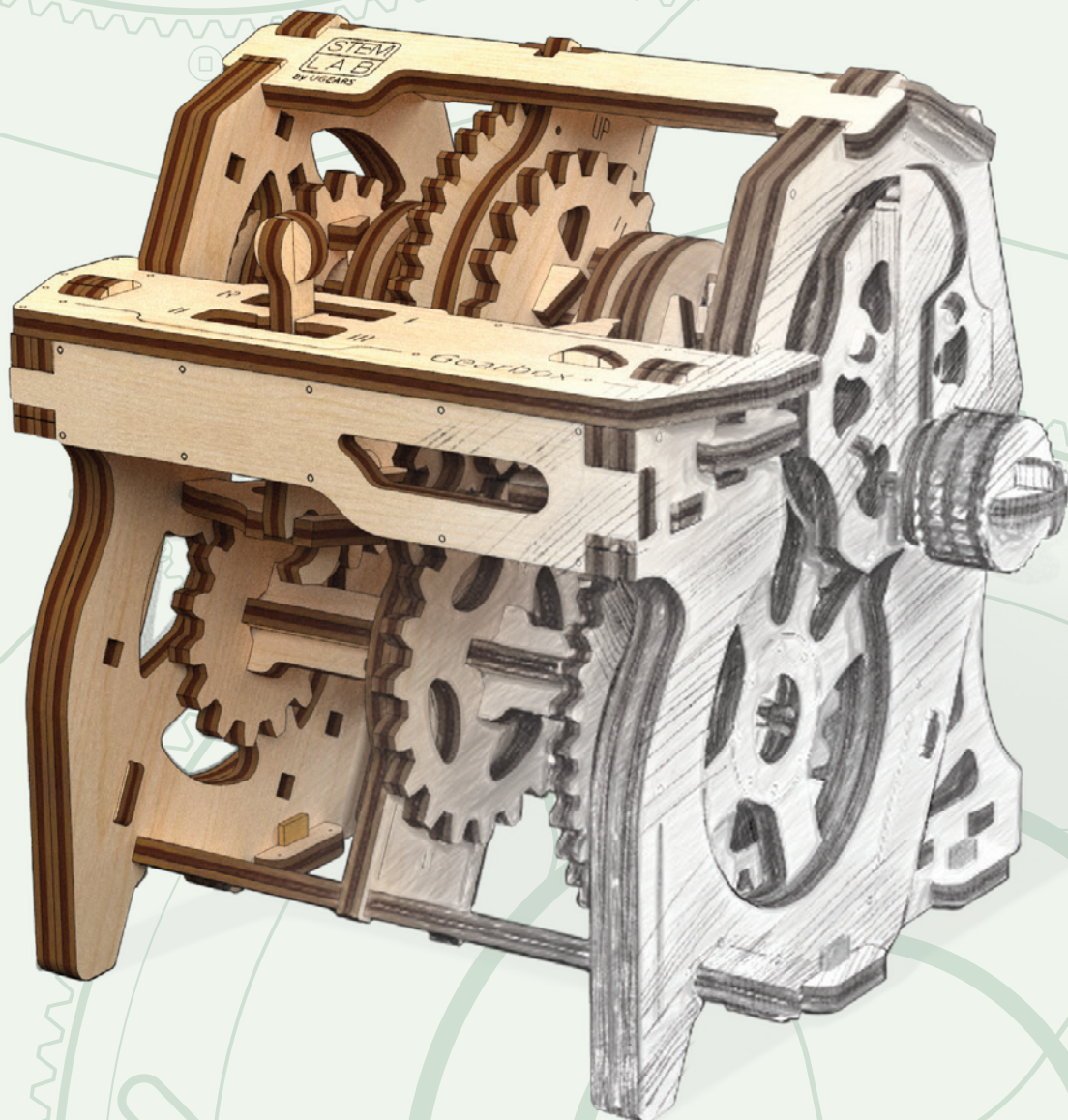




MAQUETTE MÉCANIQUE

# LA BOÎTE DE VITESSES



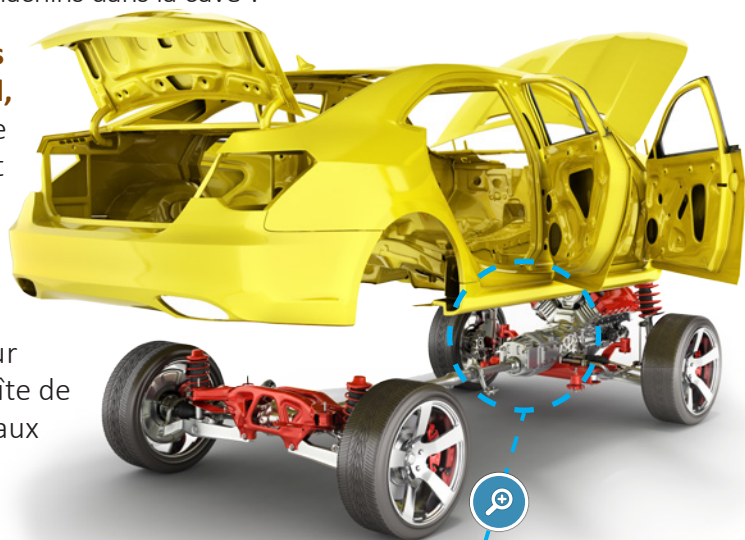
Le manuel du jeune ingénieur

# §1

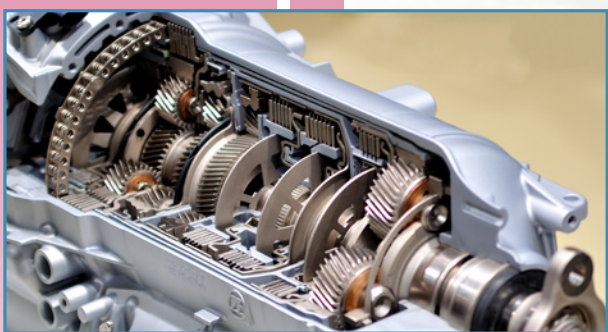
## Introduction

■ **Un esprit curieux est toujours à la recherche de nouvelles connaissances.** N'est-ce pas fascinant de connaître le monde, d'apprendre pourquoi la nuit vient après le jour, comment un immense avion reste soutenu en l'air, ce qu'il y a dans le corps humain, quelles forces font fonctionner un mécanisme ? N'avez-vous jamais voulu démonter un appareil ou un engin : une vieille radio retrouvée dans le garage, un mixeur hors d'usage oublié parmi un tas de vieux machins dans la cave ?

