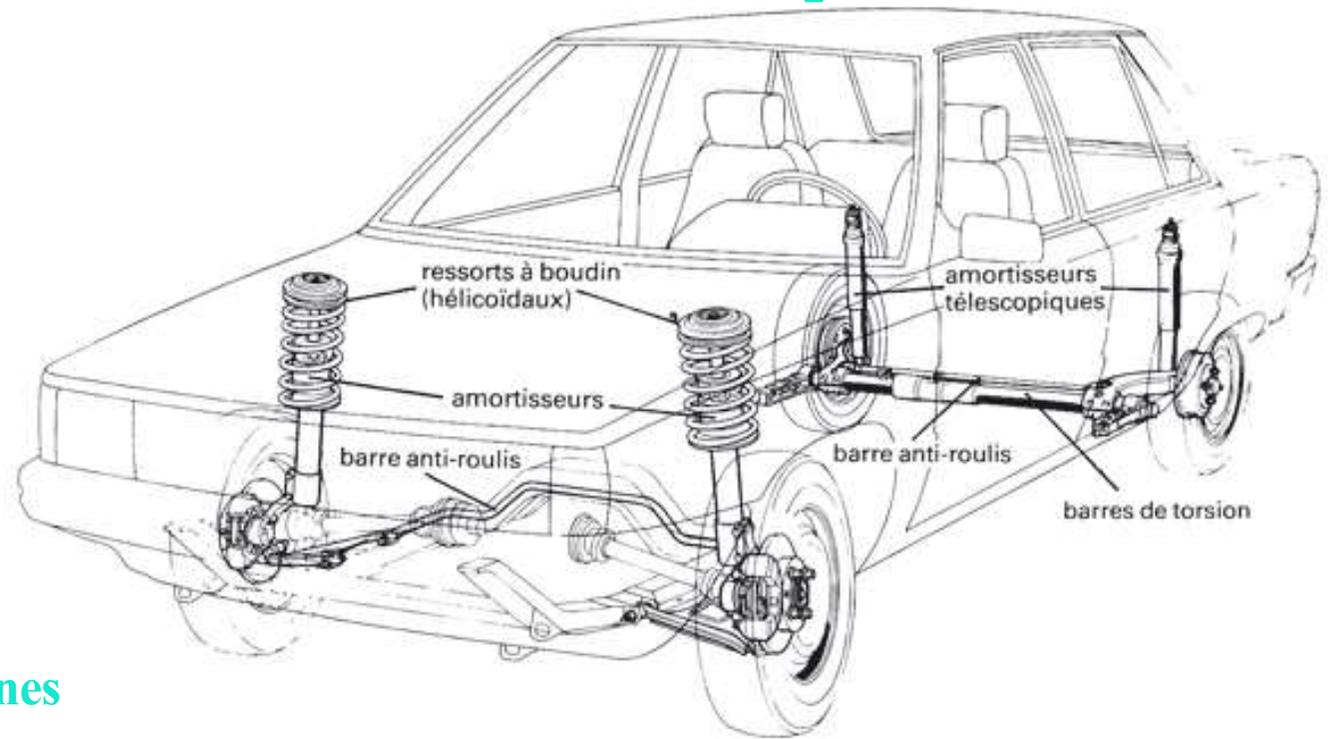
L'essentiel de leur masse constitue ainsi un poids inutile.

L'élément constituant, le plus souvent de section circulaire, peut être utilisé droit ou sous la forme d'un enroulement hélicoïdal.

Sous toutes ces formes, la fonction **flexion** n'est pratiquement pas utilisée, seuls les efforts de **torsion** sont pris en compte.

Autres ressorts métalliques

1 - Les ressorts à boudins



2 - Les barres de torsion rectilignes



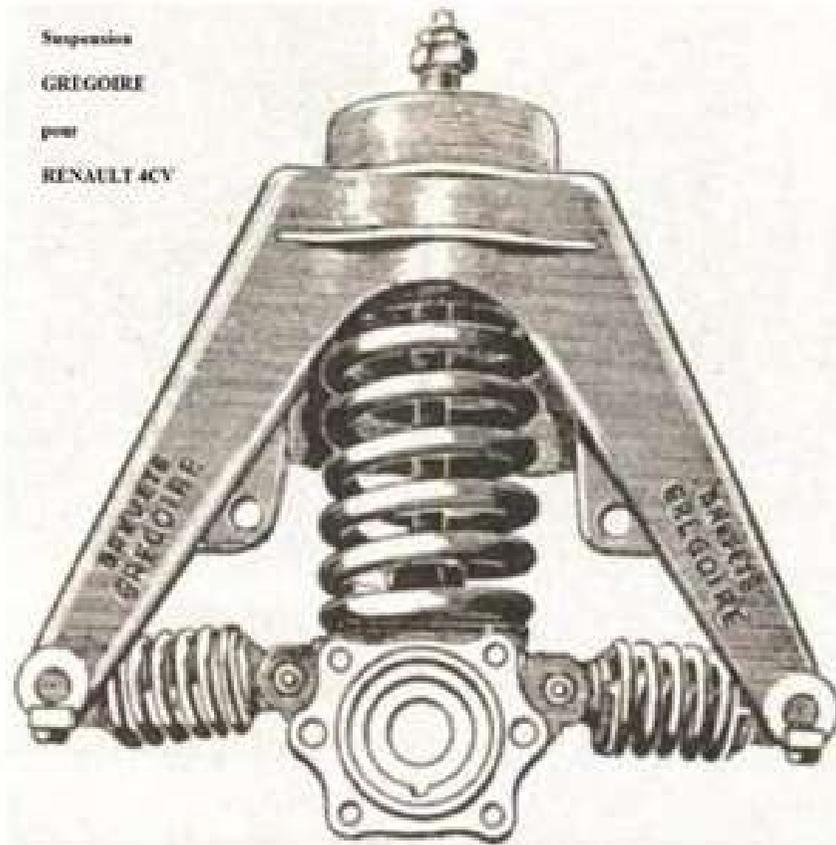
Exemple d'un véhicule dont les roues avant sont équipées de ressorts à boudins, et les roues arrière de barres de torsion.

Les roues sont supportées par des bras articulés, solidaires d'une barre dont l'autre extrémité est fixée à l'ossature

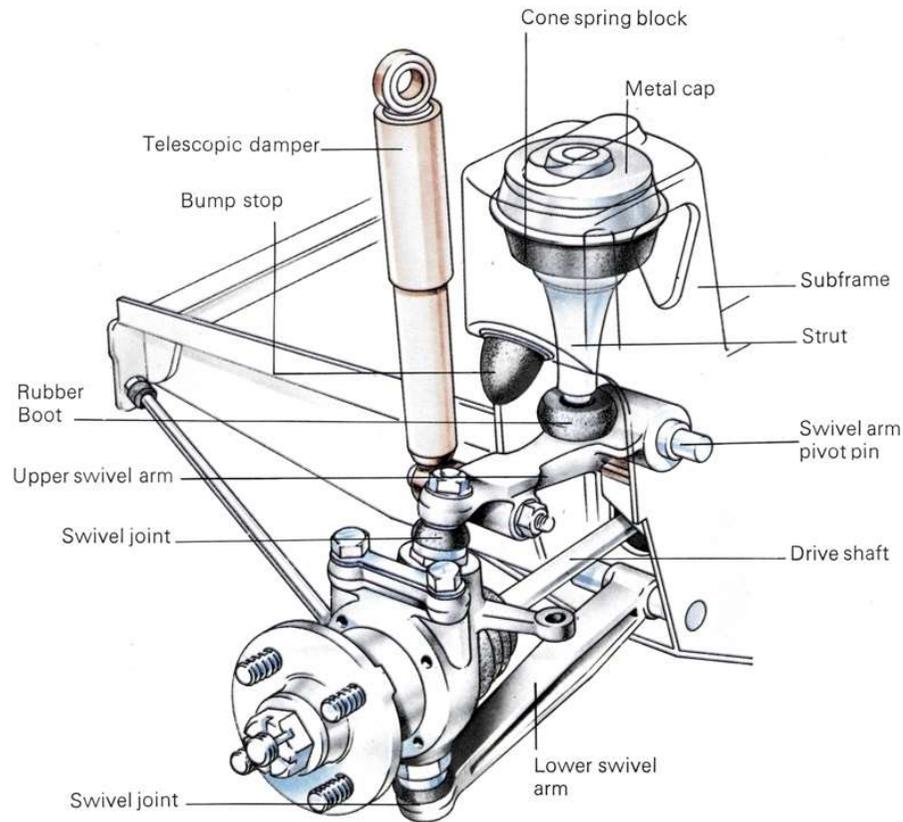
Autres ressorts

Assemblages de ressorts combinés *traction-compression*

suivant les brevets de **Jean Albert Grégoire**



Autres ressorts



Exemple du montage sur le bras droit avant de la Mini Morris originale.

En 1959, **Alec Issigonis** présenta la Mini Morris qui allait devenir le prototype de toutes les citadines modernes.

Parmi les multiples innovations, on notait le remplacement des ressorts par des blocs de caoutchouc, une initiative défavorable sur le plan du confort.



Parmi les autres matières utilisées pour la suspension des automobiles, on trouve des composants à base de caoutchouc et d'autres élastomères

Les anneaux NEIMAN



Le principe de ces anneaux en caoutchouc consistait à réunir une superposition d'anneaux de longueurs différentes qui participeront progressivement à l'effort de traction au fur et à mesure de leur allongement.

Des années 30 et jusque vers 1960, les fourches de certaines motos étaient suspendues par des anneaux élastiques **Neiman** travaillant en traction.

La fourche de la petite Gnome Rhône que j'avais à KIN en avait 3, de longueurs différentes, ce qui procurait une efficacité progressive.



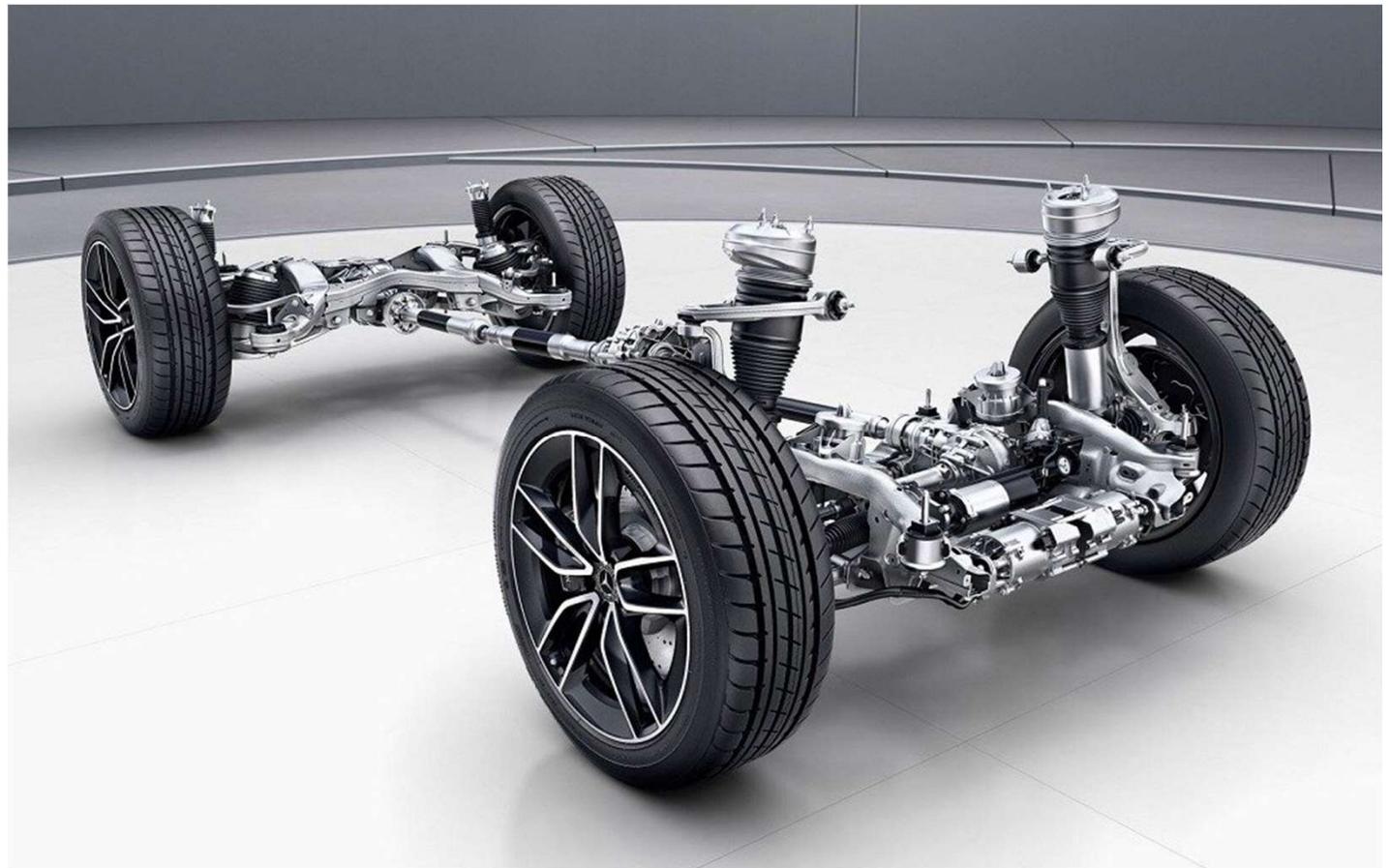
Dispositifs pneumatique et hydropneumatique

Des coussins d'air ou de gaz sous pression peuvent remplacer les ressorts habituels.

Ils peuvent être employés comme dispositif complet, ou comme dispositif complémentaire ajouté à une suspension classique.

Proposée par Mercedes dès les années 60, la suspension pneumatique comprenait quatre coussins gonflés depuis un réservoir d'air comprimé alimenté par un compresseur.

Des servo-vannes, connectées à la position des essieux avant et arrière, maintenaient la voiture à une hauteur constante malgré les variations de charges.



Dispositifs pneumatique et hydropneumatique

Montage sur une plateforme Mercedes



Exemples de coussins pneumatiques



Firestone
AIR SUSPENSION SYSTEMS



Firestone
AIR SUSPENSION SYSTEMS

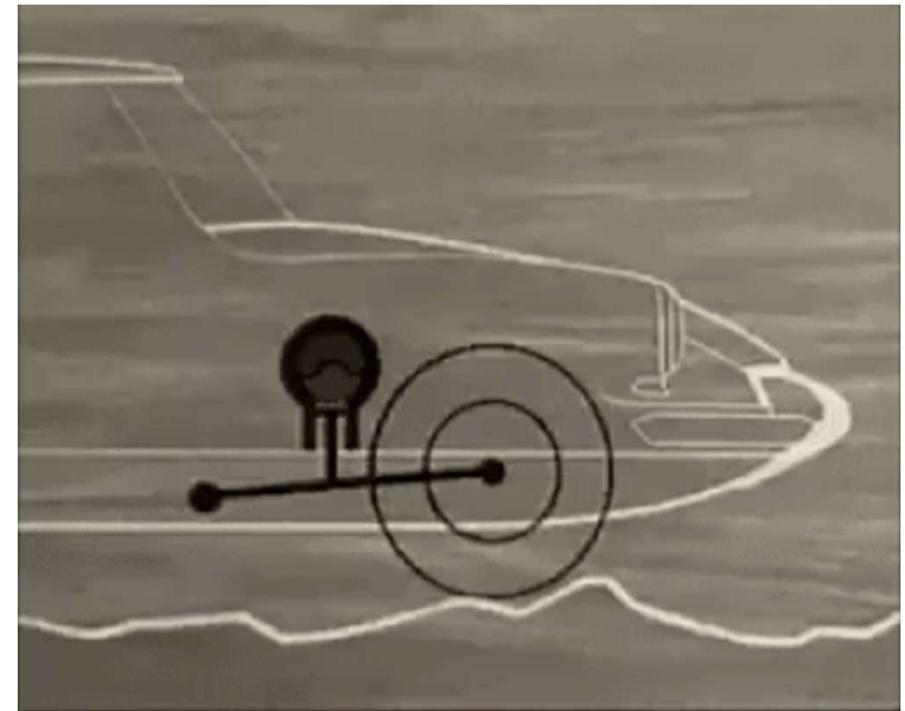
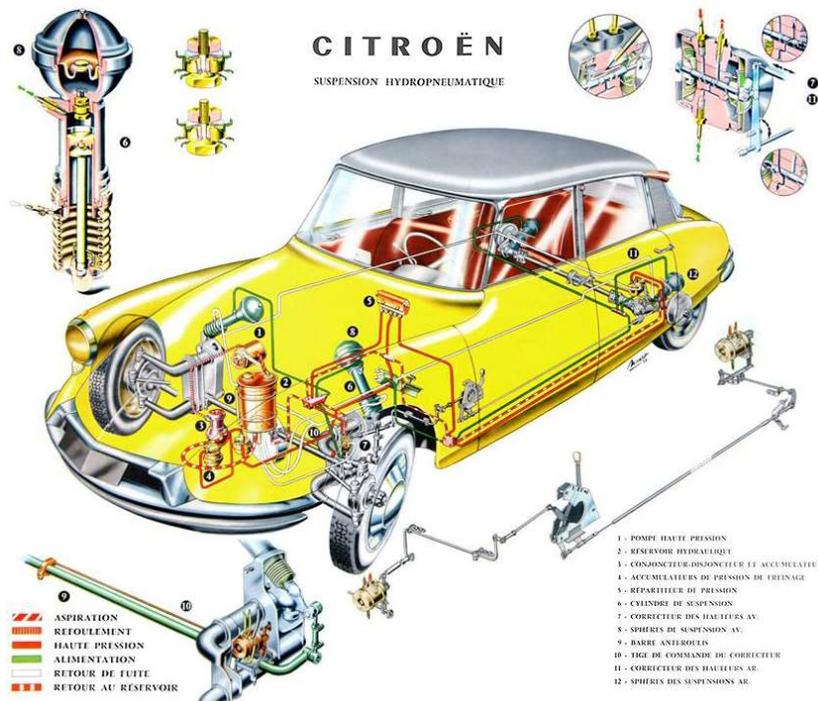
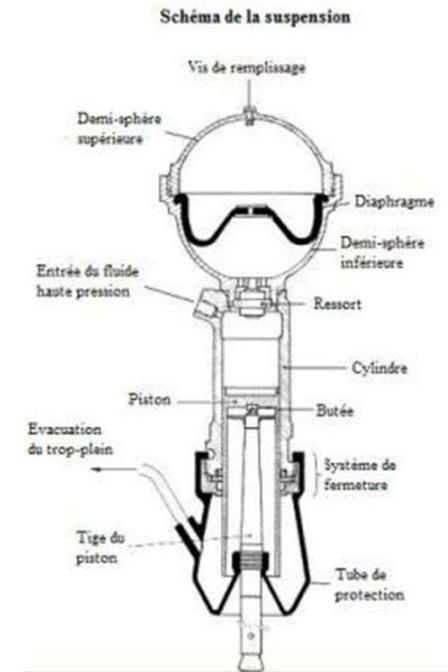


Le système hydropneumatique de Citroën

Dans la suspension pneumatique, genre Mercedes, la masse d'air comprimé est constamment adaptée à la charge supportée.

Avec la suspension hydropneumatique du système Citroën, le ressort comprend une masse invariable d'azote, et c'est la pression de l'intermédiaire hydraulique qui adapte la hauteur à la charge.