■ **Ou peut-être visiez-vous quelque chose de très grand,** comme une auto qui possède des centaines d'organes et de pièces ? Tout comme les molécules forment un corps vivant, différentes pièces et mécanismes sont assemblés, engrenés et connectés pour construire un véhicule. La boîte de vitesses est l'un des principaux organes d'un corps mécanique. Sans elle, une voiture ne roulerait qu'en avant et sa vitesse ne serait contrôlée que par la puissance du moteur. Mais, attendez ! Savez-vous que ce n'est pas seulement le moteur qui détermine si votre voiture va plus ou moins vite ? Savez-vous ce qui la fait avancer plus lentement, plus rapidement et même reculer, tandis que le moteur tourne à un régime constant ?



Bienvenue au fascinant univers de la mécanique !



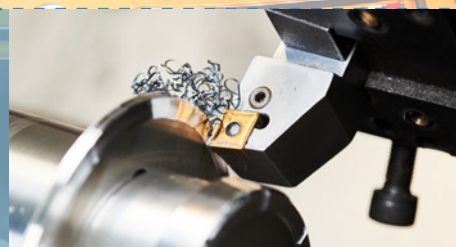
La boîte de vitesses gère l'équilibre entre la vitesse de déplacement et la force nécessaire pour franchir les obstacles, comme par exemple monter ou descendre une pente, augmenter ou réduire la vitesse, etc. Elle permet une conduite plus confortable et la possibilité de faire marche arrière.

Il y a aussi le ralenti... mais n'anticipons pas !

■ **La « Boîte de vitesses » de la collection STEM-lab d'Ugears** fonctionne comme une boîte de vitesses réelle et **vous aidera à mieux comprendre ce mécanisme dans toute sa complexité.** En assemblant les pièces vous-même à la main, vous aurez une idée précise de ce qu'est une boîte de vitesses et de son fonctionnement dans une voiture.

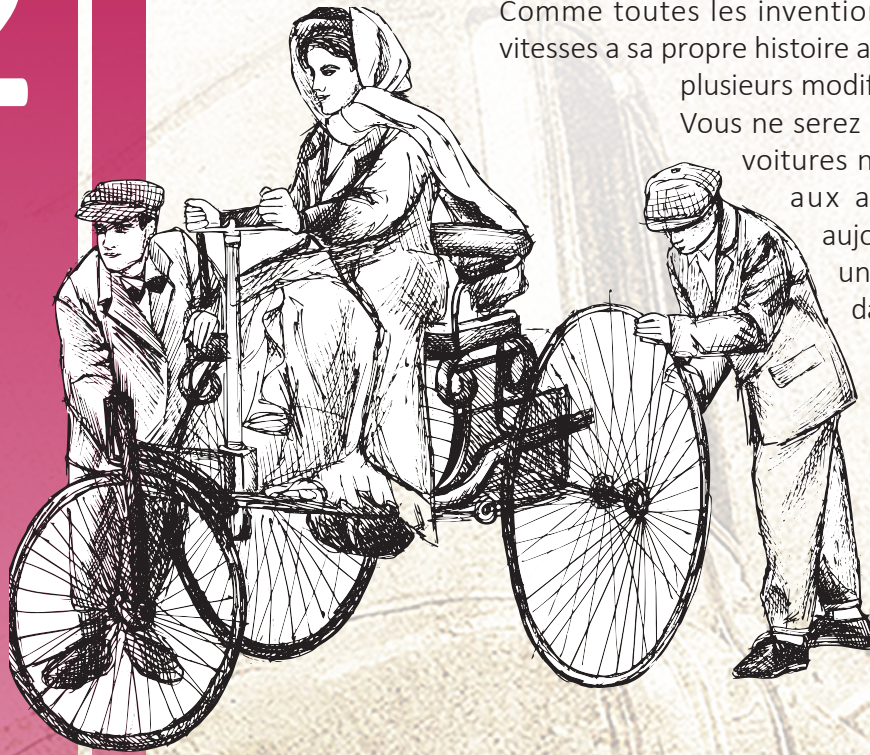


Les boîtes de vitesses ne sont pas utilisées exclusivement dans les véhicules ; des machines et installations industrielles, diverses chaînes de production, etc. aussi en sont pourvues. Les tours sont équipés d'une boîte de vitesses qui permet de régler la vitesse de rotation de la pièce tout en garantissant que l'opérateur utilise la vitesse d'avance adéquate.



# §2

## Un peu d'histoire



### ■ Qui l'a inventée, quand, comment et dans quel but ?

Comme toutes les inventions importantes, la boîte de vitesses a sa propre histoire au cours de laquelle elle a subi plusieurs modifications et évolutions.

Vous ne serez pas surpris de savoir que les voitures n'ont pas toujours ressemblé aux autos modernes circulant aujourd'hui. Chaque époque avait un style propre qui se reflétait dans la conception des véhicules d'alors.

Lorsque Karl Benz inventa la boîte de vitesses en 1887, il l'installa sur une voiture ressemblant à un coche ou à un tricycle. Et cependant, c'était bel et bien une automobile avec moteur et boîte de vitesses !

### ■ On attribue l'idée et la conception initiale de la boîte de vitesses au célèbre concepteur de moteurs et ingénieur automobile allemand Karl Friedrich Benz.

Selon une histoire généralement admise, Benz eut l'idée de cette invention après le voyage désagréable réalisé par son épouse pour rendre visite à sa mère. En 1888, elle partit faire un voyage de 80 km avec des enfants et beaucoup de bagages. En ce temps-là, 160 km (ou 65 milles environ) représentaient une longue distance pour les automobiles de l'époque et il n'y a donc rien d'étrange à ce que le véhicule devint très vite « capricieux ». Le moteur de quelque 0,8 chevaux-vapeur (par comparaison les voitures modernes ont des moteurs de 150 chevaux-vapeur en moyenne) était trop faible pour faire avancer la voiture en côte et il fallut la pousser jusqu'au sommet de chaque pente. Après ce voyage pénible, Benz se mit à chercher une solution pour améliorer les automobiles. C'est ainsi que la boîte de vitesses est née.



**Karl Friedrich Michael Benz** fut un ingénieur allemand et l'inventeur d'un des premiers moteurs à combustion interne. Pionnier de l'industrie automobile, il fonda la société qui allait devenir plus tard la Daimler-Benz AG.

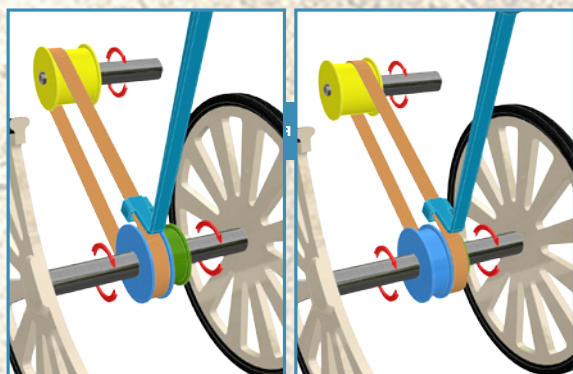
### **Cäcilie Bertha Benz,**

épouse de Karl Benz, fut le premier être humain à réaliser un voyage interurbain en automobile. Le 5 août 1888, elle prit la voiture de son mari, à son insu, et entreprit un voyage risqué de Mannheim à Pforzheim avec ses deux fils aînés. En chemin, elle fit plusieurs arrêts pour acheter de l'essence dans des drogueries qui, à l'époque, la vendaient comme détergent.

**Benz utilisait un système comprenant une courroie en cuir placée sur des disques métalliques** à évidement (appelés « poulies ») et que l'on peut schématiser ainsi :

■ L'arbre du moteur (l'axe qui fournit l'impulsion s'appelle « **arbre moteur ou menant** ») supportait une poulie de grand diamètre (la « **poulie motrice** »). L'arbre qui entraîne les roues (l'axe qui reçoit l'impulsion s'appelle « **arbre entraîné** ») avait deux poulies de diamètres différents (**poulie entraînée 1 et 2**). À l'aide d'un levier spécial (aujourd'hui appelé « **levier de vitesses** »), le conducteur pouvait déplacer la courroie d'une poulie entraînée à l'autre sans que la poulie motrice qui transmettait le couple constant fourni par le moteur fût accouplée.

**C'est ainsi que la boîte de vitesses fut inventée !**

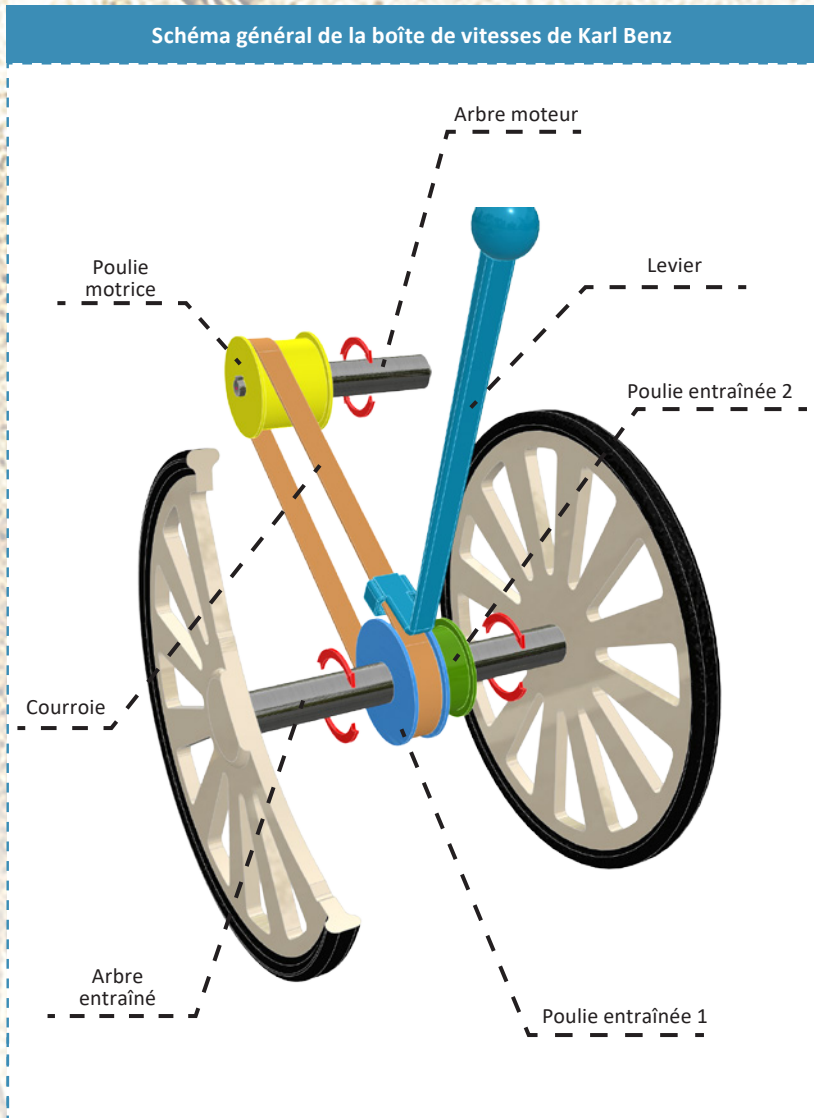


Courroie sur la première poulie entraînée  
Position 1 : vitesse réduite, mais puissance accrue