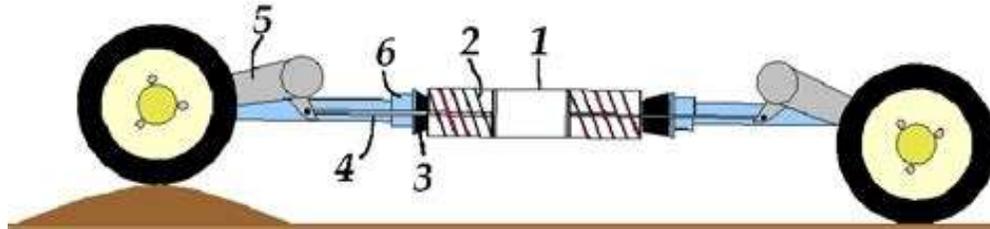
DS et ID Citroën



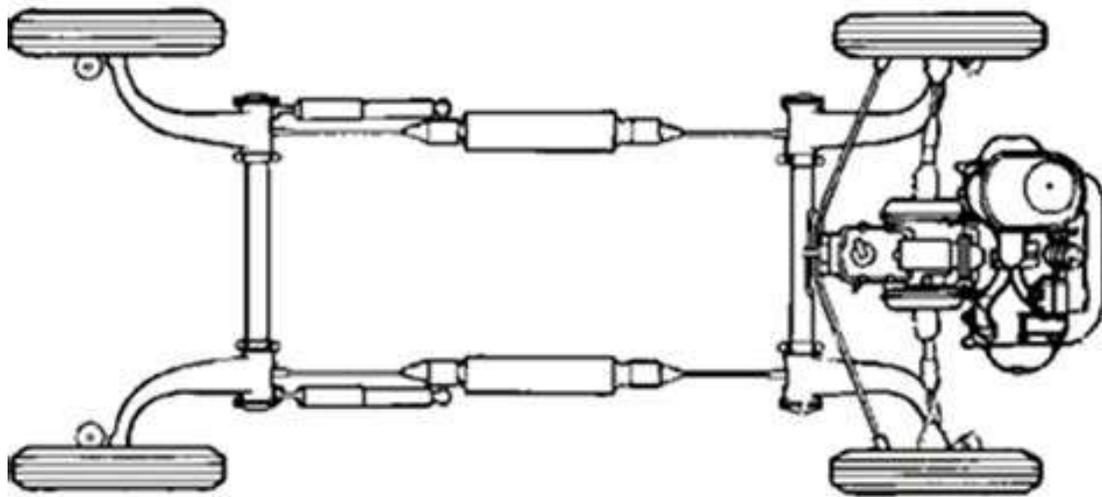
Les suspensions particulières : 2 CV Citroën

Les 4 roues des 2CV Citroën étaient portées par des bras rotatifs longitudinaux articulés sur le châssis.

Ils étaient reliés à des ressorts hélicoïdaux travaillant en compression logés latéralement.



Une particularité originale tenait au montage de "batteurs", des masses libres dont l'inertie jouaient un prétendu rôle d'amortisseurs.



Les essieux avant

Les premières automobiles employaient toutes des essieux avant rigides

Ils présentaient l'avantage d'être d'une simplicité difficilement égalable.

L'essieu avant rigide fut conservé jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale sur la plupart des voitures, mais il est toujours employé sur les poids lourds et sur certains utilitaires légers.

Essieu rigide classique de la Ford T



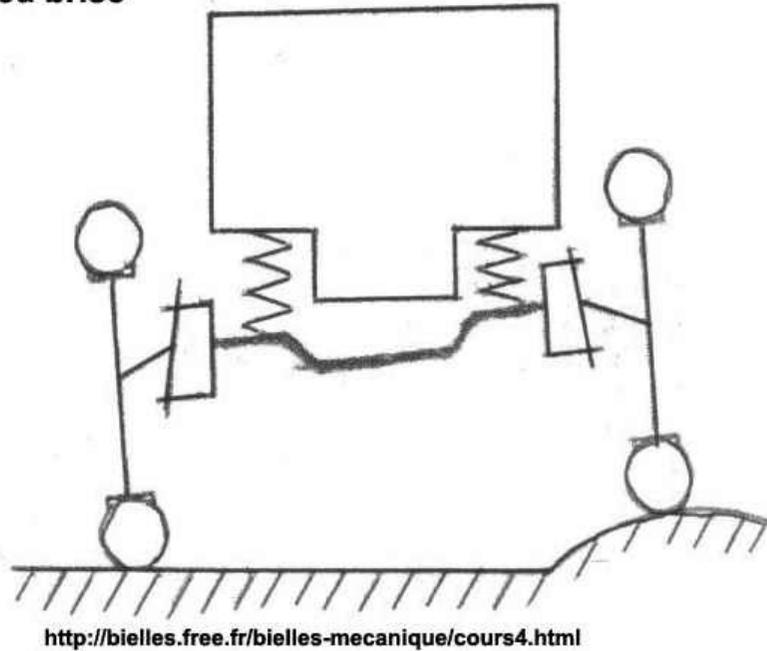
Les roues avant des voitures sportives de l'entre-deux-guerres



Le montage avec essieu rigide entraînait plusieurs défauts de comportement.

En premier lieu, les masses non suspendues comprenant l'ensemble des roues, des freins, de l'essieu et de la majeure partie des ressorts de suspension, le confort de roulage en était très affecté.

essieu brisé



L'image de principe montre que **l'élévation** d'une roue conduit à **l'inclinaison** du système entier.

Le couple gyroscopique de la roue soulevée produit un effet de braquage parasite qui doit être contrôlé au volant, mais qui peut dégénérer en une suite d'oscillations dangereuses, appelée **Shimmy** du nom d'une danse d'origine africaine célèbre au début du siècle.

Ce terme fut popularisé par les aviateurs qui redoutaient les vibrations du train à l'atterrissage et a été repris par les réparateurs d'automobiles.

Le remède consistait à augmenter l'angle de chasse, en inclinant l'essieu par calage, avec le corollaire d'une direction alourdie, surtout à faible vitesse.

L'intérêt des essieux avant à roues indépendantes

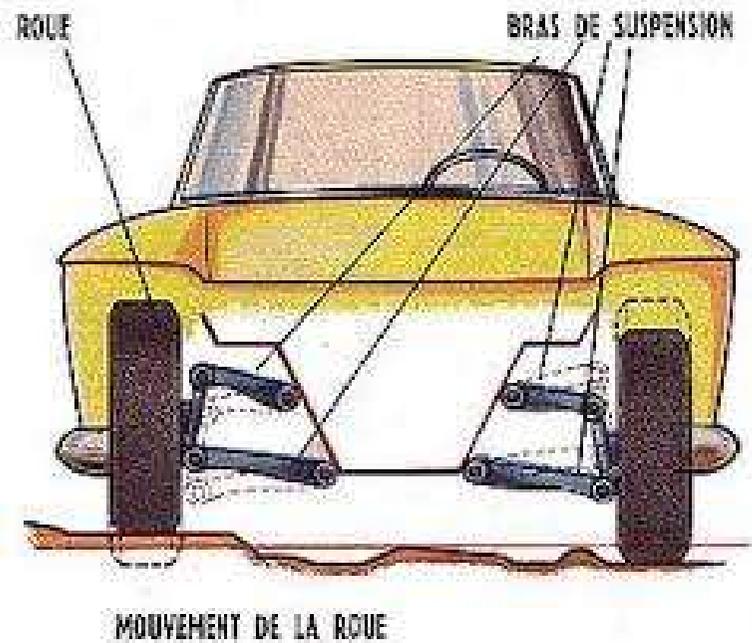
Avant de bouleverser le monde des automobiles sportives, depuis la Formule 1 jusqu'aux 500 Miles d'Indianapolis, **Colin Chapman**, créateur de la marque **LOTUS**, s'était contenté de modifier de modestes Morris Seven pour participer à des épreuves de Trial.

Obsédé par la légèreté, il avait coupé l'essieu rigide en deux moitiés articulées au centre, et simplement portées par un ressort à lames transversal.



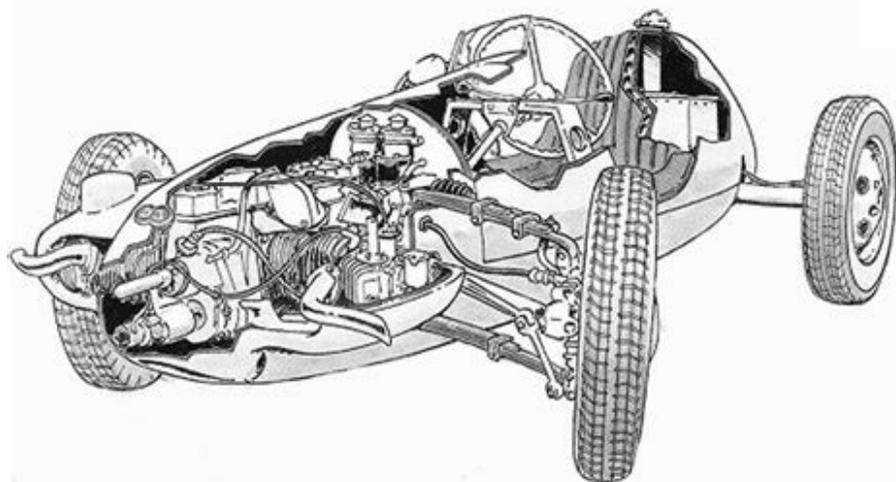
Sur la Lotus Mark II ci-contre, on aperçoit les 1/2 essieux sous le ressort à lames transversal et les deux modestes amortisseurs.

Les principaux dispositifs de roues avant indépendantes



Le schéma du principe à **parallélogramme déformable** montre que le mouvement des roues ne provoque pas d'inclinaison perturbatrice.

Il offre de multiples combinaisons de mouvements entre les roues qui conditionnent les paramètres de tenue de route et de confort de roulage.



Charles Deutsch et René Bonnet ont équipé certains modèles de leur marque **DB** avec deux ressorts à lames transversaux réalisant un **pseudo quadrilatère**.

Ce dispositif a été utilisé sur certaines voitures populaires.

Autres dispositifs de roues avant indépendantes

Chaque concepteur s'est efforcé de réaliser un compromis compatible avec la personnalité du véhicule.

La suspension à *parallélogramme* est souvent choisie pour équiper les voitures de compétition ou les sportives à hautes performances.

La suspension avant type *MacPherson*



Elle a été créée dans les années 50 par Earle MacPherson chez GENERAL MOTORS.

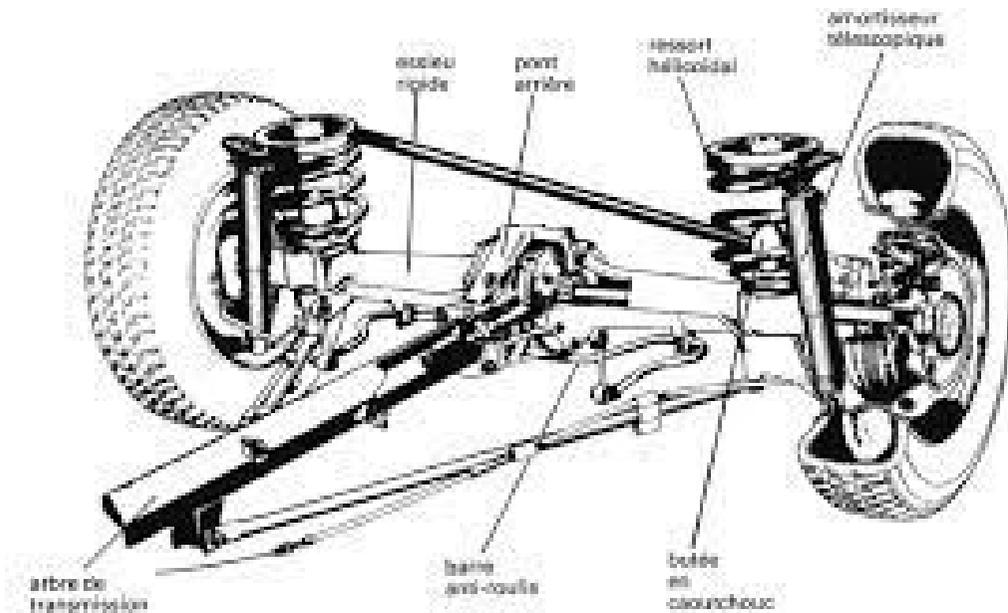
Elle est devenue le dispositif le plus utilisé, car elle comporte un nombre d'articulations plus réduit que celle à double triangulation.



Earle MacPherson

L'adaptation à la suspension des nombreuses voitures à traction avant a contribué à sa généralisation.

Les essieux arrière



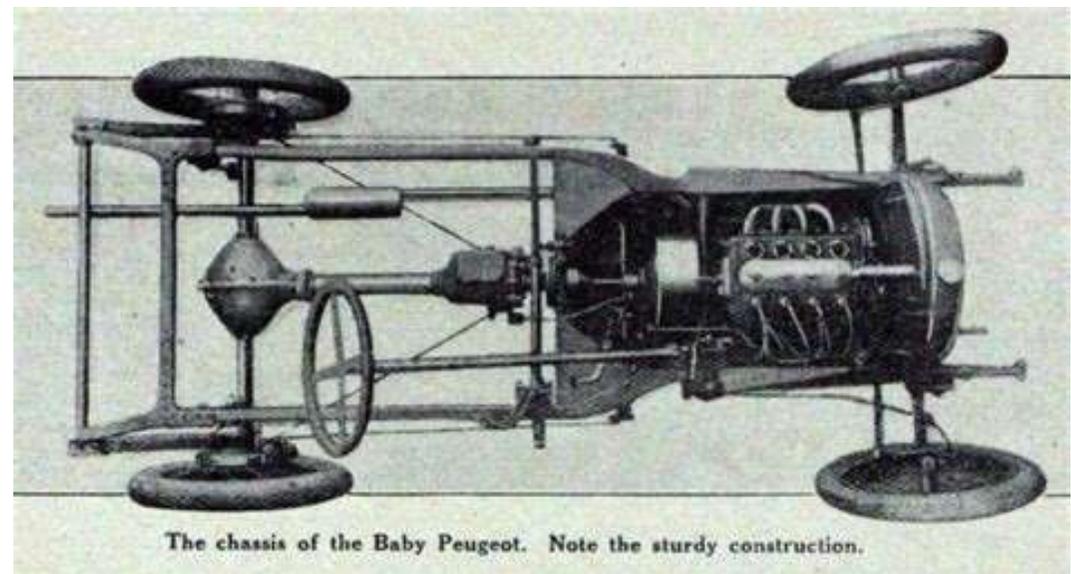
Les roues arrière des automobiles ont attendu bien plus longtemps que les roues avant pour devenir indépendantes.

L'antique dispositif des roues motrices, s'est maintenu jusqu'aux années 70, aussi bien avec les ressorts à lames qu'avec les hélicoïdaux.

Peugeot 203 de 1948 à 1954



Châssis Baby Peugeot des années 1910



Le montage sur l'Audi A4 est un exemple représentatif des suspensions arrière des voitures haut de gamme.

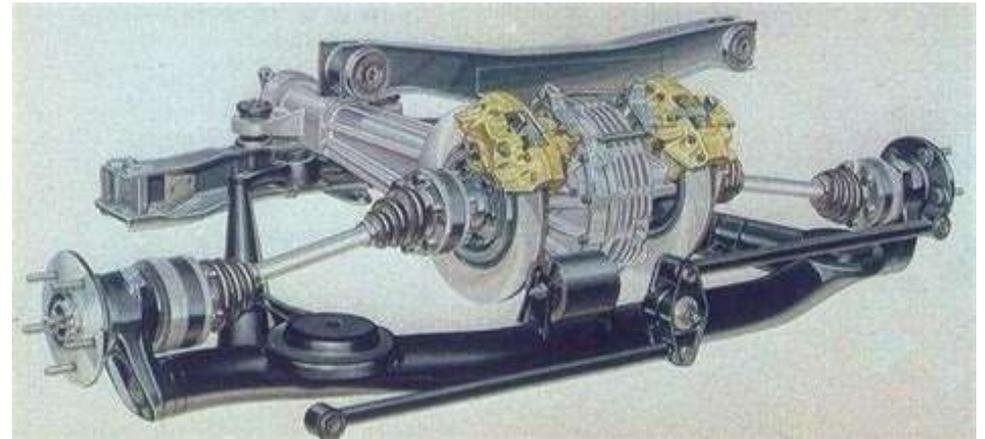


Le plus souvent, sur les tractions avant, on trouve des essieux arrière **semi-rigides** travaillant par déformation angulaire.



Le pont **De Dion** conserve un axe rigide qui supporte les roues, et sa forme permet de contourner le bloc différentiel.

Ce dispositif, qui autorise le montage des **freins suspendus**, est souvent employé sur des voitures à hautes performances.



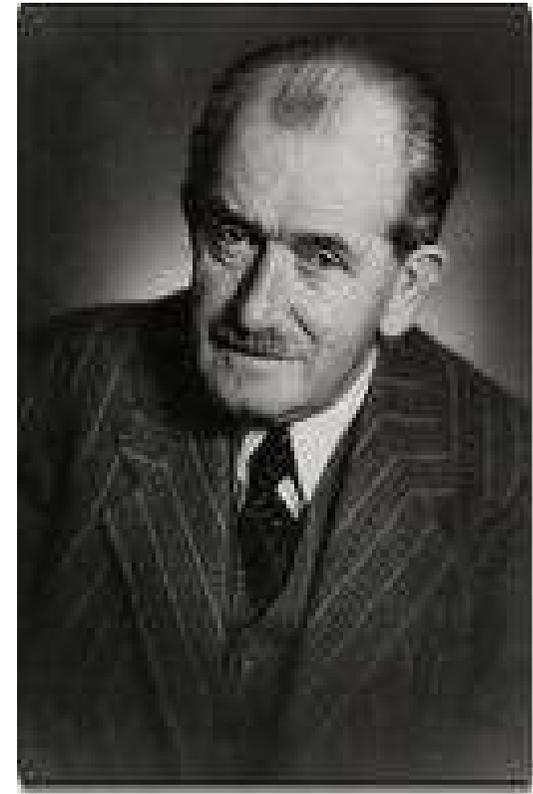
Les essieux arrière spéciaux

La Volkswagen Coccinelle de **Ferdinand Porsche** semble inspirée par les prototypes de la Tatra V570 de **Hans Ledwinka** qui furent présentés en 1931.

Porsche avait succédé à Ledwinka chez Steyr en Autriche en 1920, et les deux ingénieurs se connaissaient fort bien.



Hans
Ledwinka



Ferdinand
Porsche

L'originalité de ces créations consistait essentiellement en un châssis à poutre centrale et un petit moteur arrière à refroidissement à air.

Les essieux arrière spéciaux



châssis à poutre centrale
de la VW

Coccinelle

Tatra V570

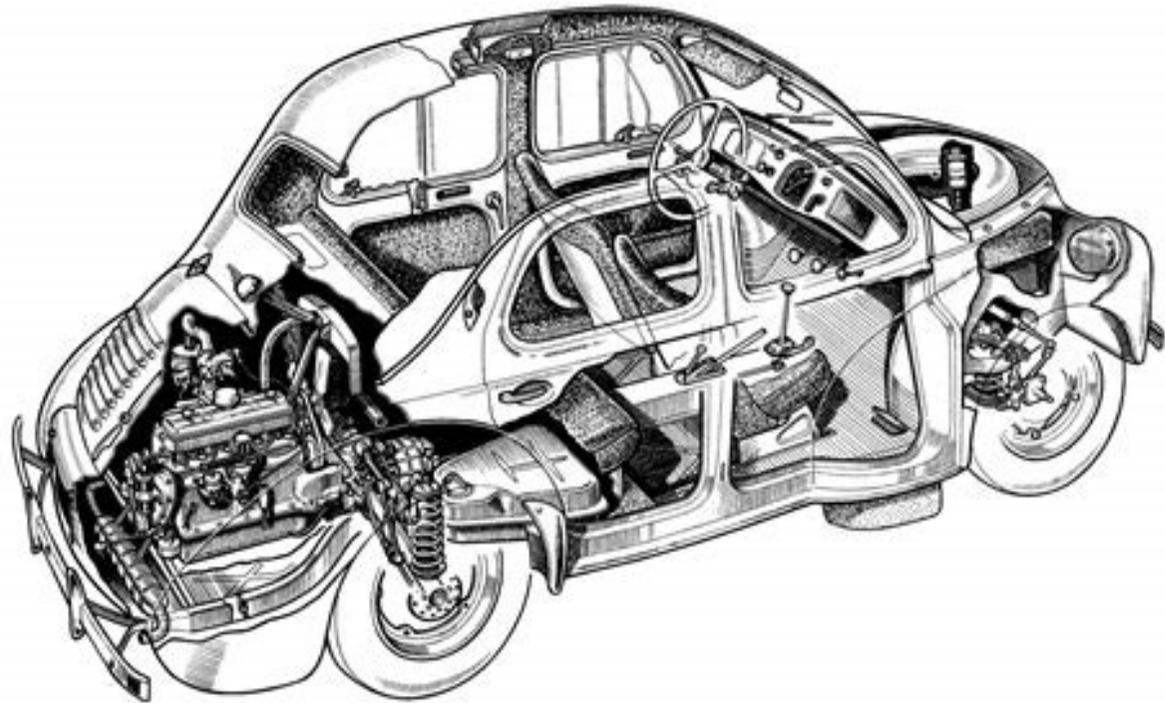


La 4 CV RENAULT

Fernand Picard (A&M Lille 1923), avait commencé l'étude de la future 4 CV Renault en 1938, sans aucun contact avec les précédents.