Courroie sur la deuxième poulie entraînée  
Position 2 : l'auto roule plus vite

Vu que les poulies entraînées avaient des diamètres différents, la vitesse de rotation variait. On obtenait ainsi la **démultiplication totale**. La **démultiplication totale** est la raison d'être de la boîte de vitesses et l'objet du système de transmission.



■ **Bon à savoir !**

La poulie entraînée, loin d'être une simple pièce métallique, était un mécanisme complexe comprenant la poulie et un différentiel.

Découvrez les grands principes de fonctionnement du différentiel avec le puzzle 3D « le Différentiel » de la collection STEM d'Ugears. Cette maquette est une réplique parfaitement opérationnelle d'un différentiel réel.



Les années passèrent et la technologie évolua. De nos jours, plus personne n'utilise la boîte de vitesses originale conçue par Karl Benz. La courroie et les poulies ont été remplacées par une chaîne et des roues dentées. Et aujourd'hui, vous retrouvez ce mécanisme, légèrement modifié, sur les vélos.



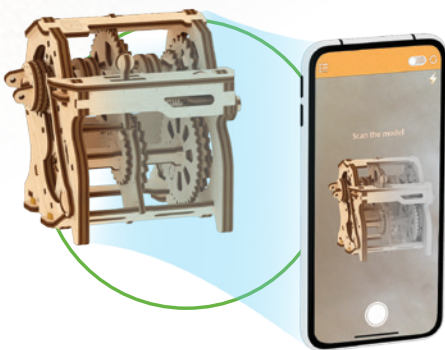
1 Scannez le code QR pour télécharger la App.



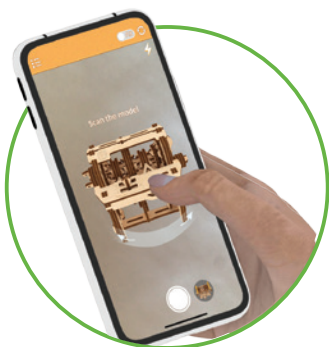
2 Ouvrez l'application



3 Dirigez et alignez l'image visible sur l'écran avec la maquette



4 Interagissez en RA



Chaque maquette de la collection STEM-lab d'UGEARS est un outil interactif d'apprentissage d'un mécanisme.

En assemblant la BOÎTE DE VITESSES vous-même à la main, vous n'aurez pas de mal à comprendre ses principes de fonctionnement.

Poussez votre apprentissage et votre expérience plus loin avec l'application de réalité augmentée d'Ugears. Photographiez une maquette STEM-lab complètement montée avec votre portable ou votre tablette et la App vous montrera les usages réels du mécanisme que vous avez construit.

Vous allez voir comment la BOÎTE DE VITESSES fonctionne dans une voiture. Explorez-la sous différents angles, de près et de loin.



### Tirez parti de notre assistance illimitée !

Si vous avez des doutes concernant le montage de la maquette, nous sommes toujours prêts à fournir l'aide nécessaire et à suggérer les meilleures solutions. Notre service d'assistance 24/7 accueillera et traitera votre demande avec promptitude et professionnalité.

**Service Clients :**  
[customerservice@ugearsmodels.com](mailto:customerservice@ugearsmodels.com)

# §3

## EXAMINONS LA BOÎTE DE VITESSES MÉCANIQUE MODERNE DE PLUS PRÈS ET VOYONS EN QUOI DIFFÈRE LA TRANSMISSION AUTOMATIQUE

### Description du mécanisme et utilisation

La boîte de vitesses fait partie de la transmission (1) de l'automobile. Sa principale fonction consiste à récupérer le couple moteur, le convertir et le transmettre aux roues. En résumé, elle contrôle la vitesse de rotation des roues alors que le moteur tourne au même régime.

■ **À noter !** Il existe un pictogramme généralement accepté et utilisé pour l'identification des vitesses des transmissions tant mécaniques qu'automatiques. C'est l'image d'un levier de vitesses et de ses positions.



Mécanique



Automatique

#### Arbre d'entrée de la boîte de vitesse

L'arbre d'entrée ou arbre moteur est aussi l'arbre primaire qui capte le couple produit par le moteur lors de la mise en liaison de l'embrayage (2).

#### Arbre de renvoi

L'arbre de renvoi (aussi appelé « arbre intermédiaire ») est une pièce mécanique située entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire de la boîte de vitesses.

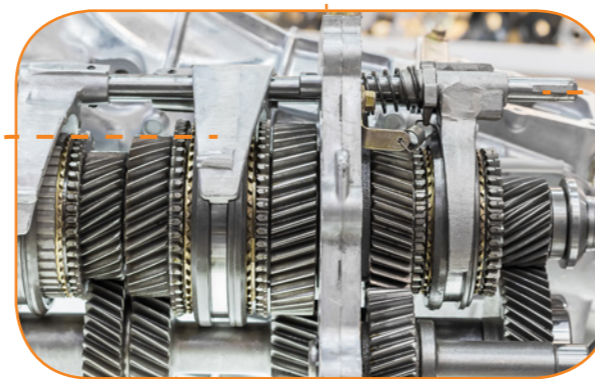
#### Train d'engrenages de marche arrière

On notera que ce train comporte 3 pignons et non 2 comme les autres engrenages. Le troisième pignon inverse la rotation de l'arbre entraîné de sorte que le véhicule recule. C'est le pignon de marche arrière.

#### Pignon de marche arrière

#### Fourchette de commande

Pièce contrôlant le déplacement et l'engrenage des pignons lorsque le conducteur change de vitesse.



#### Axe de commande

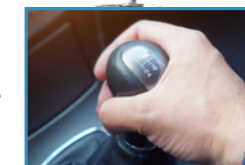
L'axe de commande est solidaire d'une fourchette. C'est pourquoi le nombre de ces pièces est identique. En agissant sur le levier de vitesses, le conducteur détermine l'axe de commande qui provoquera l'accouplement des pignons correspondant à la vitesse souhaitée.

#### Levier de changement de vitesse (ou levier de vitesses)

C'est un des éléments les plus connus du mécanisme, car il est bien visible, juste à côté du conducteur.

#### Arbre entraîné de la boîte de vitesse

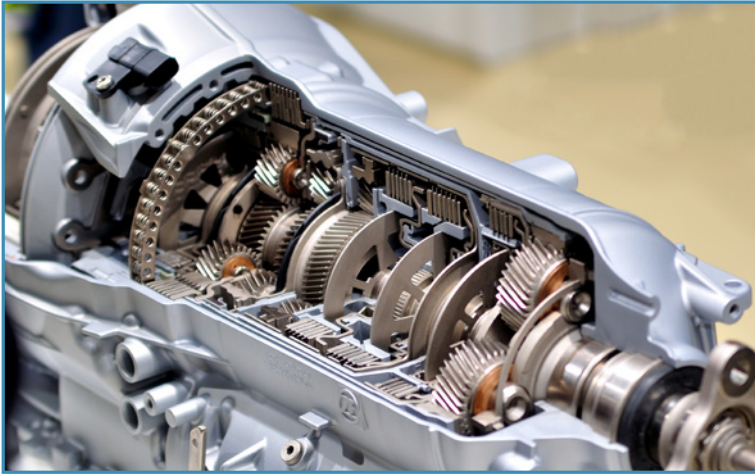
Il transmet le couple moteur aux roues motrices lorsque le conducteur enclenche une vitesse.



<sup>1</sup> Transmission – Ensemble d'organes mécaniques et de mécanismes connecté aux roues motrices d'un véhicule ou au système de commande d'une machine industrielle ainsi qu'au reste de l'engin pour que celui-ci fonctionne. Les illustrations ci-jointes vous montrent quelques éléments de la transmission : 1 boîte de vitesse ; 2 arbre de transmission ; 3 différentiel ; 4 arbres des roues arrière

<sup>2</sup> Embrayage : Mécanisme fonctionnant par adhérence ou friction, l'embrayage assure la liaison du vilebrequin et de l'axe primaire, solidarise et désolidarise le moteur et la transmission et permet de changer de vitesses sans à-coup.

## ■ Certaines autos sont équipées d'une transmission automatique



**Transmission automatique avec boîte de vitesses à trains épicycloïdaux**

La principale différence entre une transmission mécanique et une automatique, c'est qu'avec cette dernière les vitesses changent automatiquement. Par rapport à une transmission mécanique, une automatique présente beaucoup d'avantages, y compris une grande fiabilité en cas d'utilisation correcte. Gérée par un ordinateur, la transmission automatique choisit le meilleur moment pour passer d'une vitesse à une autre tout en assurant que ce passage se fasse sans à-coup et en toute sécurité, ce qui augmente la longévité du moteur. De même, la transmission automatique facilite le démarrage en côte et empêche le véhicule de dévaler la pente si le conducteur relâche la pédale de frein. Mais, à vrai

dire, c'est surtout à cause de leur manque d'aptitude ou réticence à changer les vitesses manuellement que les conducteurs optent pour la transmission automatique, d'autant plus que ce mécanisme de sécurité positive le fait comme un professionnel.

Bien entendu, comme toujours, il y a des inconvénients : dans le cas de la transmission automatique, c'est le besoin d'entretiens plus fréquents et le coût élevé des réparations en cas de dérèglement ou de casse.

Les transmissions automatiques peuvent être de type **à trains épicycloïdaux, variable continue ou semi-automatique (robotisée)**.

De nos jours, la transmission automatique est la plus populaire selon les statistiques globales de ventes de voitures. Cependant, l'usage de la transmission mécanique considérée plus fiable reste largement répandu.

La boîte de vitesses la plus courante propose cinq rapports et la marche arrière.

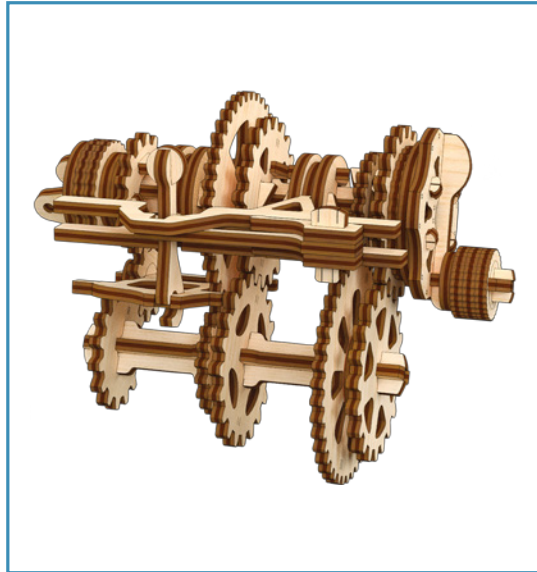


# §4

## Leçons de physique et de mécanique de la maquette STEM « la Boîte de vitesses »

### ■ Alors, comment est-ce que la boîte de vitesses modifie la vitesse d'une voiture ?

Le moteur entraîne l'arbre d'entrée (ou axe primaire) de la transmission qui transmet le couple aux engrenages. Ceux-ci commencent alors à tourner à des vitesses différentes. Le conducteur place le levier de vitesse dans la position prévue pour enclencher la première. En déplaçant le levier, le conducteur accouple la tige