Fernand Picard



Le châssis, sans poutre centrale, comportait deux caissons latéraux et un plancher plat offrant une place suffisante pour les 4 sièges.

L'originalité de ces véhicules dont le moteur était situé à l'arrière venait de la suspension des roues arrière, **obligatoirement indépendantes**.

La fixation des roues aux extrémités des essieux était habituelle, mais les 1/2 essieux étaient des “ **trompettes** ” articulées de part et d'autre du différentiel.

La 4 CV Renault



La Coccinelle



Sur un châssis Tatra à
poutre centrale



DES RENAULT ORIGINALES

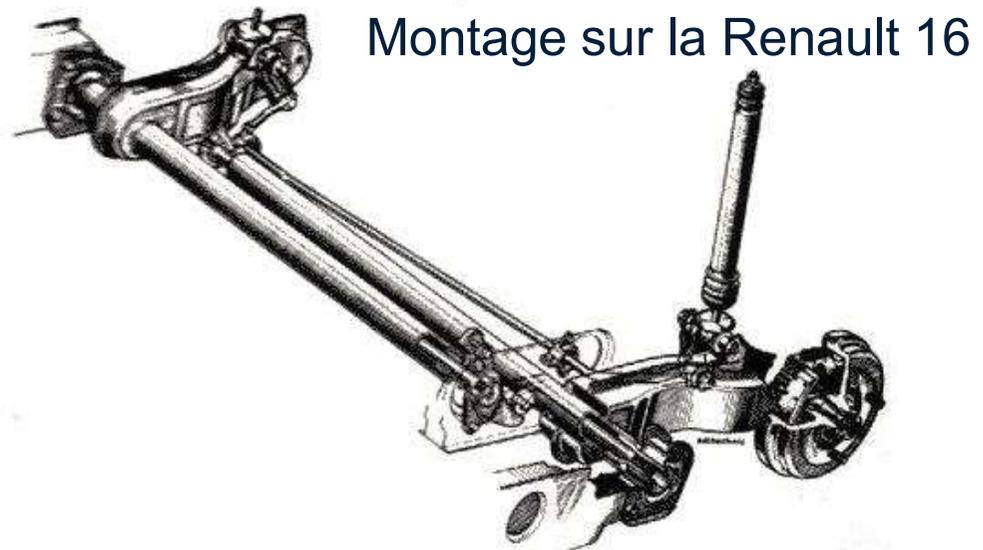
Certaines Renault, depuis la **4L** jusqu'à la **Renault 16**, disposent de suspensions arrière originales qu'aucune autre marque n'a *jamais utilisées*.

Les roues sont tenues par des bras oscillants longitudinaux reliés à des barres de torsion transversales qui ne peuvent se superposer.

La barre relative à la roue gauche se trouve 40 mm plus en avant que celle de la roue droite.

Il en résulte un **empattement différent** entre le côté gauche et le côté droit (240 et 244 cm), ce qui est un exemple unique dans la production automobile mondiale. Comme on ne peut voir les deux côtés en même temps, on ignore souvent cette originalité qui ne nuit en aucune façon à la tenue de route.

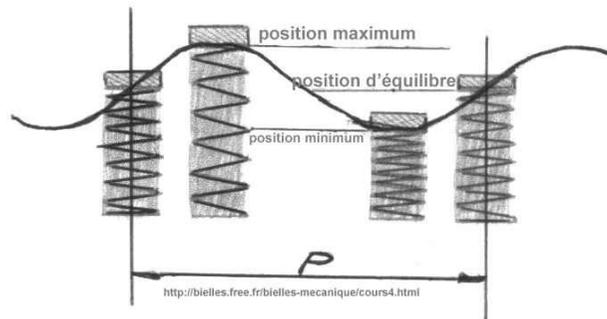
Les bras de suspension gauche et droit de la 4 L



L'HISTORIQUE DES AMORTISSEURS

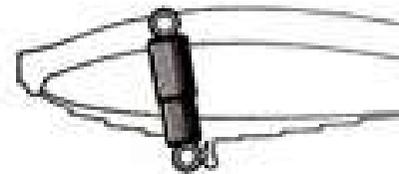
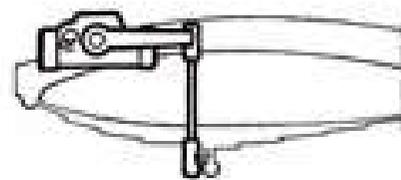
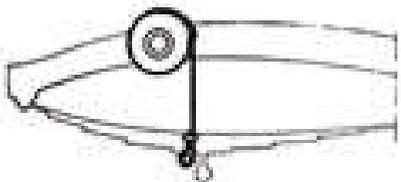
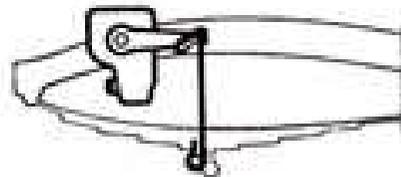
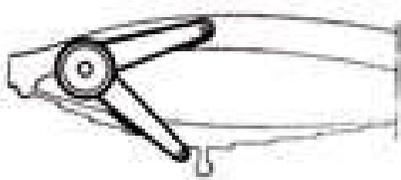
Une automobile reliée au sol par des équipements de suspension élastiques, obéit aux lois de la physique théorique.

Il s'en suivra des **oscillations** dont l'amplitude et la fréquence dépendent des masses en mouvement, des forces de gravitation et des chocs de roulage.



Ces oscillations, qui nuisent au confort et à l'efficacité des éléments de contact avec le sol, ne seront que légèrement amorties par la dégradation de l'énergie de déformation des liens élastiques.

Divers types d'amortisseurs complémentaires ont été imaginés pour limiter ces oscillations parasites et augmenter le confort et la sécurité.



Les amortisseurs à friction

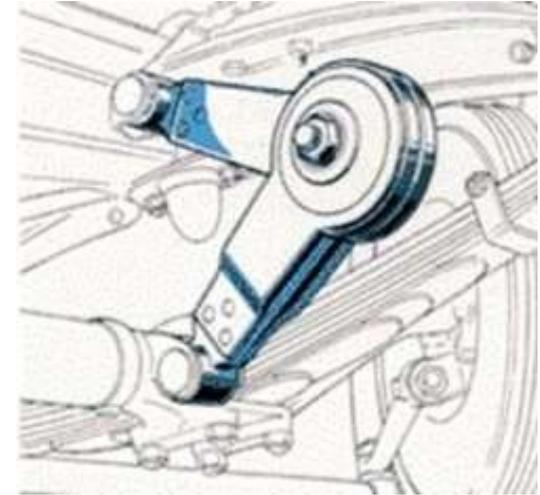
Les amortisseurs à piston et levier

L'amortisseur télescopique

Très vite, l'amélioration des performances des automobiles a entraîné les ingénieurs à chercher à modérer ces effets perturbateurs.

L'amortisseur imaginé par l'Américain **André Hartford** exerce des efforts de friction qui s'opposent aux déplacements relatifs de la voiture.

Mais ces actions symétriques freinent autant la montée que la descente.



Cet amortisseur a été exploité par les constructeurs mondiaux et installé sur la majorité des voitures de la première moitié du XXe siècle.

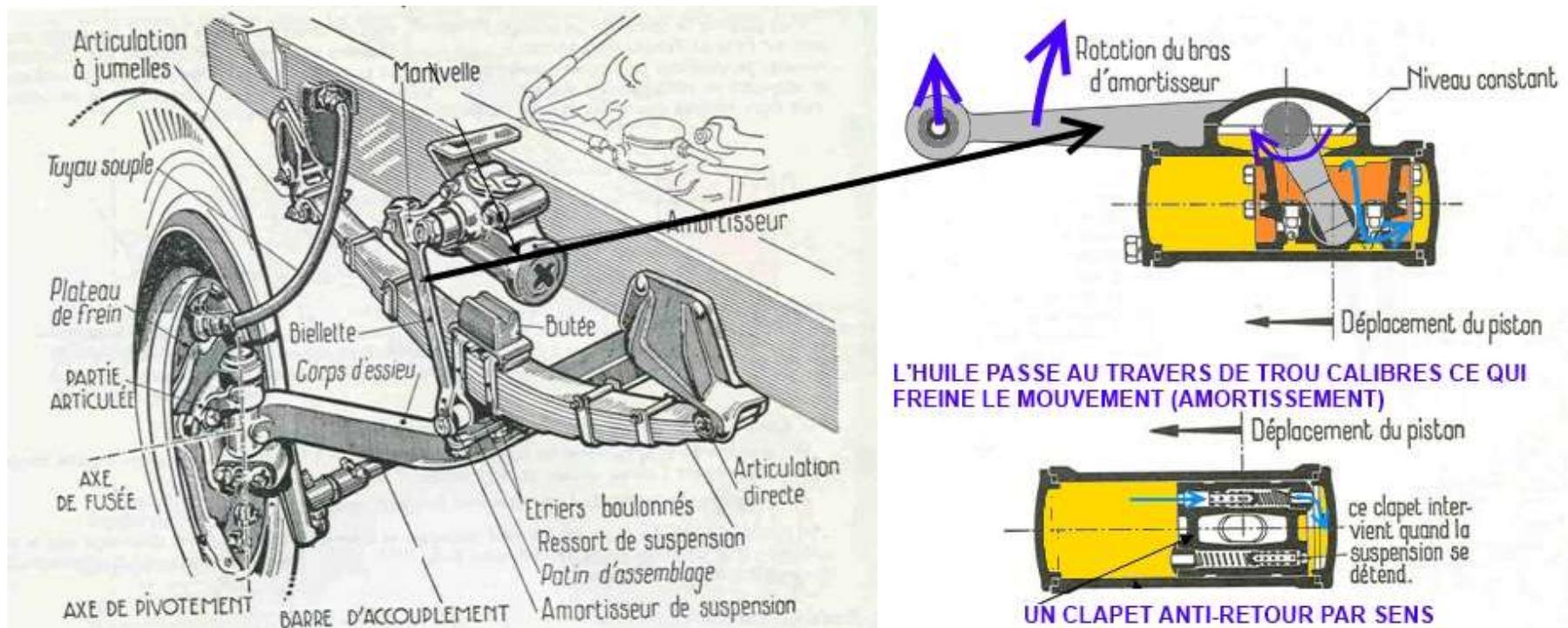
On aperçoit les amortisseurs sur
le train avant de cette
Alfa Romeo 6C 1750 *Gran
Turismo* de 1932



La première amélioration notable a été la mise au point d'un ensemble **hydraulique** dont les mouvements sont freinés en faisant circuler l'huile à travers des **orifices calibrés**.

Un système de clapets permet d'obtenir des **actions dissociées**, plus efficaces à la détente qu'à la montée.

La liaison de l'essieu à la caisse se fait par un ensemble biellette et levier, comme représenté sur la figure associée à une voiture des années 20-30.

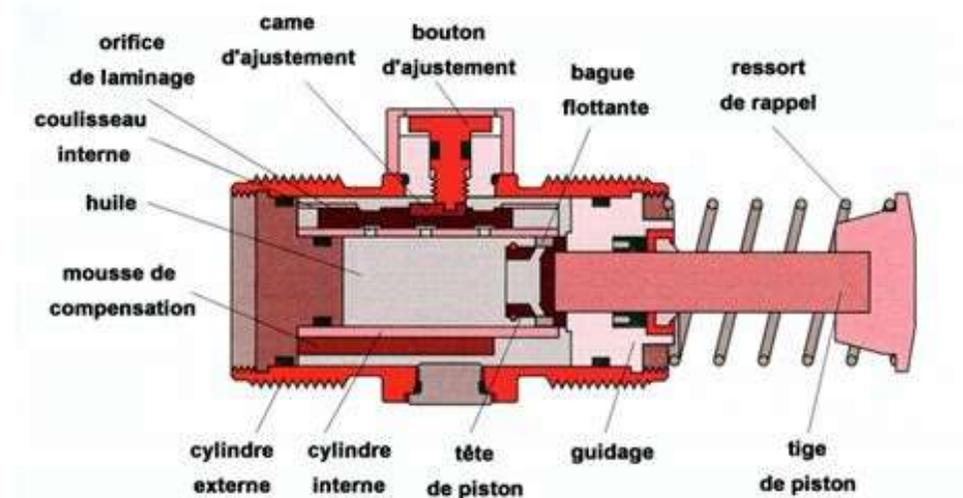
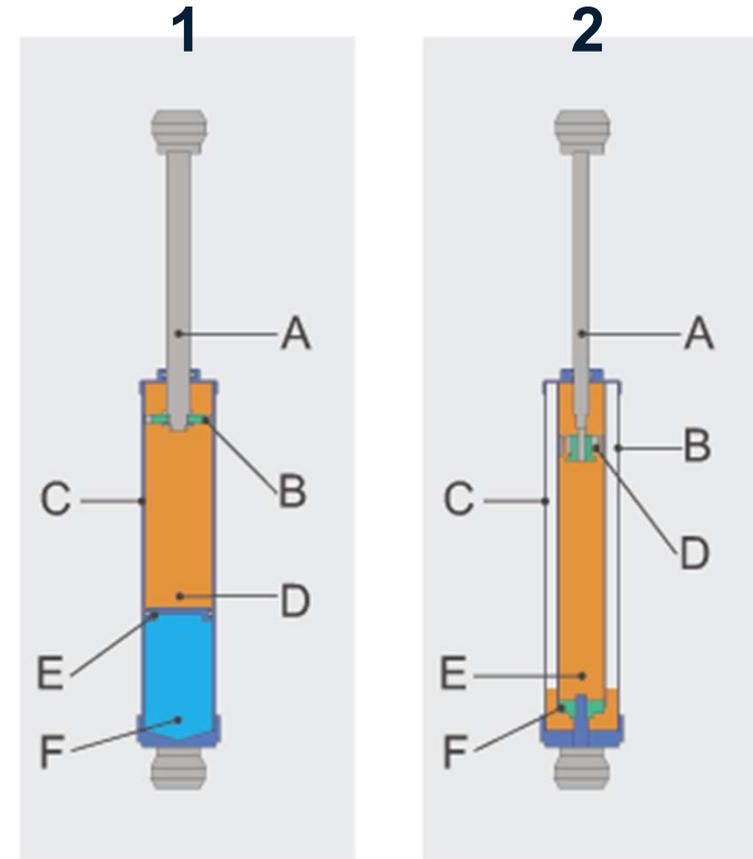


L'amortisseur hydraulique linéaire s'est généralisé pour s'adapter à tous les dispositifs de suspension, jusqu'à nos jours.

Avec une présentation coulissante, il faut tenir compte de **l'incompressibilité** de l'huile et de la variation du volume engendrée par la tige de piston.

Dans un premier cas, **1** un **faux piston** (E) délimite un volume de gaz comprimé capable d'absorber les variations de volume.

Dans un dispositif voisin, **2** un **double tube** (B) extérieur communique avec le cylindre principal et reçoit l'huile déplacée.

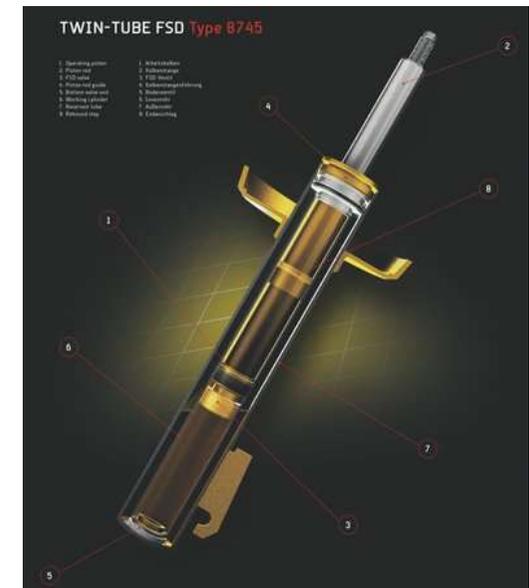
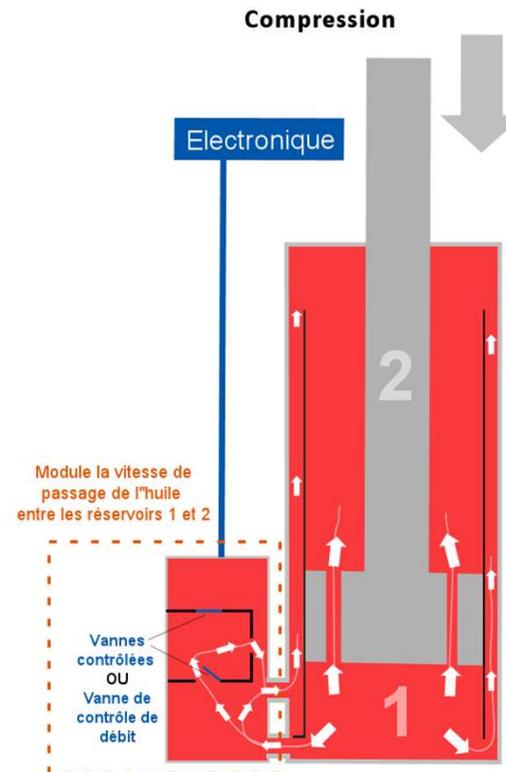


AMORTISSEMENT PILOTÉ

En installant des **vannes parallèles** commandées par l'ordinateur central, il est possible de modifier les effets d'amortissement, *roue par roue*, suivant les conditions de circulation.

Par exemple, dans un virage, on durcira la compression côté extérieur pour limiter l'inclinaison du véhicule et améliorer le confort.

Sur un terrain très accidenté, on favorisera l'absorption du contact avec un obstacle et le retour de la roue au sol.

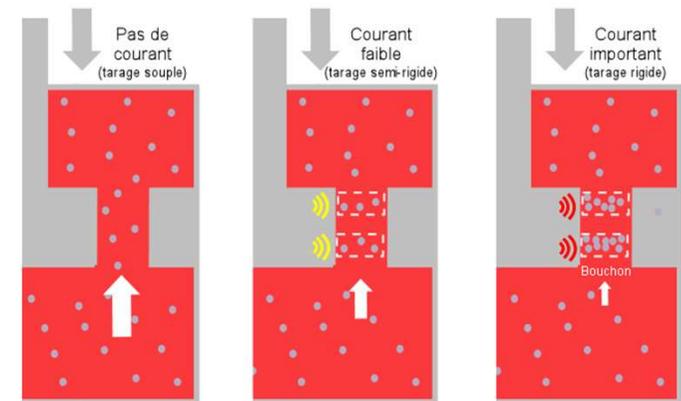
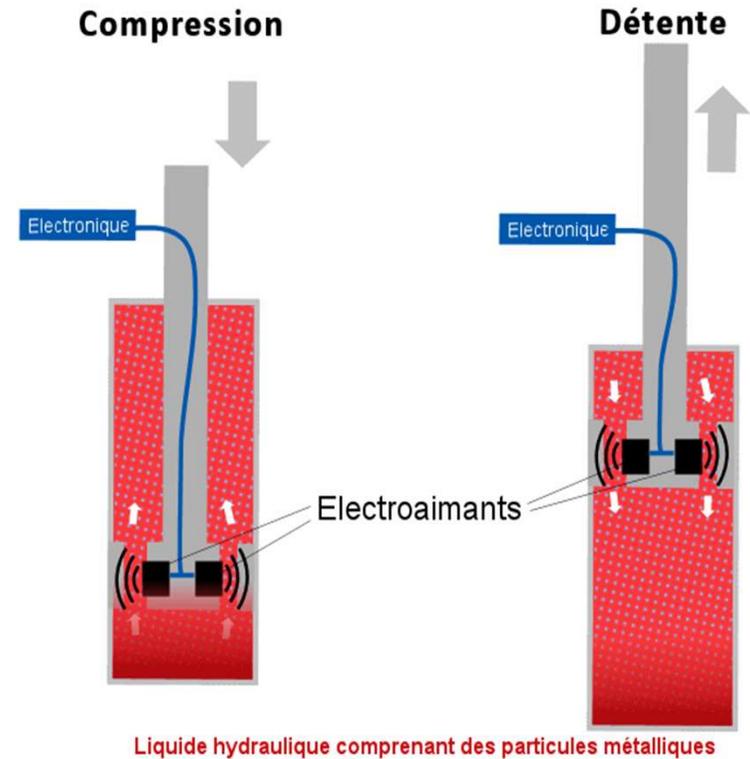


Dans le dispositif **d'amortissement magnétique**, on introduit dans l'huile de fines *particules magnétiques*.

Des électroaimants sont disposés autour des canaux où circule l'huile.