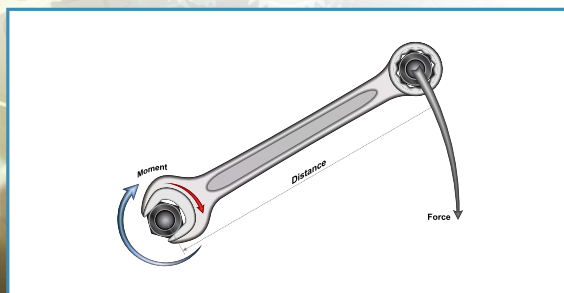
du levier à la fourchette faisant partie du mécanisme qui transmet le couple des engrenages à l'arbre entraîné (axe secondaire). Ce mécanisme porte le nom de « synchroniseur ». Dès que le synchroniseur met en prise le jeu de pignons correspondant à la vitesse sélectionnée, l'axe secondaire commence à tourner et transmet le couple à l'arbre de transmission et au différentiel. Le différentiel distribue le couple moteur entre les roues motrices et le véhicule se déplace à la vitesse voulue. La maquette STEM « la Boîte de vitesses » fonctionne exactement de la même manière.

Sachant comment la boîte de vitesses fonctionne, nous examinerons maintenant la terminologie utilisée et quelques définitions.

Dans la description du mécanisme d'une transmission, nous utilisons des termes propres à la physique, la mécanique et la construction automobile. Nous allons les traiter en détail ci-après, en commençant par « **Force** », un terme élémentaire en physique et introduit par Isaac Newton.

Le **newton (N)** est l'unité de force (F). C'est la grandeur physique qui exprime la capacité d'un objet d'en modifier un autre. Par exemple, nous disons souvent que nous sommes forts, mais cela signifie, en réalité, que nous avons une certaine capacité d'agir sur d'autres objets. La force se mesure en newtons.

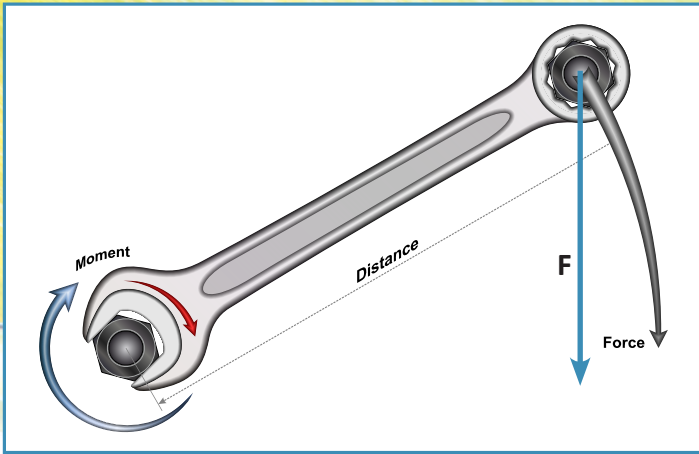
**Levier** : Barre rigide pouvant tourner autour d'un point fixe. La clé à molette est un bon exemple de levier. Pour dévisser un écrou, on l'insère dans les mâchoires et on fait pivoter le manche de la clé qui agit donc comme un levier.



### Sir Isaac Newton

Physicien, mathématicien, ingénieur et astronome anglais, il fut l'un des fondateurs de la physique classique. Il est l'auteur des Principes mathématiques de la philosophie naturelle où il décrit la loi de la gravitation universelle et trois lois de la mécanique sur lesquelles repose la mécanique classique.





**Couple (moment d'une force) :** Produit de la force et d'un bras de levier. Pour mémoire, on mesure la force en newton. Le bras de levier est mesuré en mètre (par ex. la longueur de la clé à molette). On peut donc écrire la formule du moment d'une force comme suit :  $1 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 1 \text{ N}\cdot\text{m}$ , d'où  $1 \text{ N}\cdot\text{m}$  est égal à une force d'un newton (1 N) appliquée à un bras de levier d'un mètre (1 m).

Dans un moteur à combustion interne, l'explosion du carburant dans le cylindre produit la force qui se propage, via l'embellage, au vilebrequin. Le vilebrequin transmet cette force à la transmission qui fait tourner les roues du véhicule.

Le couple n'est pas constant. Il augmente quand la force exercée sur le bras de levier augmente et vice versa. Si le conducteur appuie sur l'accélérateur, la force s'exerçant sur le bras de levier s'accroît tout comme le moment de la force.

Nous savons tous qu'il est plus facile d'ouvrir une porte en la poussant ou en la tirant le plus loin possible des charnières. Cela explique la position des poignées là où elles se trouvent. Plus nous poussons près des charnières pour ouvrir la porte, plus grande est la probabilité de rester où nous sommes. C'est pour cela que nous devons agir sur **le bras de levier**.

**Transmission :** Train d'engrenages qui transmet le couple provenant du moteur aux roues motrices.

**Rapport de vitesses ou démultiplication :** Rapport entre le nombre de dents du pignon entraîné et celui du pignon entraînant.

La démultiplication est une des principales fonctions d'une transmission à engrenages qui transmet le couple moteur à un autre organe ou équipement.