Suivant l'intensité du courant d'alimentation, les particules s'agglomèrent et freinent leur passage en modulant la réaction de l'amortisseur.

Ces effets analysés par **l'ordinateur** sont quasiment instantanés et indépendants de l'action du conducteur.



FIN DE LA 1^{ère} PARTIE

- SYSTÈME À RÉSOUDRE
- PNEUS
- SUSPENSIONS
- ESSIEUX

2^{ème} PARTIE À VENIR

- DIRECTION
- SÉCURITÉ ACTIVE
- FREINAGE

MOTORISATION

24 novembre 2020
1 décembre 2020

TRANSMISSION

16 mars 2021

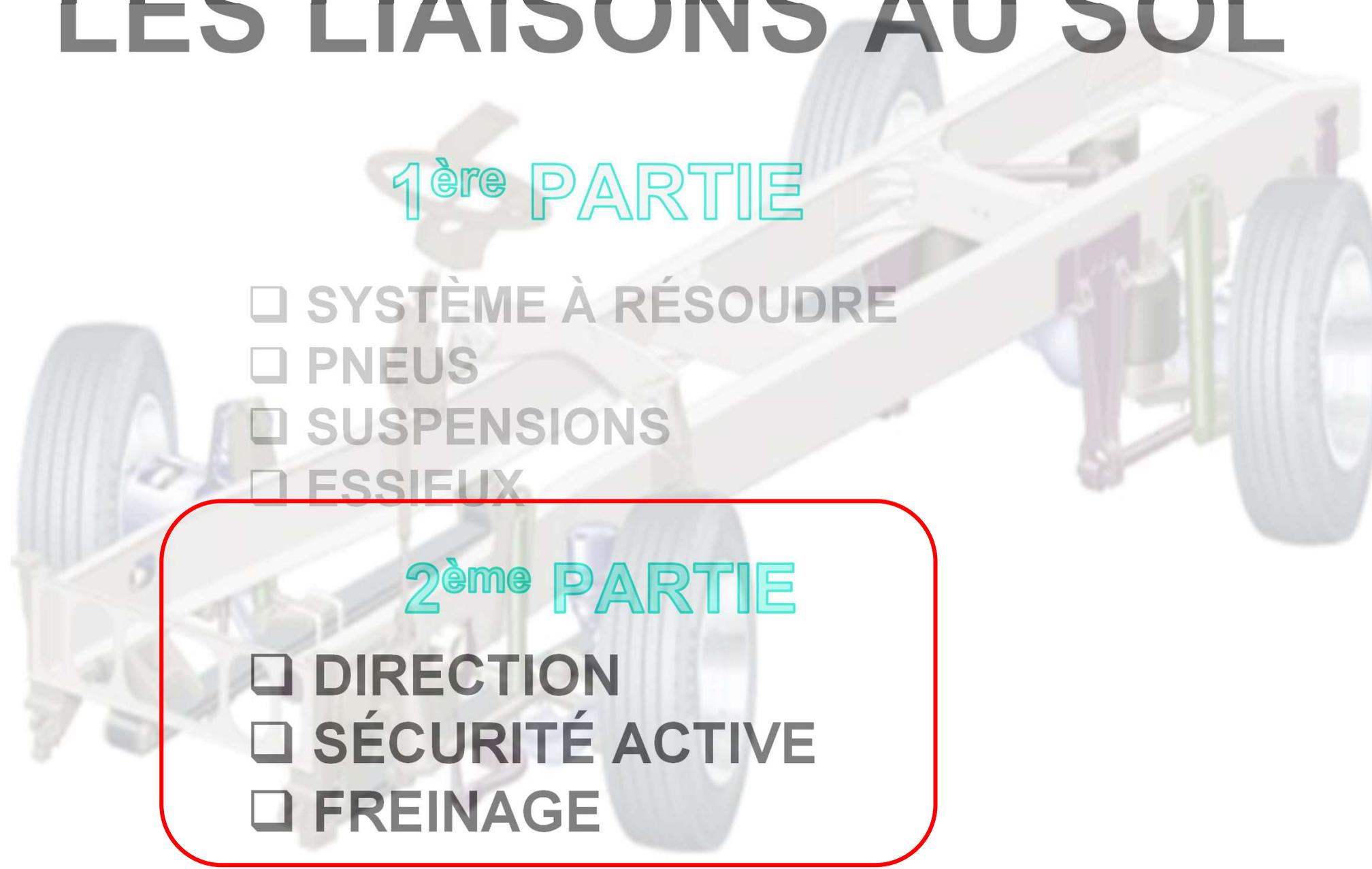
CONCEPTION D'UNE AUTOMOBILE

**LIAISON AU SOL
SÉCURITÉ ACTIVE**

18 et 25 mai 2021

SÉCURITÉ
PASSIVE

LES LIAISONS AU SOL



1^{ère} PARTIE

- SYSTÈME À RÉSOUDRE
- PNEUS
- SUSPENSIONS
- ESSIEUX

2^{ème} PARTIE

- DIRECTION
- SÉCURITÉ ACTIVE
- FREINAGE

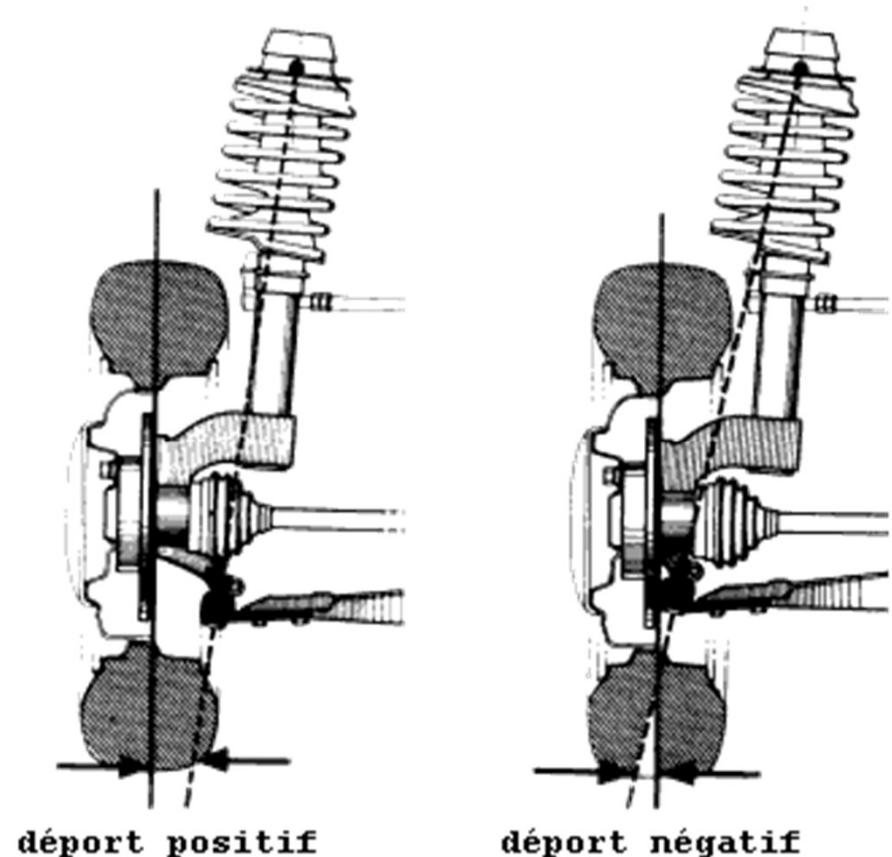
LA DIRECTION

Les roues avant, qui sont porteuses et directrices, doivent obéir à des impératifs de position et de mouvement.

Chaque roue peut s'orienter autour d'un **axe de pivotement** oblique dont la position conditionne le caractère d'évolution de la voiture.

Sur le plan latéral, un éventuel déport considéré **positif** vers l'intérieur du véhicule, ou **négatif** vers l'extérieur introduit des réactions dans la direction.

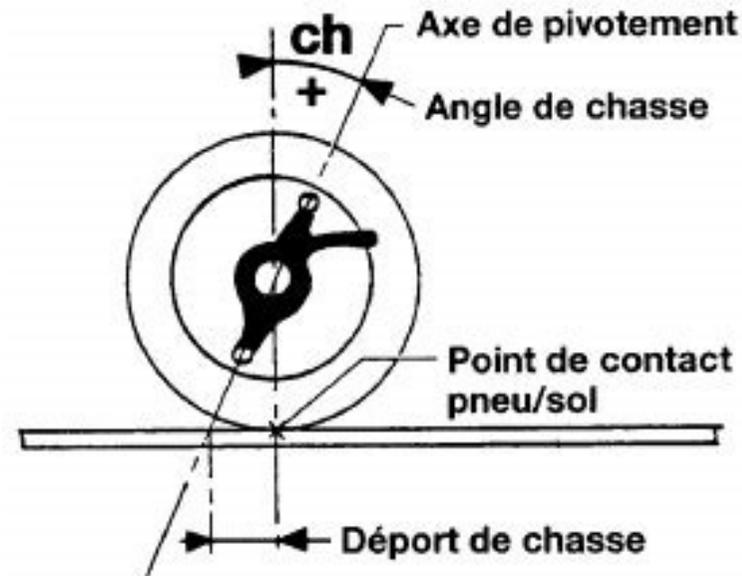
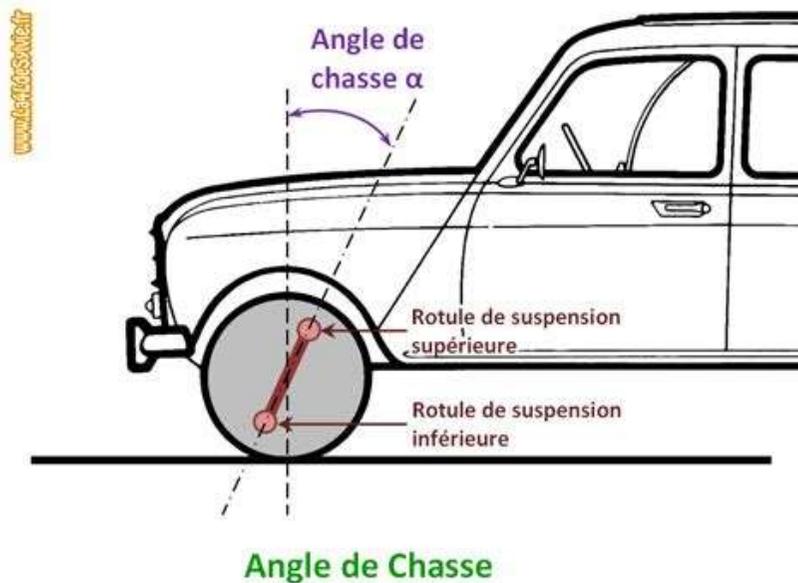
Pour une voiture destinée à un usage courant, le concepteur s'efforcera de limiter ces déports.



L'élément principal à considérer est la **surface de contact du pneu** avec le sol, proportionnelle à la charge supportée par chaque roue

Ce qui conduira à insister auprès des utilisateurs pour respecter les consignes sur le choix des pneumatiques préconisés.

L'angle formé longitudinalement est appelé "angle de chasse".

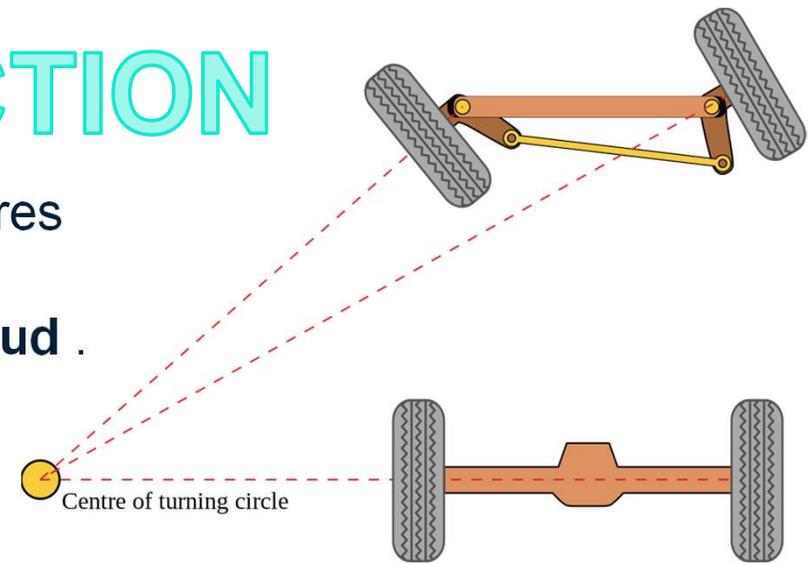
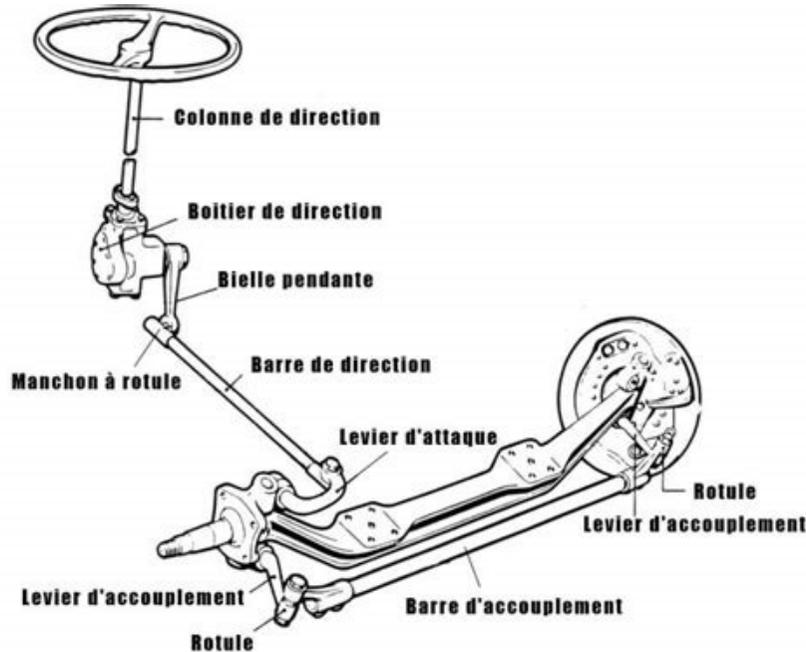


Le **déport de chasse** sur les roues avant d'une automobile contribue fortement à sa tenue de route, mais conditionne les efforts de manoeuvre qui remontent jusqu'au niveau du volant.

Le concepteur doit traiter un difficile **compromis** entre la **stabilité** et la **légèreté** de la direction.

ORGANES DE DIRECTION

Jusqu'à la deuxième guerre mondiale, les voitures équipées d'**essieux avant rigides** se prêtaient parfaitement à la géométrie de **Charles Jeantaud**.



Le volant commandait un **boîtier de direction** entraînant une bielle pendante elle même attachée à la barre d'accouplement qui reliait les leviers d'orientation de chaque roue.

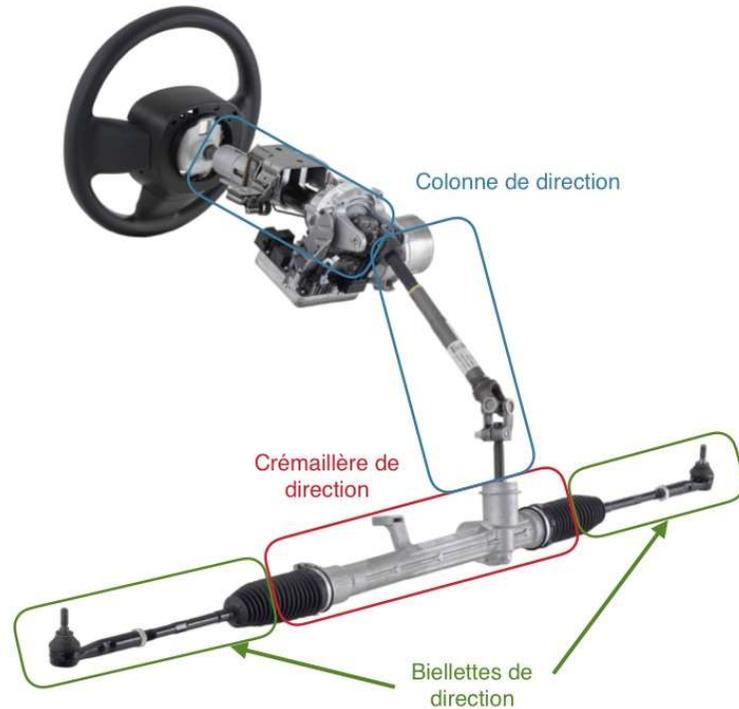
Avec l'apparition des **roues avant indépendantes**, ce système qui donnait de graves **aberrations de parallélisme** a dû être abandonné.

À partir de cette époque, on a utilisé un système dans lequel la barre **d'accouplement** était brisée en **trois parties**.

Cette géométrie assez complexe est maintenant au point, la **direction à crémaillère** ayant pris la place de la **barre d'accouplement centrale**.

LA DIRECTION À CRÉMAILLÈRE

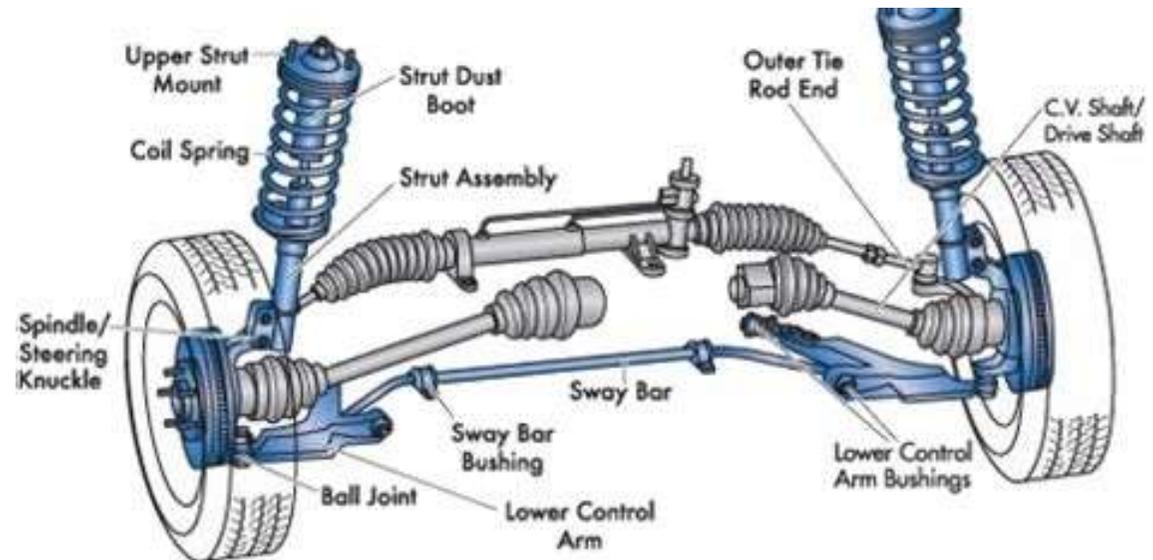
Avec ce dispositif qui équipe la quasi-totalité des voitures produites aujourd'hui, la barre d'accouplement centrale est remplacée par une crémaillère entraînée par un engrenage directement lié au volant.



Une **démultiplication** permet d'adapter l'effort à appliquer au niveau du volant.

Par ailleurs, la colonne de direction, qui est **scindée** grâce au montage de cardans, devient moins agressive lors d'un accident frontal et contribue à la protection du conducteur.

Les directions à crémaillères équipent pareillement les voitures les plus courantes à traction avant.



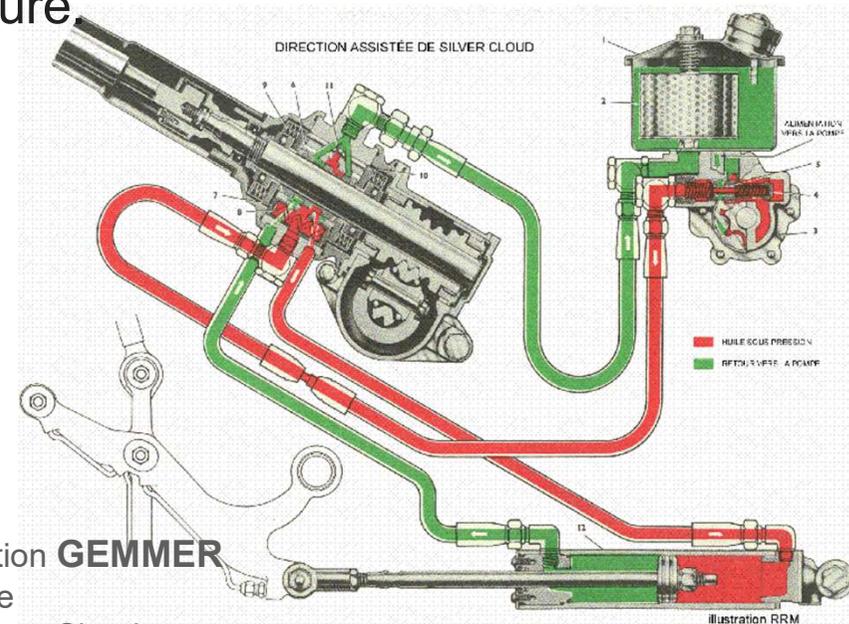
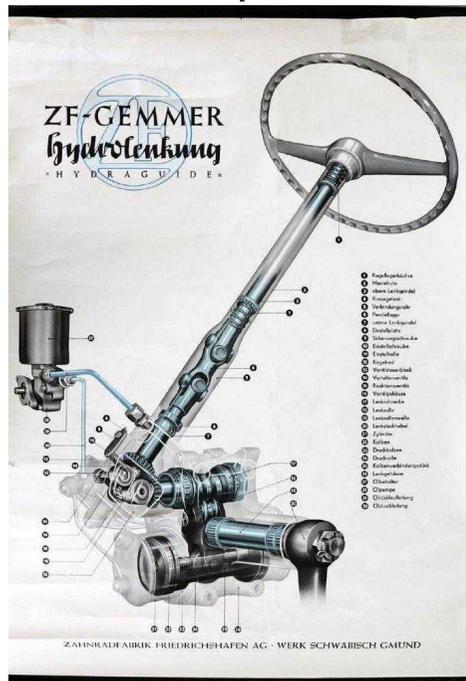
LES DIRECTIONS ASSISTÉES HYDRAULIQUES

C'est en **1951** que la direction assistée "**Hydraguide**" a été montée sur la **Chrysler Imperial**, une première dans la production d'automobiles.



La force complémentaire est appliquée par un **vérin à double effet** attelé à la barre d'accouplement ou à la crémaillère.

La pression hydraulique, maintenue constante, est fournie par une pompe entraînée par le moteur principal de la voiture.



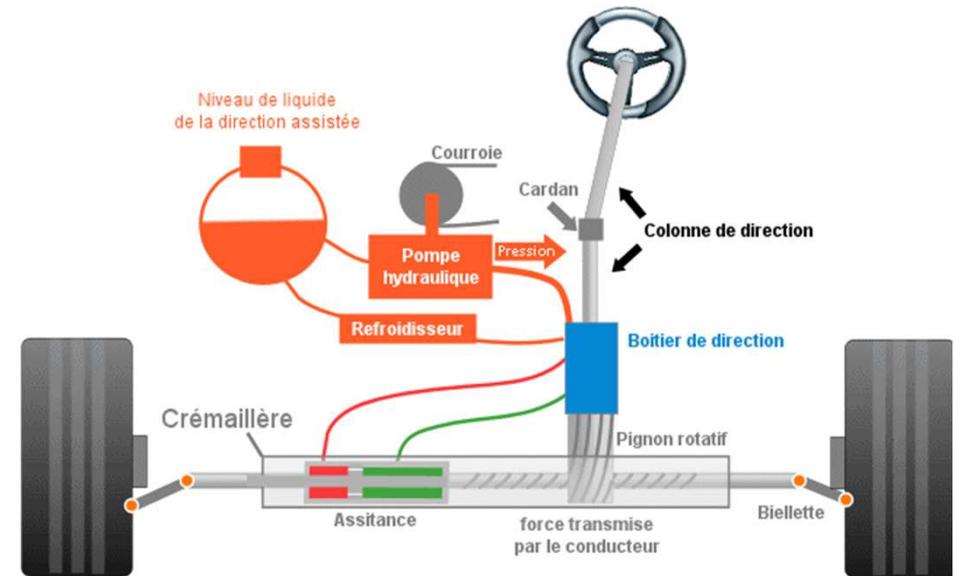
Montage d'une direction **GEMMER**
sur une
Rolls Royce Silver Cloud

Les directions assistées sont très efficaces, sur le plan du **confort de conduite** et sur celui de la **sécurité**.

Sur les grosses berlines américaines, la démultiplication exagérée de la commande de direction entraînait des **trajectoires imprécises** très instables. à la limite de la dangerosité.

Le rôle majeur de la direction d'une automobile impose un **fonctionnement irréprochable**.

Les composants **sont très délicats, donc très coûteux** et leur **maintenance** se doit d'être très suivie et ne tolère aucune faiblesse.

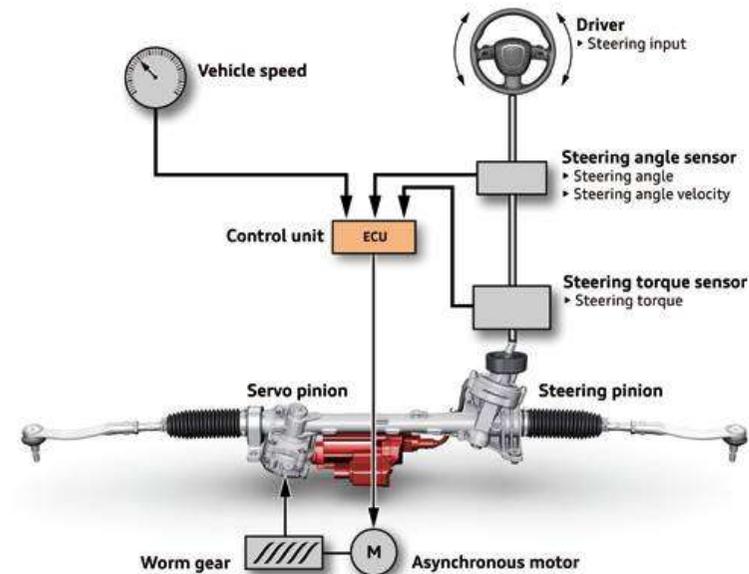
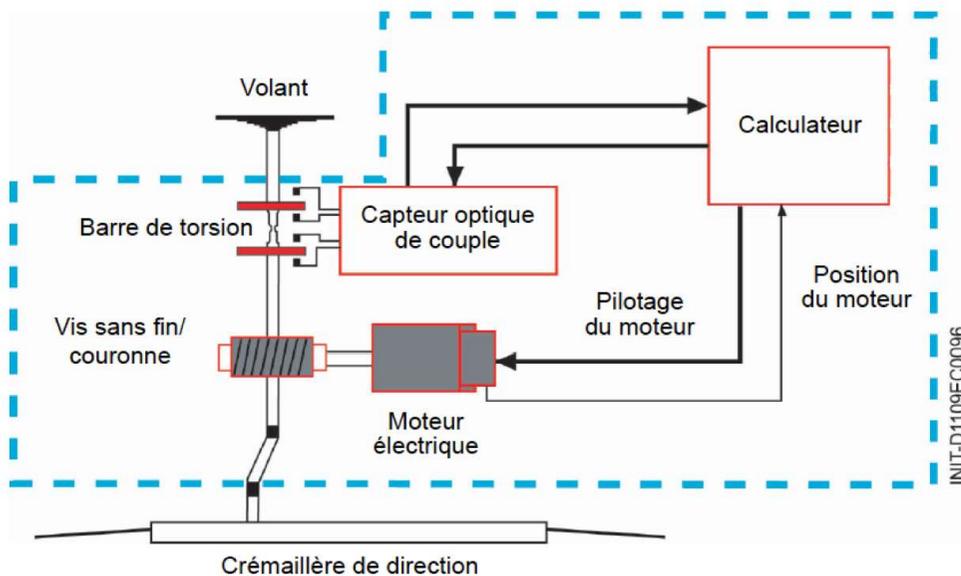
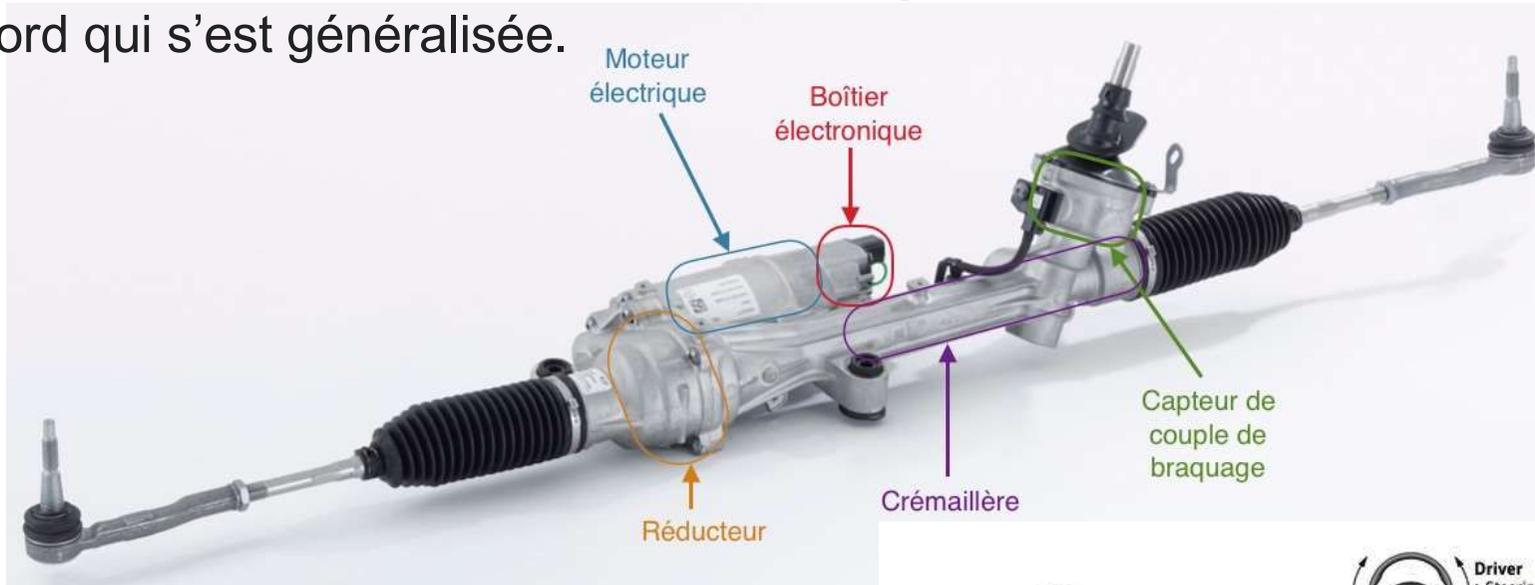


Un inconvénient très gênant se produit lors d'un arrêt inopiné du moteur de la voiture. La pompe hydraulique ne fournissant plus de pression, la direction devient excessivement difficile à manœuvrer, quelquefois dangereuse si la vitesse est assez élevée à ce moment.

Pour éliminer ce défaut, on a créé les **directions électro-hydrauliques** en entraînant la pompe par un moteur électrique indépendant.

La partie hydraulique est la plus délicate et aussi la plus coûteuse.

Pour adapter une direction assistée sur une majorité de véhicules, on a imaginé une **direction entièrement électrique** connectée à l'ordinateur de bord qui s'est généralisée.



L'APPORT DES DIRECTIONS ASSISTÉES

L'assistance de la direction des automobiles apporte des avantages multiples.

- Le **confort de conduite** est le plus évident et le plus avancé dans les publicités.
- C'est par un effet secondaire que la **sécurité** active a beaucoup progressé.

Aujourd'hui, on peut choisir un **angle de chasse** optimal pour assurer une grande stabilité, tous les efforts sur le volant étant nettement allégés.

- L'action de l'assistance permet de contrer aisément les **perturbations** entraînées par les éventuels déports du contact des pneus sur le sol.
- Le **rappel automatique** de la direction en fin de virage est amélioré.

LA DIRECTION DIRAVI

La DIRAVI (Direction à Rappel Asservi) est une direction assistée hydraulique à centre fermé, créée par l'ingénieur **Paul Magès** qui était chargé de la création du modèle Citroën SM, un coupé à tendance sportive basé sur la plateforme DS et animé par un moteur Maserati V6.



Le rappel en ligne droite est asservi hydrauliquement.

Cette force de rappel asservi et l'assistance variable en fonction de la vitesse permettent une directivité exceptionnelle et un contrôle sur route avec des gestes de faible amplitude, **2 tours de volant** suffisent de **butée à butée**.

L'assistance très prononcée compense la faible démultiplication à petite vitesse.

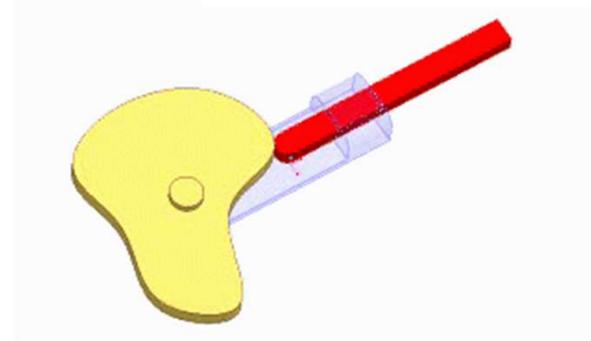
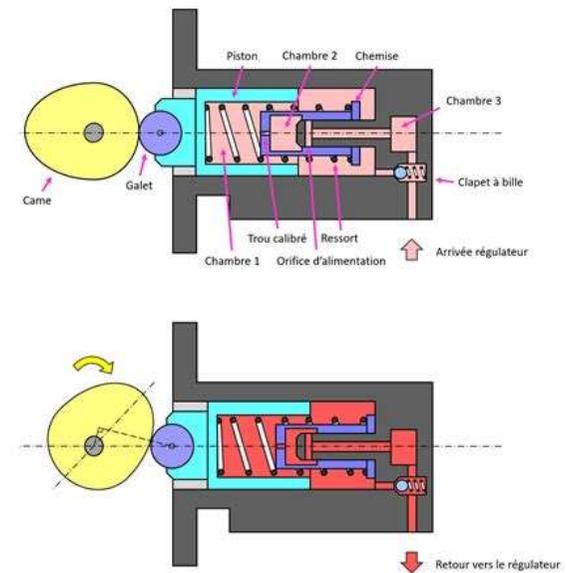
Cette direction ayant été diversement appréciée, une version assagie a été montée sur d'autres modèles, CX par exemple, avec amplitude augmentée.

À haute vitesse il n'y a plus d'assistance et la direction très directe est d'une **précision diabolique**, seul le rappel asservi fonctionne.

La colonne de direction est munie d'une came ovoïde, sur laquelle un galet est fortement pressé par un vérin hydraulique.

Quand les roues sont en ligne droite, le galet poussé par le vérin hydraulique, se trouve dans le creux de la came sans action sur la colonne de direction.

La rotation du volant entraîne la came dont la forme repousse de plus en plus le vérin qui tend à s'opposer au mouvement et neutralise progressivement la force de l'assistance.



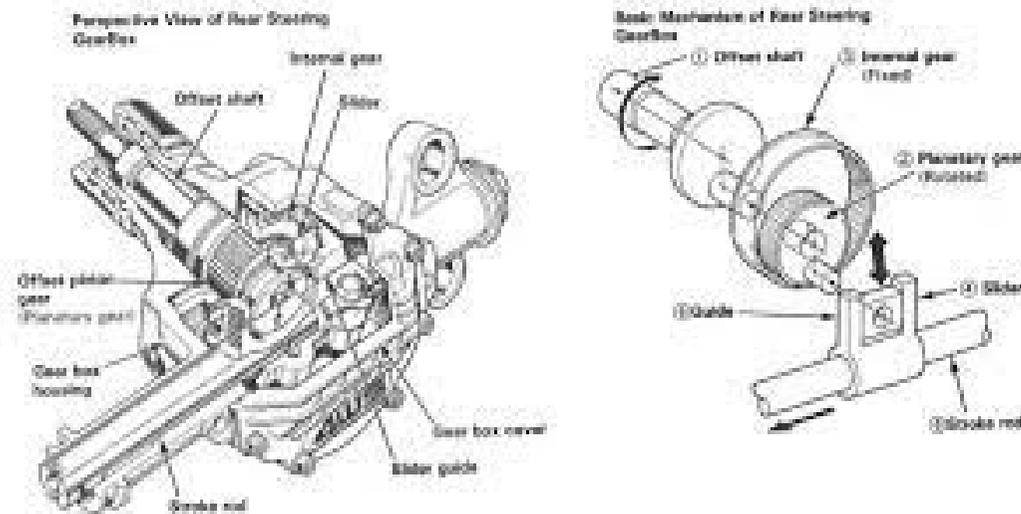
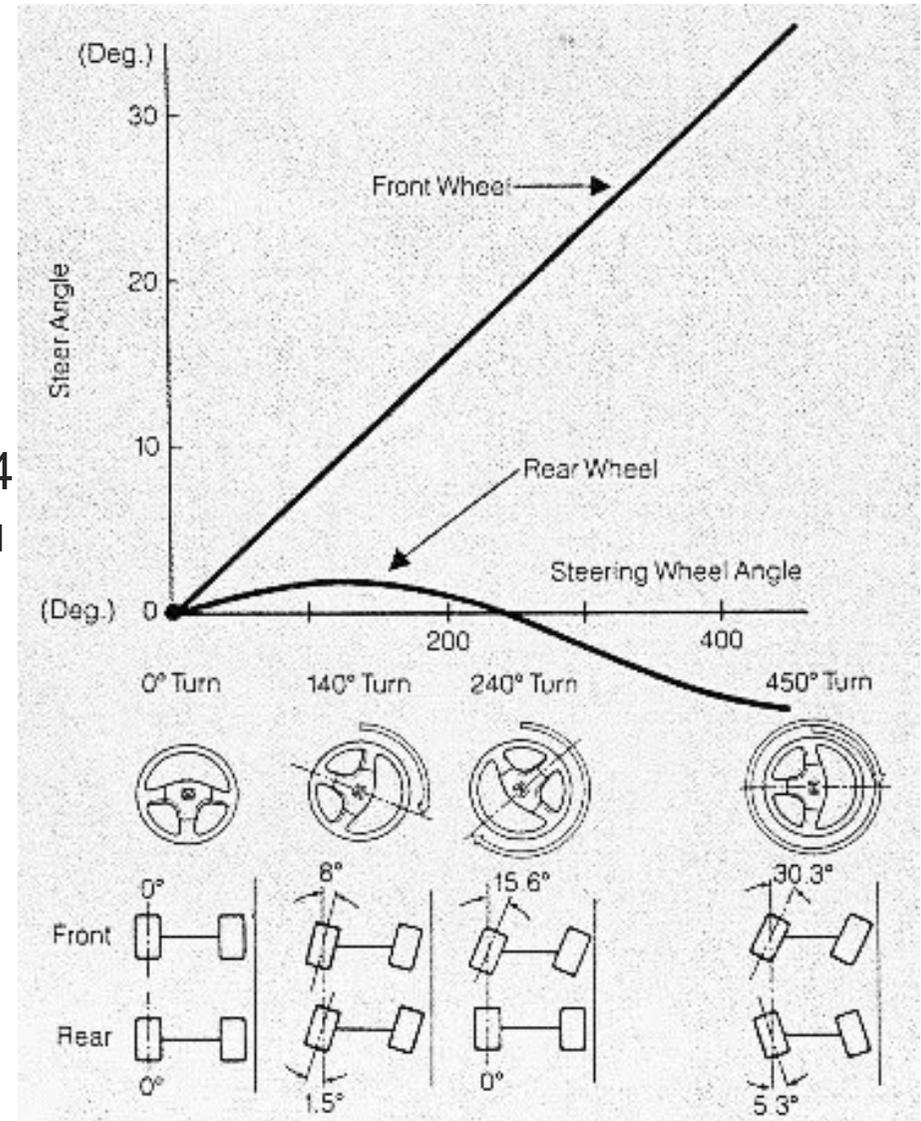
LES VOITURES À 4 ROUES DIRECTRICES

La Honda Prelude a bénéficié la première de cette technique en 1987.

Sans être monnaie courante, ce dispositif continue à être proposé en option par quelques constructeurs, dont Toyota et Renault.

L'originalité de la solution Honda tient à une particularité des engrenages **hepicycloïdaux** où un **ergot excentré** induit un premier mouvement rétrograde, suivi d'un retour positif.

Le schéma joint montre le résultat appliqué aux 4 roues d'un véhicule, en fonction de la position du volant.