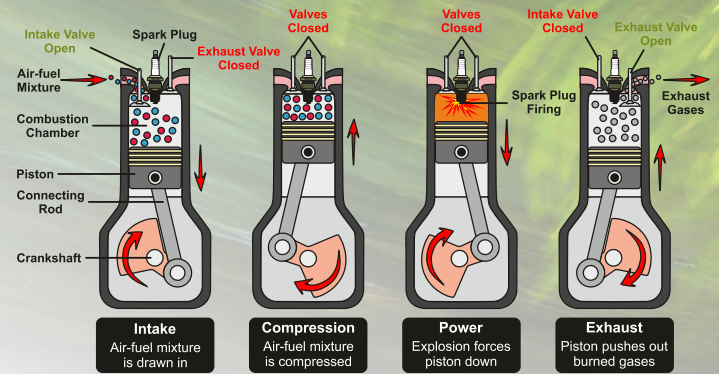
## Puissance

Le couple est directement lié à la puissance du moteur. Pour simplifier, la puissance est le travail fourni par le moteur pendant un laps de temps donné. Compte tenu que le couple est, en fait, le travail réalisé par le moteur, la puissance représente le nombre de fois que le moteur produit un couple par unité de temps.

Les physiciens ont inventé une formule qui associe couple et puissance. Puissance (P) = couple \* N (nombre de tours que le moteur effectue par minute) / 9549 (facteur de correction).

**La puissance se mesure en kilowatt.** Cependant, le grand public a adopté le cheval-vapeur pour l'exprimer.

**Pour convertir des kilowatts en chevaux-vapeur,** il faut multiplier le nombre de kW par 1,36.



## Principales opérations d'un moteur

1. Alimentation du carburant dans la chambre de compression.
  2. Compression du carburant pour atteindre la pression requise à l'allumage.
  3. Combustion (dans un véhicule à essence, une bougie produit l'étincelle qui enflamme le carburant ; dans un diesel, le carburant s'enflamme suite à la haute température atteinte pendant la compression). La combustion détermine la puissance d'un moteur.
  4. Échappement des gaz après la combustion.
- Ensuite le cycle recommence...

**Vitesse de rotation du pignon entraîné :** Connaissant le rapport de démultiplication et la vitesse de rotation du pignon entraînant, on peut facilement calculer la vitesse de rotation du pignon entraîné. La vitesse de rotation s'exprime en tours par minute (tr/min.).

Supposons  $S_1$  et  $T_1$  la vitesse de rotation et le nombre de dents du pignon entraînant.

L'équation  $S_1 \times T_1 = S_2 \times T_2$  nous permet de déduire que  $S_2 = (S_1 \times T_1) / T_2$ .

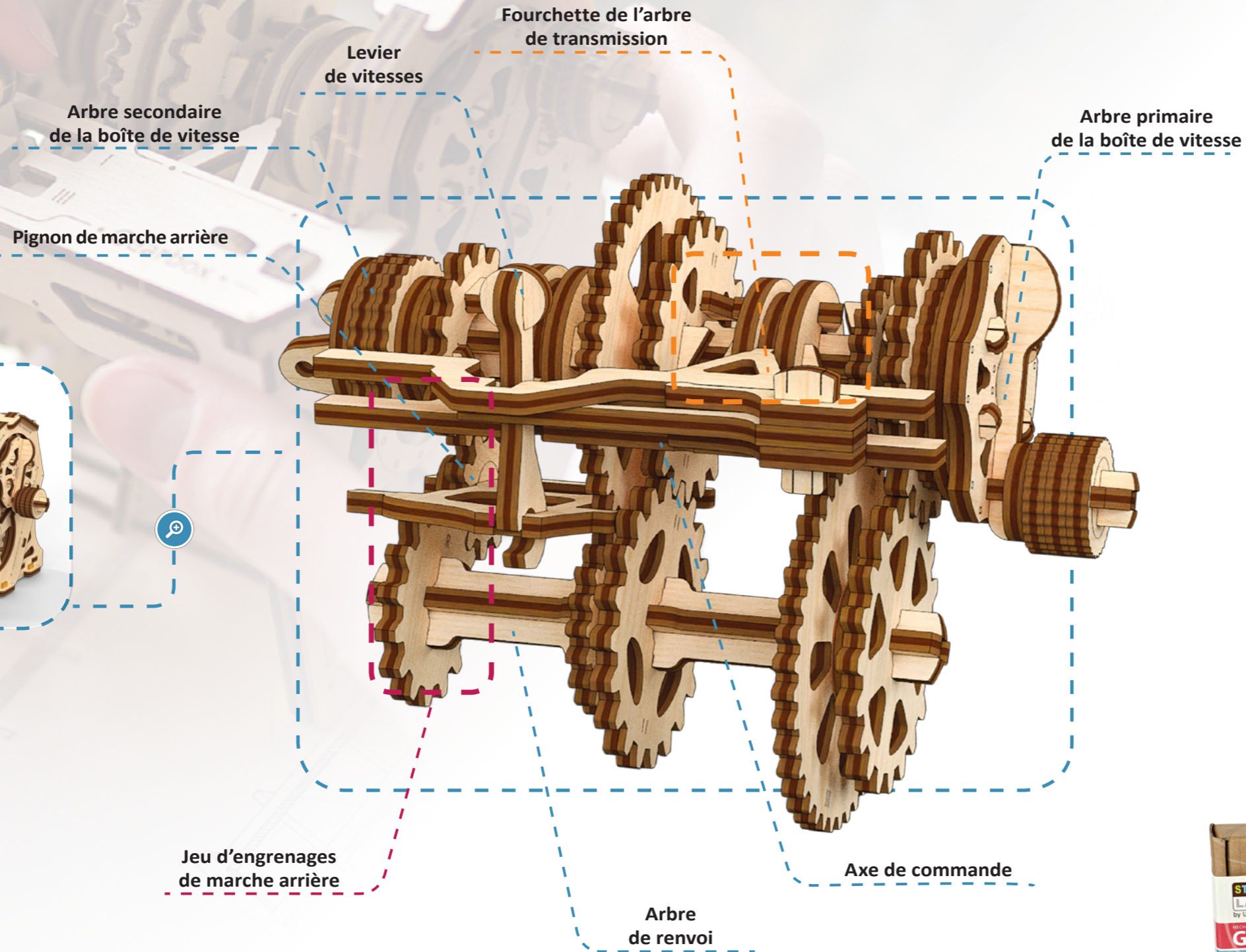
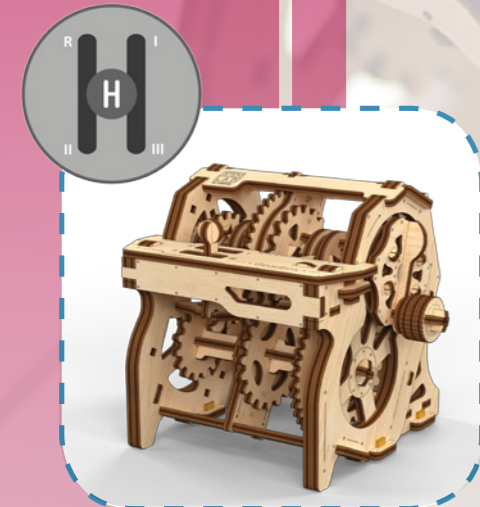