LE FREINAGE

Le freinage est le troisième volet contrôlant les liaisons au sol.

Le rôle des freins consiste à **dissiper** tout ou partie de l'**énergie cinétique**, souvent en état d'urgence dans les aléas de la circulation.

L'énergie doit d'abord être emmagasinée dans la masse des organes de freinage puis évacuée dans l'atmosphère.

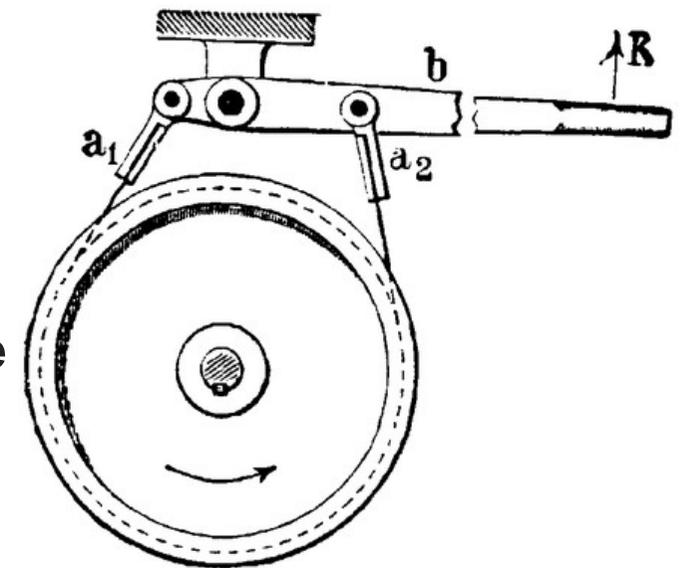
On envisage essentiellement le besoin d'arrêt complet à grande vitesse et on doit chercher à en limiter la distance parcourue.

Mais le plus difficile à résoudre est le contrôle de la vitesse dans une longue **descente en montagne** où il faut évacuer, **en continu**, l'énergie potentielle perdue par le changement d'altitude : **$M.g.\Delta H$**

Il est alors conseillé d'user du **frein moteur** en engageant un rapport convenable de la boîte à vitesses.

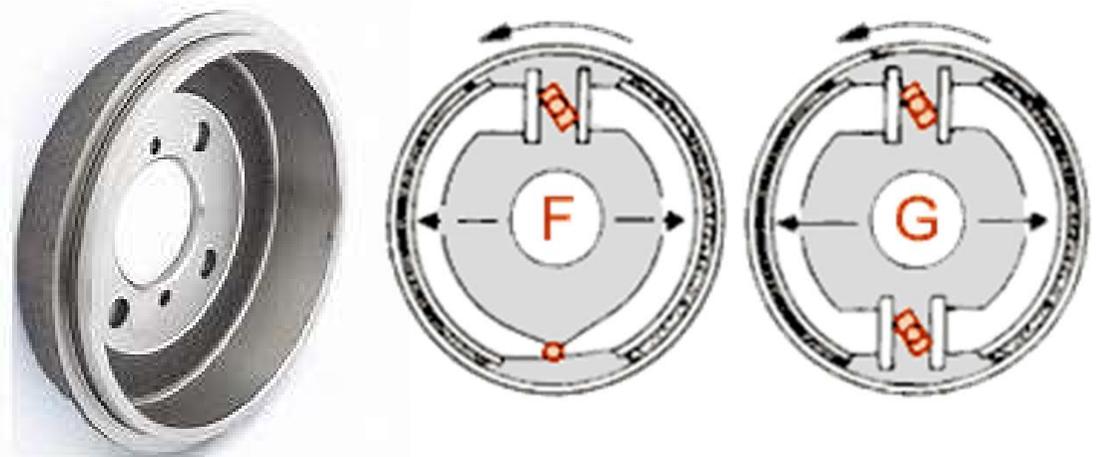
Les véhicules sortis au début des années 1900 étaient pratiquement démunis de freins efficaces.

En **1908**, la Ford Modèle T, dont on a déjà beaucoup parlé, disposait d'un frein composé d'une **sangle enroulée** autour d'une poulie montée sur l'arbre de transmission.



À la même époque, en **1902**, **Louis Renault** inventa le frein à tambour.

Un **frein à tambour** est un système de freinage comprenant une cloche, à l'intérieur de laquelle se trouvent deux **mâchoires** en forme d'arc de cercle munies de **garnitures de friction**.



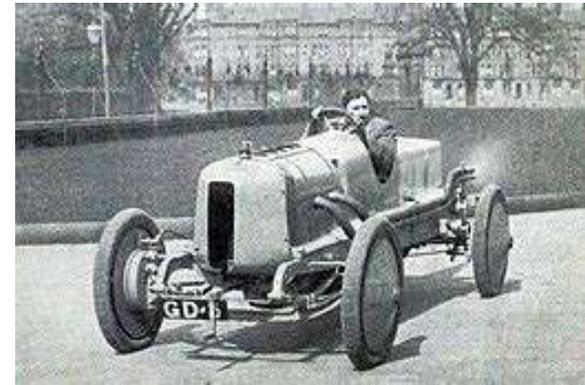
Sous l'action de comes, les mâchoires s'écartent et les garnitures viennent frotter sur l'intérieur du tambour.

Les comes sont actionnées par une commande mécanique, soit par des tirants rigides, soit par des câbles "**Bowden**", un système de transmission du mouvement sous gaine souple, inventé en 1902 par Frank Bowden.



La commande par câbles, et par la suite, la transmission hydraulique ont favorisé l'installation des freins sur les **roues avant**, un montage qui s'est généralisée vers les années 1920.

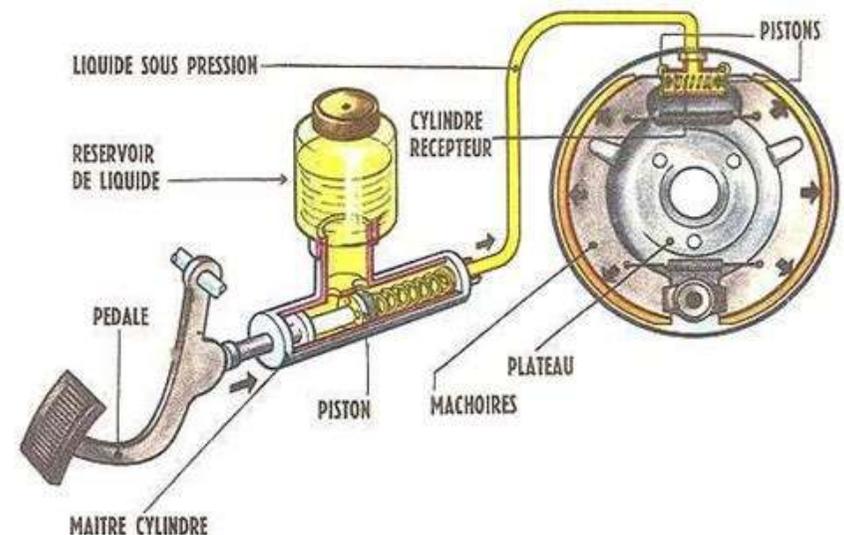
Henri Perrot, un ingénieur des **Arts et Métiers** (1899/1902) déposa un brevet en **1910**, relatif au "*freinage des roues avant des automobiles*". Appelé "**freinage intégral**" ce système s'est généralisé à partir de 1920.



Le premier frein à commande hydraulique est inventé en 1919 par l'Américain **Malcolm Lockheed**.

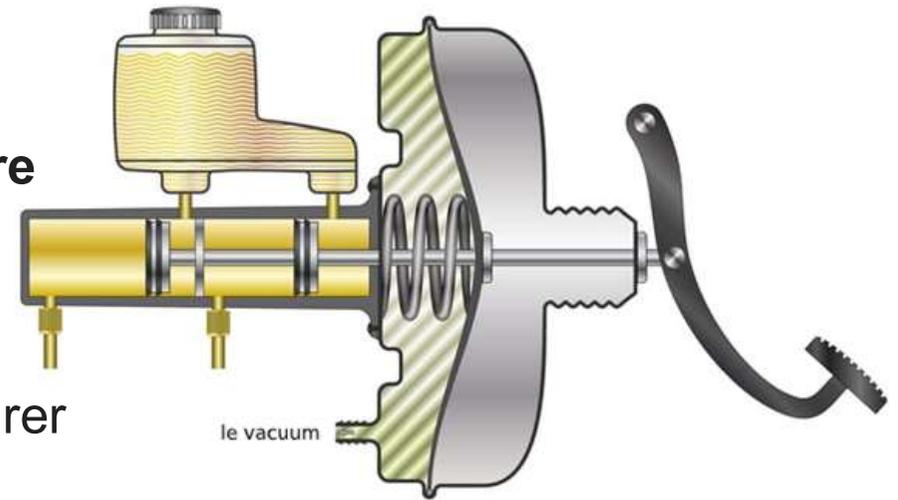
La Lockheed Hydraulic Brake Company deviendra **Bendix** en 1932

Les véhicules **Chrysler** seront les premiers équipés en 1924.



Un amplificateur de poussée est intercalé entre la pédale de frein et le **maitre cylindre** du frein.

On utilise la **dépression** dans le collecteur d'admission en position de ralenti pour aspirer une membrane attachée au piston qui comprime l'huile.



Sur un **moteur diesel** qui fonctionne toujours à **pleine ouverture**, cet amplificateur est inutilisable et on a dû ajouter une **pompe à vide** entraînée par la courroie destinée aux accessoires.

Le principal défaut des freins à tambour vient de leur mauvaise évacuation de la chaleur emmagasinée pendant un freinage, principalement à cause de leur situation très mal ventilée.

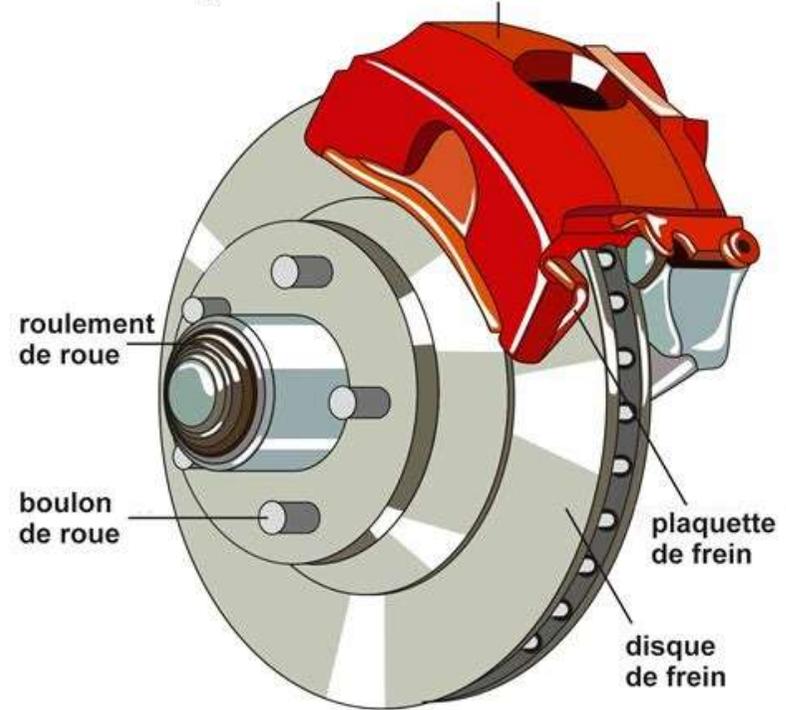
Un échauffement trop élevé dégrade leur action en particulier par la déformation de la bande de frottement qui devient conique avec un contact imparfait des garnitures de friction.

FREIN À DISQUE

C'est un système utilisant un disque, fixé sur le moyeu de la roue, et des plaquettes de friction, venant frotter de chaque côté du disque.

Les plaquettes sont maintenues dans un **étrier** et poussées par un ou deux pistons sous la pression du circuit hydraulique.

Systeme d'etrier de frein



Le disque est plus léger que le tambour et ses deux faces étant en contact avec l'atmosphère, il est **mieux ventilé** et se refroidit plus facilement surtout si des **conduits internes** permettent une circulation d'air.

En aviation, ce type de frein étant plus léger est utilisé depuis très longtemps, sous la forme particulière d'un empilement "en sandwich" de plusieurs disques, alternés avec un plateau de friction..

Dans le domaine automobile, on doit à **Jaguar** le développement du frein à disque monté sur une évolution de son **Type C** préparé pour les *24 Heures du Mans de 1953*, en collaboration avec les ingénieurs de **Dunlop et Girling**.

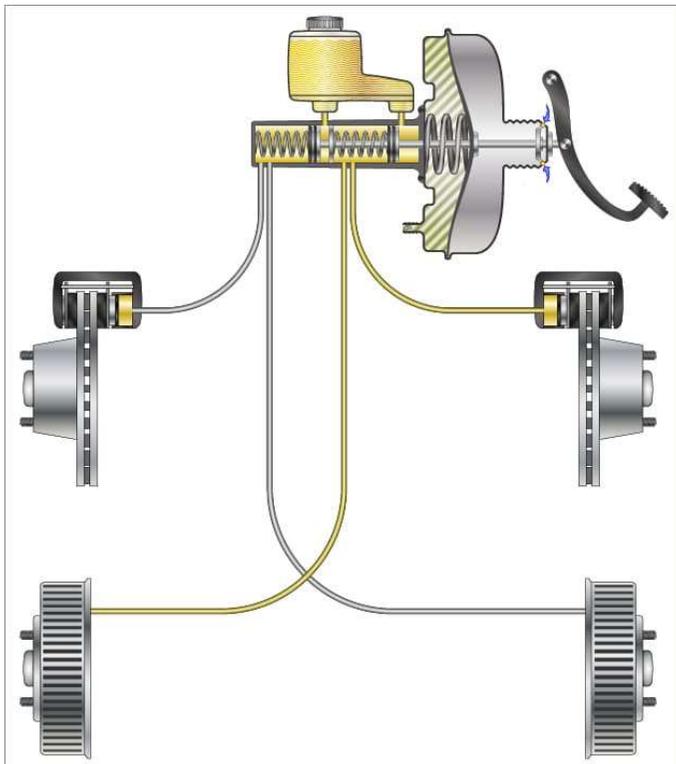


La **Citroën DS-19** est la première voiture de grande série dotée d'un système de freinage avec disque à l'avant, présentée au Salon de Paris au Grand-Palais le 6 octobre 1955.

L'utilisation des freins à disque s'est rapidement développée.

La législation oblige à prévoir un système de frein de **stationnement**, à **commande à main**, avec possibilité de verrouillage.

Obligatoirement mécanique, le système est plus facile à incorporer dans un frein à tambour avec une commande par câble Bowden sous gaine..



Les voitures qui possèdent un frein à main sur des disques montés à l'arrière sont équipées d'un **étrier auxiliaire** possédant son propre jeu de plaquettes, et actionné par des **câbles depuis un levier verrouillable** situé sur le plancher de l'habitacle.

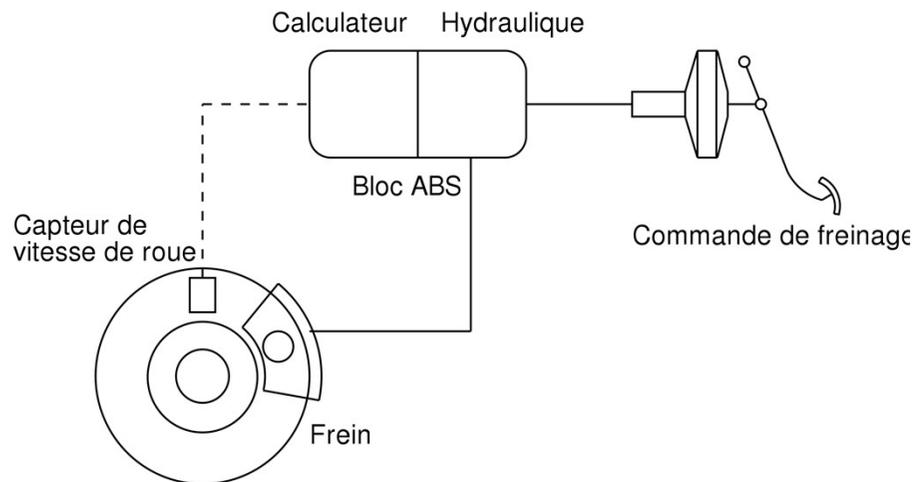
L'ensemble du dispositif de freinage est représenté par le schéma hydraulique ci-contre.

Le **système anti-blocage des roues**, plus connu sous le sigle **ABS** (de l'allemand : *Antiblockiersystem*), est un dispositif d'assistance au freinage limitant le blocage des roues pendant les périodes de freinage intense.

Si l'intensité du freinage dépasse la capacité d'adhérence des pneus, les roues se bloquent et patinent.

Une roue immobile a perdu toute **action directionnelle** et le véhicule n'est plus contrôlable.

Le système régule la pression de freinage autour du **point de blocage** de la roue par une succession rapide de blocages/déblocages que l'on ressent en général à la pédale de frein qui se met à vibrer au rythme des variations de pression du circuit de freinage.



Le **système ABS** est constitué d'un **capteur de vitesse** pour chaque roue, d'un **calculateur électronique** et d'un système de **régulation hydraulique** de la pression de freinage.

Le **système anti-blocage des roues** permet de conserver la directivité du véhicule afin d'effectuer une manœuvre d'évitement éventuelle, tout en optimisant la distance de freinage.

Le frein de **stationnement électromécanique** a pour fonction d'immobiliser le véhicule à l'arrêt, afin de l'empêcher de bouger de façon inopinée.

Les roues peuvent être immobilisées à l'aide d'étriers de frein actionnés par un **moteur électrique**.

L'enclenchement du système s'effectue soit par un contacteur soit par l'**ABS** à l'arrêt du véhicule.

Le démarrage en côte : Le capteur associé aux capteurs d'ABS sur chaque roue, permettant de détecter le recul de la voiture, les bloque jusqu'à ce que le conducteur embraye, facilitant ainsi le démarrage en côte.

Conformément à la législation, il existe toujours une **commande annexe mécanique**, permettant de verrouiller ou déverrouiller le frein de parking en cas de défaillance de la commande électrique

SÉCURITÉ ACTIVE

Les systèmes de **sécurité active** sont destinés à éviter les accidents.

Les systèmes de **sécurité passives** doivent minimiser les séquelles et les blessures provoquées par un accident.

Depuis 2004, la législation européenne impose l'équipement ABS en série à l'ensemble des nouvelles voitures commercialisées dans l'Union.

Tous les progrès accomplis dans le domaine des liaisons au sol, les pneumatiques, les suspensions et les organes de direction ou de freinage, ont participé à l'amélioration de la sécurité active.

Sans la généralisation des **aides à la conduite électroniques**, nous n'aurions certainement pas enregistré une baisse aussi spectaculaire du nombre d'accidents.

Les radars de proximité devenus omniprésents ont été programmés pour assister le conducteur face à un danger imprévu ou à un instant de distraction.

ESP (correcteur de trajectoire)

L'ESP est un programme d'antidérapage qui utilise divers systèmes de gestion électroniques avec les mêmes capteurs que l'antipatinage ABS.

La détection des pertes d'adhérence en virage permet de les contrecarrer en freinant une ou plusieurs roues pour améliorer la tenue de route.

Système Automatisé de maintien dans la voie

C'est un système de conduite autonome de véhicule capable de maintenir un véhicule dans sa voie de sécurité, par exemple sur une route à caractéristique autoroutière.

Des caméras réagissent si le véhicule tend à franchir les lignes qui définissent la voie alors que le conducteur n'a pas manifesté son intention en allumant ses clignotants.

Des signaux sonores précèdent une réaction sensible sur le volant.

Tous ces contrôles et les actions exercées sont indépendants du conducteur.

Freinage d'urgence automatisé

Les résultats des tests de sécurité effectués sur circuit, montraient que le temps moyen de réaction avant d'appuyer sur la pédale de frein était de **2 à 3 secondes**.

Ce laps de temps peut sembler court, mais il est suffisant pour parcourir une distance d'une **centaine de mètres** lorsque l'on circule à 120 km/h.

De plus, un usager distrait aura besoin d'un délai supplémentaire pour réagir, augmentant ainsi le risque de collision.

Des capteurs radar et/ou vidéo ont pour mission de surveiller la zone située à l'avant d'une automobile ainsi équipée.

Si un obstacle se rapproche dangereusement du véhicule, le conducteur sera d'abord alerté par une alarme sonore, mais si ce dernier ne réagit pas, le freinage autonome entrera en action.

Le freinage d'urgence automatisé, de plus en plus populaire en Europe, pourrait devenir obligatoire pour tous les véhicules neufs.

Freinage régénératif

C'est un mode de freinage propre aux véhicules électriques et hybrides dont le principe consiste à réaliser la **transformation de l'énergie cinétique** de la voiture, en **énergie électrique** réintroduite dans la batterie.

Pour ces véhicules, les constructeurs proposent deux systèmes pour réaliser cette **récupération**.

D'un côté, le simple **lever de pied** qui permet de décélérer, ou l'**action sur la pédale** qui conduit jusqu'à l'arrêt avec l'ajout de l'action des freins mécaniques.

Au départ, le conducteur peut choisir le **mode D** (*Drive*) qui propose la marche-avant classique où l'alimentation **électrique cesse** au lever du pied.

Avec le **mode B** (*Brake*) le lever de pied installe d'office **l'équivalent du frein moteur** d'un véhicule thermique.

Le mode B combiné à une **conduite avec anticipation** permet de réguler l'approche d'un lieu d'arrêt **sans toucher au frein** qui sera simplement maintenu jusqu'au redémarrage.

Toutefois il faut préciser que la seule **énergie cinétique récupérable** sera celle **non indispensable** à la continuation du mouvement du véhicule, c'est à dire la seule qu'on serait **obligé d'éliminer par freinage**.

Un simple ralentissement sans toucher au frein est engendré par les forces dues aux multiples **déformations des pneus**, aux divers **frottements internes**, et à la **trainée aérodynamique**.

La publicité, établie à l'intention des personnes n'ayant quasiment aucune notion de mécanique de base, laisse croire à une récupération providentielle.

*En 1996, Monsieur Joseph Beretta, Chef de l'unité de recherche "Véhicules Électriques" à la Direction des Recherches et Affaires Scientifiques de PSA disait que cette **fonction** n'était que **publicitaire**.*

C'est vrai qu'à l'époque on ne disposait que de simples moteurs à courant continu et que les réglages pour assurer le double emploi moteur/générateur conduisait à en dégrader le rendement.

C'est probablement une des raisons qui amena Toyota à concevoir la Prius où on trouvait **deux machines électriques**, un moteur **M1**, et une génératrice **M2**, attachées aux **deux opérations distinctes**.

AUTRES APPLICATIONS ÉLECTRONIQUES

Un **régulateur de vitesse** (ou *cruise control*) est un système électronique destiné à stabiliser automatiquement la vitesse des véhicules automobiles. Le conducteur fixe la vitesse à laquelle il veut rouler puis l'automatisme prend le relais et maintient la vitesse définie.

Ce régulateur de vitesse maintient une vitesse fixe sans aucun contrôle du conducteur sur l'accélérateur.

Freiner ou débrayer désactive le régulateur de vitesse, il faut ensuite le réactiver.

Le **limiteur de vitesse** (ou *DLRV*) est une fonction de bridage électronique de la vitesse maximale du véhicule qui permet au conducteur de gérer la conduite : ralentir, s'arrêter, repartir, sans dépasser la vitesse limite programmée.

Un **radar de régulation de distance** (ou *adaptive cruise control*), est un ajout au système de régulateur automatique de vitesse que l'on retrouve sur certaines automobiles modernes.

L'appareil utilise un radar ou un laser pour mesurer la distance et la vitesse d'approche d'un véhicule précédant l'utilisateur ce qui permet d'ajuster la vitesse automatiquement afin de maintenir une distance de sécurité pour éviter la collision.

LE FREINAGE DU FUTUR

Concrètement, le frein électronique ne serait plus actionné par un circuit hydraulique et par des maître cylindres, mais par une commande électrique reliée à un système informatique, qui pourrait même être paramétrable, laissant ainsi le choix du "ressenti" à la pédale.

On actionne le système **Brake by Wire**, (frein piloté électroniquement) en appuyant sur la pédale de frein, comme avec un système hydraulique traditionnel.

Le capteur de course de la pédale qui est soutenue par un ressort taré mesure sa position et envoie l'information au calculateur.

Le calculateur élabore le signal en provenance du capteur de la pédale et envoie la commande aux actionneurs **électromécaniques** qui convertissent l'impulsion électrique en force de serrage de l'étrier de frein.



MOTORISATION

24 novembre 2020
1 décembre 2020

TRANSMISSION

16 mars 2021

CONCEPTION D'UNE AUTOMOBILE**LIAISON AU SOL
SÉCURITÉ ACTIVE**

18 et 25 mai 2021

**SÉCURITÉ
PASSIVE**

2 novembre 2021

Diapositive 1

MR1

Marc Razaire; 22/03/2021

François ANDRIUSSI novembre 2021

LA SÉCURITÉ PASSIVE

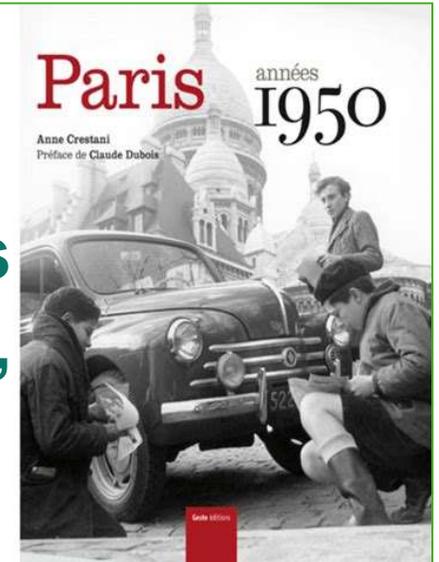
DES VOITURES PARTICULIÈRES



HISTORIQUE ET PREMIERS TRAVAUX DANS LE DOMAINE DE LA SÉCURITÉ PASSIVE.

Jusqu'au début des années 50 :

- quelques dispositifs pour minimiser les effets des accidents sur les passagers, ***mais pas systématiques***
- une circulation très ***limitée***, et des accidents considérés comme une fatalité
- des collisions principalement dues à la ***négligence*** de conducteurs alcoolisés



- C'est la recherche des performances, qui occupait les laboratoires.

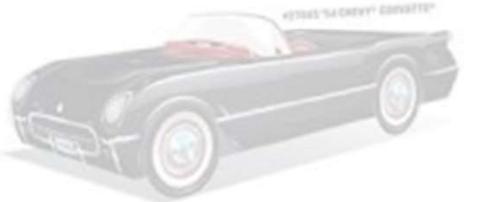
- Principaux sujets d'études : le style et l'originalité des carrosseries.

- La sécurité active apportait plus de confort, évitait les pannes et réduisait les coûts des réparations.

- Aux USA, la qualité des équipements automobiles était évaluée suivant les devis de réparation après accident.



FORD FAIRLANE HOT ROD VARIETY



FORD VARIETY

FORD FAIRLANE VARIETY

CHEVY® HOT ROD VARIETY

LES ORGANISMES QUI TRAITENT DE LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE

1961 : Création de l'**ONSER**,
(**O**rganisme **N**ational de **SÉ**curité **R**outière) :
qui procédait aux recherches de toutes natures sur les
accidents de la circulation routière et sur les mesures
destinées à accroître la sécurité.

1985 : L'**INRETS**, est formé par la réunion de l'**ONSER** et
de divers **IRT** (**I**nstituts de **R**echerche **T**echnologique).

- Le **L.I.E.R**, est un laboratoire installé sur une surface de 30 ha dans la zone aéroportuaire de Lyon Saint-Exupéry.
- Ses pistes comportent principalement 4 zones permettant de réaliser des essais de choc en grandeur réelle,
- Le 1er janvier 2011, naissance de l'**IFSTTAR**, par la fusion de l'INRETS et du Laboratoire central des Ponts et Chaussées.



- **Ces organismes sont essentiellement concentrés sur les études et les réalisations relatives au réseau routier.**

Les études et l'adaptation des dispositifs destinés à équiper tous les ***véhicules usagers*** de l'ensemble du réseau routier, incombent aux ***constructeurs***.

Nous n'aborderons que la partie relative aux voitures particulières.

Des laboratoires procèdent à des tests où des experts contrôlent et valident les dispositifs de sécurité installés par les constructeurs.

Ils s'assurent ainsi que les ***normes*** promulguées sont bien respectées.

- Parmi les premières normes mises en application

- Rouler à droite.

- La plupart des pays européens, américains et asiatiques ont choisi le sens de circulation sur la voie de droite. Beaucoup d'anciens membres du Commonwealth, (l'Inde, l'Australie) et le Japon ont choisi la gauche.

- Il y a 49 ans, le 3 septembre 1967, la Suède cessait de circuler à gauche pour rouler à droite . C'est le 26 mai 1968 que l'Islande a changé le sens de circulation, passant de la gauche à la droite¹



Février 1925,

- l'Automobile Club de Paris réunit les constructeurs de pare-chocs et les constructeurs d'automobiles pour convenir d'une hauteur de pare-chocs fixée à :

**53 centimètres
au-dessus du sol.**

La normalisation des dispositifs d'éclairage a été plus lente.

- En **1934**, l'Académie des Sciences avait établi que les phares jaunes limitaient l'éblouissement des conducteurs.
- Elle avait aussi stipulé que par temps de pluie ou de brouillard, la couleur jaune augmentait les **contrastes**, et améliorait la visibilité.



- Depuis le **1er janvier 1993**, on peut éclairer la route comme on veut.

LA THÉORIE DES CHOCS

La grande majorité des accidents de la circulation automobile est causée par des collisions.

En physique dynamique, on étudie les déplacements d'un élément matériel en considérant sa **quantité de mouvement**, représentée par le *produit de sa masse par sa vitesse* :

$$Q_m = M L T^{-1}$$

La notion de quantité de mouvement peut être associée à celle de l'**impulsion** qui est le *produit d'une force par un temps* :

$$I_m = M L T^{-2} \cdot T = M L T^{-1}$$

Ces deux fonctions ont la même "équation aux dimensions".

En cas de choc entre éléments matériels, 2 états extrêmes :

✓ Le choc MOU

✓ Le choc DUR

Le choc "MOU" illustré par la collision d'une boule de "mastic", réputé sans aucune élasticité, contre une surface parfaitement rigide.

Après le choc, la quantité de mouvement de la masse de mastic disparaît totalement, la matière **reste inerte**.

Le choc "DUR" qui peut être représenté par la collision d'une boule d'acier dur contre la surface rigide d'un bloc lourd.

La boule **rebondit** et repart en sens inverse avec une quantité de mouvement ayant changé de sens.

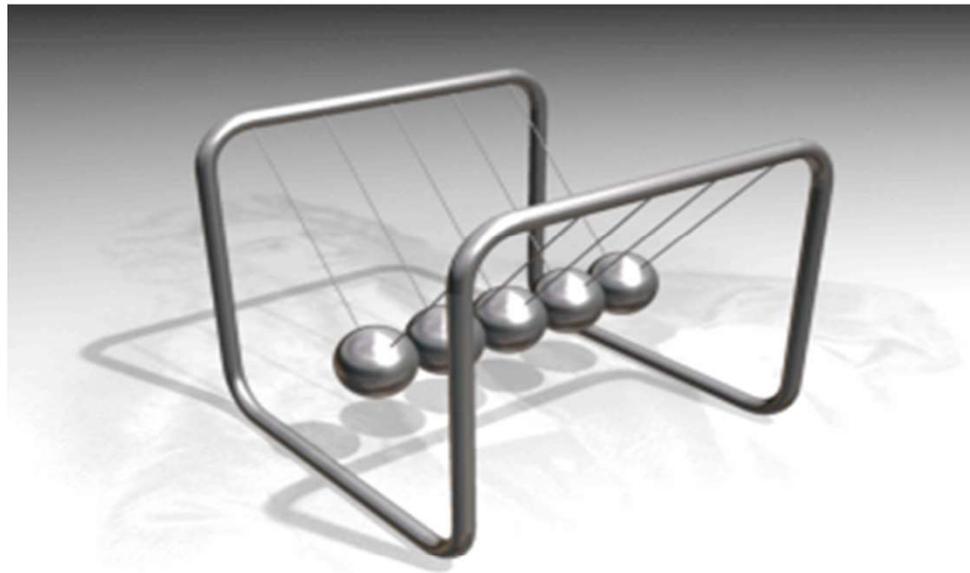
Le rapport entre les quantités de mouvement entrante et sortante est appelé coefficient de "restitution".

Le cas particulier de collision de deux boules de masse et d'élasticité identiques (*acier/acier* ou *ivoire/ivoire* dans la pétanque ou le billard), conduit ***au transfert*** des *quantités de mouvement*.

C'est le "***carreau***" parfait à la pétanque où la boule percutée continue sur la trajectoire de la boule entrante qui reste immobile.

m

m



Le pendule de Newton est une illustration du transfert de la *quantité de mouvement*.

**Dans la conception de la structure globale
d'une automobile, on va chercher à
s'approcher le plus possible des**

chocs "mous"

ou

chocs "durs"

suivant la partie considérée.

À la base, on définit une zone centrale
comme étant une

cellule de survie

rigide et indéformable,
capable de supporter les chocs occasionnés
par la collision.

Dans la cellule seront installés les passagers
et tous les dispositifs internes de protection
individuels.

La cellule est entourée **d'éléments déformables** par froissement, si possible sans élasticité, pour assurer au mieux la dissipation de l'énergie cinétique du véhicule et de ses occupants.

Cette annulation d'énergie s'appuiera sur la notion d'impulsion négative comprenant une force destructrice pendant un temps très court, la vitesse passant ainsi à zéro par d'énormes décélérations très dommageables pour les passagers.

L'énergie cinétique, sous la forme :

$$E = 1/2 M V^2$$

disparaitra par le travail d'une force **F** accompagnant la déformation ΔL globale de la structure.

$$E = F \cdot \Delta L$$

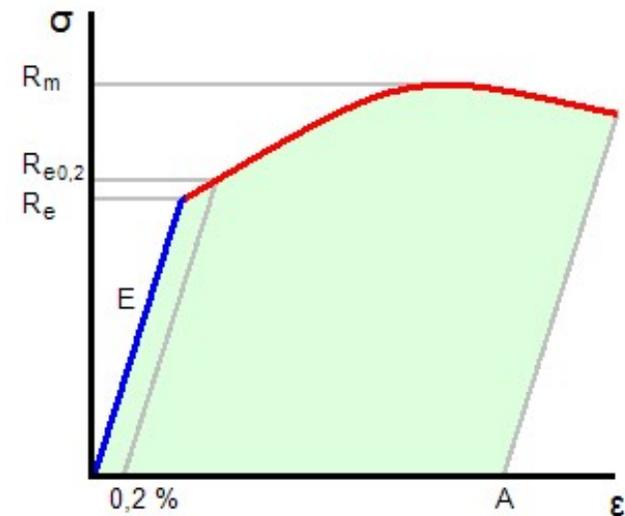
Ces zones de déformation, situées dans les parties avant et arrière des véhicules, existent depuis les années 70.

Les autos actuelles utilisent différents types d'acier pour alléger le véhicule tout en offrant une protection maximale.

On rappelle que si tous les aciers ont sensiblement le même module d'élasticité E , les moins durs acceptent des elongations ΔL importantes qui consomment beaucoup d'énergie avant rupture.

Pour les aciers, le module de **Young** est :

$$E = 210 \text{ GPa}$$



Dans cette représentation en 2D des courbes de déformation, l'aire colorée représente le travail dépensé avant la rupture, situé majoritairement dans le domaine plastique.



Pour résister aux chocs latéraux, des renforts ont été installés dans les portières les cadres des pare-brise et les piliers centraux.

Les composants massifs et indéformables, par exemple le groupe moto-propulseur, seront guidés lors de la collision pour éviter de pénétrer dans la cellule de survie.

Toutefois les normes ayant évolué et étant devenues très sévères, les crash-tests se font sous différents angles d'impact.

Le plus sévère, le *crash-test frontal*, se fait contre un obstacle immobile comme un mur, à la vitesse de : 50 km/h, soit environ $V = 14$ m/s.

l'énergie cinétique d'un véhicule de 1500 kg avec passagers et bagages est:

$$E_c = 1/2 \cdot 1500 \cdot 14^2 = 147.000 \text{ joules}$$

Si la déformation globale de l'avant est de 0,7 m, la force moyenne de l'impact sera de :

$$147.000 / 0,7 = 210.000 \text{ newtons}$$

On peut admettre que la *vitesse moyenne* de la voiture pendant ce choc est de 1/2 de 14 m/s, soit 7 m/s, et le temps d'arrêt sera de l'ordre de :

$$0,7 / 7 = 0,1 \text{ seconde}$$

La décélération moyenne sera de : $14 / 0,1 = 140 \text{ m/s}^2 (\pm 14 \text{ g})$

une décélération qui commence à impliquer de forts dommages corporels.

On admet qu'au delà de 200 m/s^2 , la survie des victimes n'est plus assurée, ce qui correspond à une vitesse de l'ordre de 75 km/h.

LA CELLULE DE SURVIE

Cette partie de la carrosserie a été progressivement modifiée pour s'adapter aux nouveaux critères de sécurité.

Les éléments de structure, les montants de pare brise, les montants centraux et les liaisons horizontales, sont traités sous forme de *poutres rigides*.

L'ensemble est réuni par des parois latérales renforcées pour former *une coque très solide*.

Les ouvrants et les capots reçoivent des articulations et des fermetures par verrouillage associées aux montants de la coque.

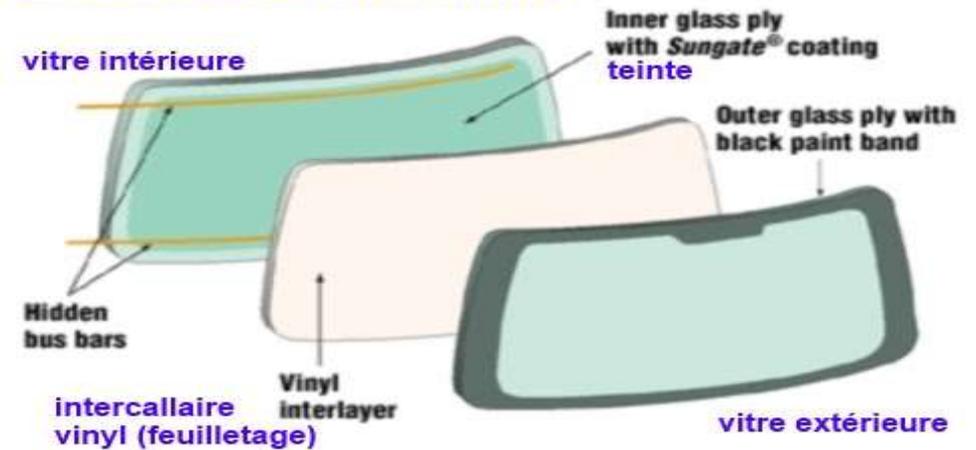
L'entourage d'un toit ouvrant classique doit être très résistant.

- Grâce à la climatisation, on propose un *toit panoramique* en vitrage feuilleté collé qui participe à la rigidité de l'ensemble.

- Un panneau mobile, éventuellement à commande électrique, peut être associé pour masquer un ensoleillement exagéré.

- Dans cette version, la formule entraîne une *augmentation sensible du poids* du véhicule, avec des répercussions sur la sécurité active, tenue de route et freinage.

PARE-BRISE FEUILLETE et TEINTE



- Un *pare-brise feuilleté* est formé à partir de plusieurs feuilles de verres compressées en sandwich avec une fine lame de plastique placée en intercalaire entre deux couches de glace.

- Les verres sont généralement trempés ou recuits pour devenir plus résistants.

- Tous ces matériaux sont parfaitement transparents.

- Ensemble, ils sont 60 fois plus solides qu'un vitrage classique monocouche.

- En cas de choc, les verres ne se brisent pas en mille morceaux, mais restent retenus par les couches de plastique.

- Ce procédé de fabrication est obligatoire en France depuis les années 1980.

LES ÉQUIPEMENTS INTERNES

Pendant le choc, tous les éléments pesants non fixés à la cellule peuvent devenir des *projectiles*.

Il est donc impératif d'attacher solidement tous les occupants du véhicule, passagers, bagages ou objets divers.

Un bébé serait projeté contre le pare brise et subirait de très graves blessures.

On veillera particulièrement à la fixation des sièges, fixes ou mobiles, pour qu'ils ne coincent pas les passagers contre le volant ou le tableau de bord.

Les tapis de sol doivent être munis de surfaces non glissantes pour rester fixes sans risquer de blesser les pieds ou les genoux des passagers.

La colonne de direction sera obligatoirement scindée en Z et rétractable sans efforts exagérés.

□ Lors des premiers essais de résistance aux chocs, les véhicules sacrifiés recevaient des mannequins *anthropomorphes* avec des volumes, des masses et des articulations convenablement dimensionnés.

□ Le dépouillement des multiples marqueurs d'accélération donnait de précieux renseignements sur la sévérité des traumatismes.

□ Dans de rares occasions, les sièges avaient reçu des cadavres de personnes ayant fait don de leur corps à la science.

□ La conclusion globale de ces travaux montrait la nécessité d'empêcher tous mouvements pendant la durée du choc.

□ La création des ceintures de sécurité en découlait.

Les ceintures de sécurité

Les ceintures sont apparues d'abord dans l'aviation, au début du XX^{ème} siècle. Ensuite, c'est dans le sport automobile que leur intérêt s'est vérifié.

L'ingénieur Nils Bohlin, recruté par Volvo, breveta en 1959 la ceinture de sécurité moderne en installant des ancrages pour des ceintures trois-points avec une sangle abdominale et une sangle diagonale.

Le brevet sera laissé libre de droits au bénéfice des autres constructeurs.

Bien sûr, comme la vaccination anti Covid 50 ans plus tard, leur usage suscita de fortes réactions d'opposition :

- Certains refusaient de rester attachés dans un véhicule en feu.
- Pourtant, il vaut mieux rester conscient, capable de se détacher et de s'échapper, plutôt qu'être assommé ou éjecté à travers le pare-brise.

2

ODH033055

- En France, les premières ceintures de sécurité étaient **facultatives** à partir de **1966**, et uniquement aux places avant.
- Depuis **1970**, les constructeurs doivent prévoir de solides **ancrages** dans la structure de la voiture.
- En juillet **1973**, le port de la ceinture de sécurité est devenu **obligatoire hors agglomération**.
- En **1979**, la mesure est étendue aux **agglomérations**.
- En janvier **1990**, le port de la ceinture de sécurité devient **obligatoire aux places arrière**.
- À partir du 1er janvier **1992**, il y aura obligation d'utiliser les moyens de retenue **homologués** pour le transport d'**enfants**.

Les sangles sont constituées d'un tissu de fils de polymère tressés et le plus souvent avec les bords ourlés de manière à ne pas blesser le cou de l'utilisateur.

La matière doit être assez souple pour des conditions de confort d'utilisation, mais capable de résister à des efforts de traction considérables consécutifs aux énormes décélérations résultant des chocs.

Certaines ceintures, trop élastiques, s'échauffaient fortement lors de leur élongation et occasionnaient des brûlures souvent aggravées par la fonte du Nylon de certaines chemises.

Les boucles d'attache des ceintures répondant aux exigences de solidité et de facilité de mise en œuvre feront l'objet de nombreuses recherches.

Durant plusieurs années, les ceintures devaient s'ajuster manuellement.



Les enrouleurs

L'action préventive des ceintures est maximale quand le passager est plaqué sur son dossier au moment du choc.

C'est pour cela que les ceintures des pilotes de Formule 1 sont très étroitement serrées et verrouillées avant le départ, mais pour un conducteur lambda, la gêne occasionnée deviendrait pénible, voire dangereuse.

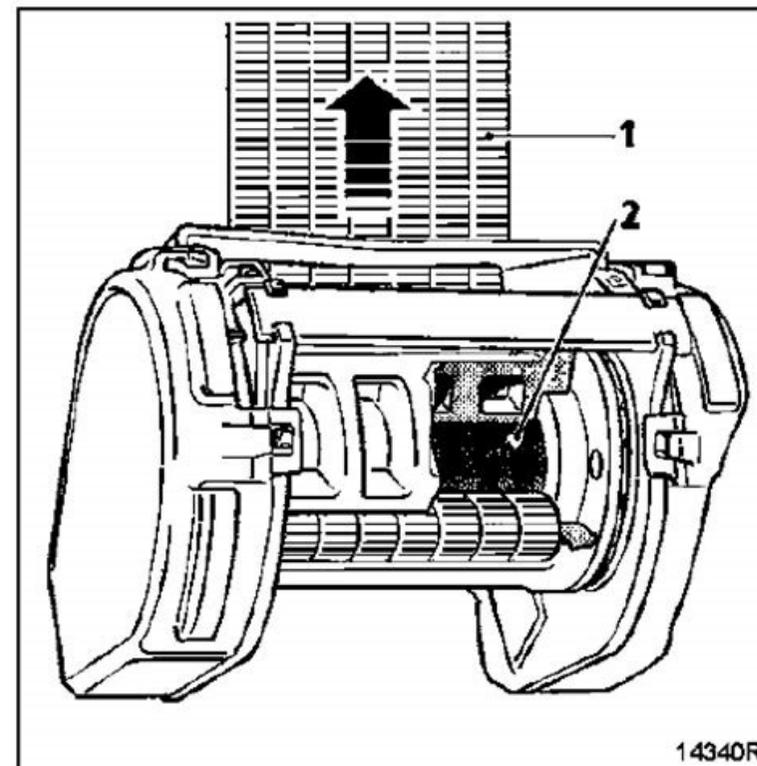
D'où la conception des systèmes d'enrouleurs à faible pression qui assurent le *contact permanent ceinture/passager* par l'action d'un ressort spiral intégré.

Un détecteur à inertie intégré provoque un verrouillage immédiat dès l'apparition d'une forte *accélération de la sangle*.



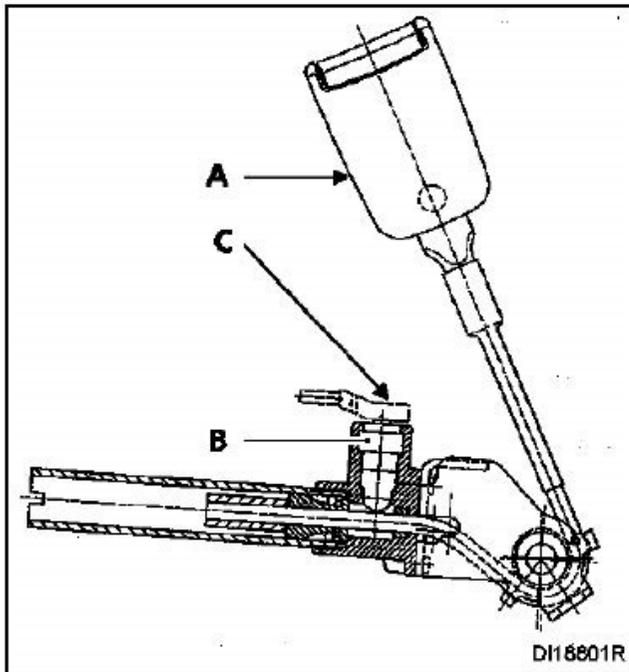
En 1975 René Pouget, (Aciers et Outillage Peugeot) a breveté, pour le compte de PSA les nouvelles ceintures à **enrouleurs à cliquet automatique**.

Ce système équipe encore les voitures d'aujourd'hui.



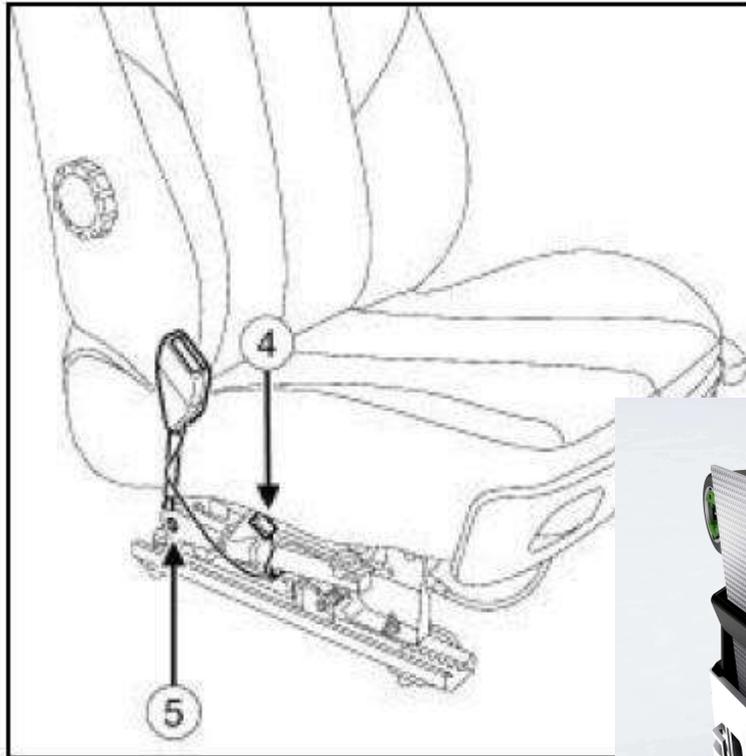
Les Prétensionneurs de ceinture

Pour améliorer le contact ceinture/passager à l'instant du choc, une **pré-tension** est effectuée par un dispositif qui, par l'explosion d'une petite **charge pyrotechnique**, pousse un piston qui rétracte la ceinture de sécurité.

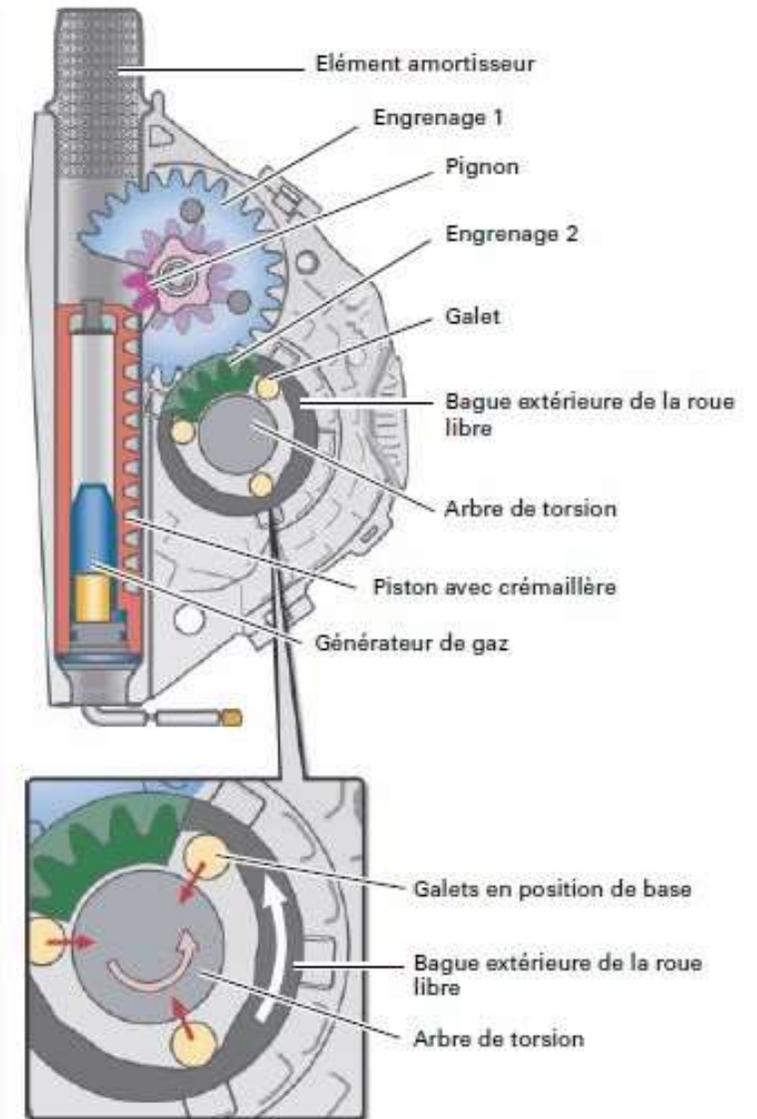


Évidemment, le prétensionneur pyrotechnique est à remplacer entièrement après l'accident.

De multiples dispositifs ont été imaginés pour assurer la mise en tension de la ceinture, soit par *traction directe*, soit par *rotation de l'axe* de l'enrouleur.



Position de repos



Des enrouleurs prétensionneurs à *commande électrique* ont été imaginés.

Ils peuvent aussi être utilisés, préventivement, associés aux dispositifs de *freinage d'urgence*.

Dans ce cas, une *vibration de la sangle* peut être activée pour signaler un *danger éventuel*, comme une vitesse excessive en fonction du profil routier.

L'équipementier **ZF** a proposé un enrouleur prétensionneur à commande électrique baptisé

ACR8

qui est **récupérable** après la réparation de la voiture.

Ces enrouleurs électriques doivent être **complétés** par un prétensionneur **pyrotechnique** déclenché lors de l'impact.

Le prétensionneur n'est **pas récupérable**.



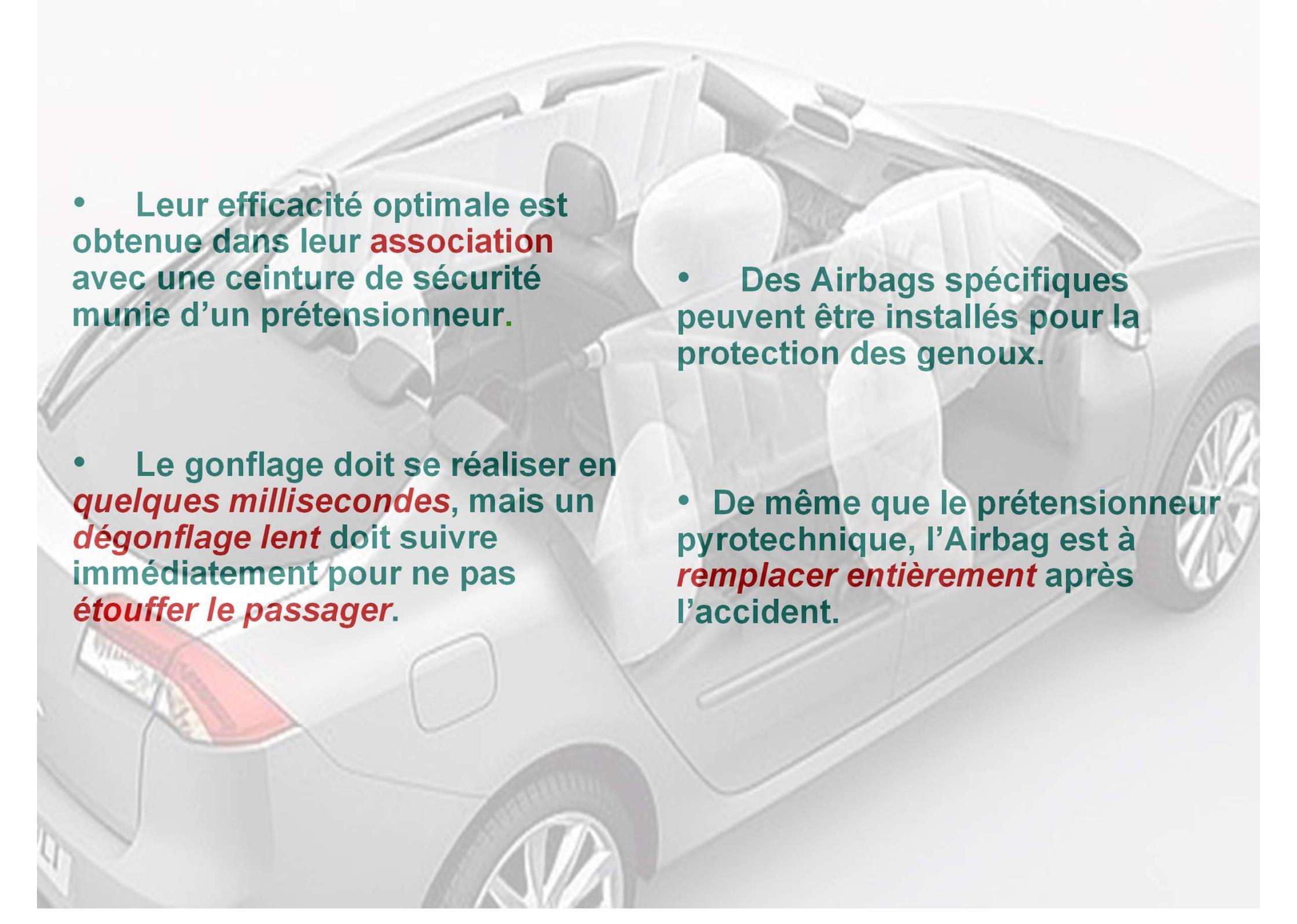
Les Airbags

Coussins gonflables de sécurité

Un Airbag est une enveloppe flexible, dans laquelle un gaz est très rapidement injecté par une réaction chimique ***explosive de perchlorate***, pour gonfler l'enveloppe et ainsi servir de coussin pour amortir un choc.

Les airbags sont utilisés pour protéger les passagers et leur éviter de percuter violemment certains accessoires de la voiture (volant, pare-brise, vitres latérales, appui-tête avant pour un passager arrière, etc.).





- Leur efficacité optimale est obtenue dans leur **association** avec une ceinture de sécurité munie d'un prétensionneur.

- Le gonflage doit se réaliser en **quelques millisecondes**, mais un **dégonflage lent** doit suivre immédiatement pour ne pas **étouffer le passager**.

- Des Airbags spécifiques peuvent être installés pour la protection des genoux.

- De même que le prétensionneur pyrotechnique, l'Airbag est à **remplacer entièrement** après l'accident.

- **Le déclenchement des Airbags est le signe d'un choc très violent.**
- **Le véhicule accidenté ne sera autorisé à circuler qu'après une sérieuse *réparation contrôlée* par un expert.**

Ces dispositifs réclament une fiabilité parfaite, car un déclenchement intempestif occasionnerait de très graves accidents, souvent multiples.

Dès la mise en route du véhicule, le contrôle du bon état des Airbags est effectué et confirmé par un signal sur le tableau de bord .

Le démarrage ne peut s'effectuer qu'après cette vérification.

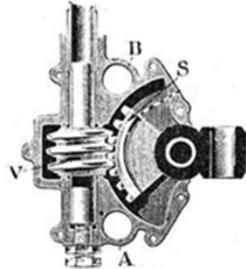
Les nombreuses améliorations des équipements de **sécurité active** ont contribué à diminuer le nombre d'accidents routiers, alors que le parc circulant n'a cessé d'augmenter.

En parallèle, une **efficace sécurité passive** a été installée dans l'ensemble de **l'infrastructure routière**, amélioration de l'état des routes, installation de protections latérales, multiplication des autoroutes et des voies à chaussées séparées.

Enfin, tous les aménagements incorporés aux véhicules ont également contribué à la réduction du nombre de morts et de blessés parmi les occupants.



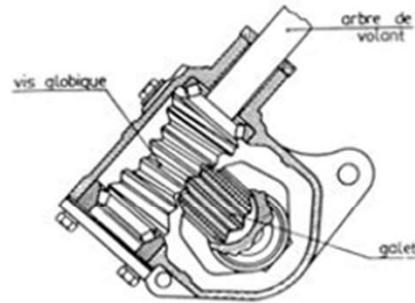
Direction à vis



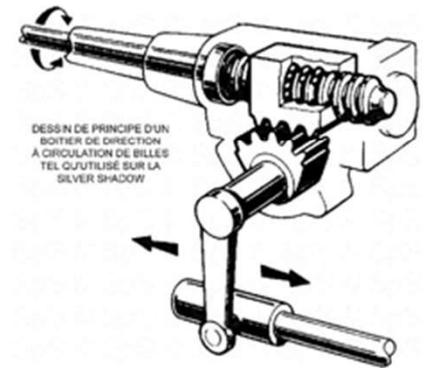
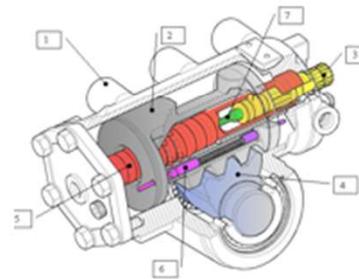
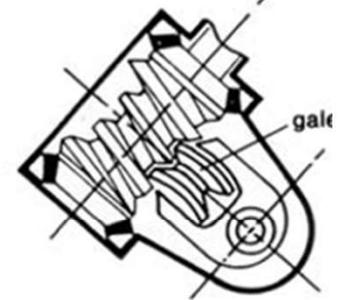
Direction à vis sans fin, à réglage inférieur



Vis sans fin globique et galet globique



Vis sans fin et galet



DESSIN DE PRINCIPE D'UN BOITIER DE DIRECTION À CIRCULATION DE BILLES TEL QU'UTILISÉ SUR LA SILVER SHADOW



FIN