# §5

Как устроен механизм

## NOUS ARRIVONS AU BUT ! VOYONS DE QUOI EST FAITE NOTRE BOÎTE DE VITESSE

Vérifions que tout est au bon endroit.



Le jeu de construction se compose de 120 pièces. Vous pourrez les assembler sans peine en suivant les instructions détaillées de la notice illustrée.



Tout vérifié ? Si tout est en place, mettons-nous au travail !



# §6

## Activités pratiques

### Détermination du rapport de démultiplication des engrenages entraînant et entraînés.

### Calcul de la fréquence de rotation (vitesse)

**Objectifs :** Étudier les méthodes de calcul de la démultiplication d'une boîte de vitesses. Découvrir la relation entre vitesse de rotation et position du levier de vitesses. Développer la logique, les connaissances scientifiques et la pensée spatiale.

**Matériel :** Chronomètre, règle, bloc-notes, stylo à bille et la Boîte de vitesses.

#### Bases théoriques des activités :

Les engrenages sont des roues dentées qui s'engrènent pour transmettre un mouvement et de l'énergie avec beaucoup d'efficacité. Un pignon entraînant est mis en mouvement par une force externe – par exemple votre main. Toute roue dentée en contact avec le pignon entraînant est appelé « pignon entraîné ». Le pignon entraînant transmet la force d'entrée, le pignon entraîné une force de sortie. En jouant avec la configuration de l'engrenage, on peut régler la vitesse, le sens de la marche et la puissance de sortie.

#### Préparation des activités :

1. Montez la boîte de vitesses et placez-la sur une surface plane.
2. Mettez le levier de vitesses au « point mort ».

## DÉROULEMENT DES ACTIVITÉS

### Activité 1

Dessinez le croquis d'une boîte de vitesses. A l'aide de ce croquis, expliquez le fonctionnement de la boîte de vitesses. Présentez les améliorations que, comme ingénieur et inventeur, vous apporteriez à ce mécanisme.

### Activité 2

Dressez une liste des objets de votre maison qui vous font penser à la boîte de vitesse.

### Activité 3

Questionnaire à choix multiple. Marquez toutes les réponses correctes.

#### 1. Que comporte une boîte de vitesses ?

- a. Des axes
- b. Des engrenages
- c. Un levier

#### 2. Quels éléments de la boîte de vitesses se trouvent dans l'habitacle de la voiture ?

- a. Les arbres et leurs pignons
- b. Les axes
- c. Le levier de changement de vitesse

#### 3. De quel mécanisme de la voiture la boîte de vitesse fait-elle partie ?

- a. La transmission
- b. Le moteur
- c. La colonne de direction

#### 4. A quoi sert la boîte de vitesses ?

- a. À freiner
- b. À passer les vitesses
- c. À faire marche arrière

#### 5. Quel est le type de boîte de vitesses le plus courant ?

- a. Deux rapports – deux vitesses et marche arrière
- b. Six rapports – cinq vitesses et marche arrière
- c. Dix rapports – cinq vitesses et cinq marches arrière



## PHÉNOMÈNES MÉCANIQUES ET PHYSIQUES QUE CETTE MAQUETTE VOUS ENSEIGNE

La boîte de vitesse gère le couple (quantité de force) transmis aux roues motrices, fait tourner le moteur au ralenti en le séparant de la transmission pendant les arrêts et fait reculer le véhicule.

La boîte de vitesses est le dispositif où ont lieu les diverses combinaisons d'engrenages ayant pour objet de modifier le rapport de démultiplication. Son fonctionnement repose sur les phénomènes physiques suivants : le travail (A), la force (F) et la vitesse (v).

Le **travail** est le produit de la force par le déplacement.

$$A = F \cdot l$$

L'unité SI de mesure de travail est le joule (J), d'après le physicien anglais James Prescott Joule.

Pour fournir le même travail, des moteurs différents ont besoin d'un temps différent. Le travail accompli par unité de temps est la puissance.

La **puissance** est une caractéristique très importante des moteurs.

Dans le cas de véhicules, on calculera plus facilement la puissance en utilisant la vitesse et la force de préférence au travail et au temps. La force exercée sur un objet provoque son déplacement. La distance parcourue par un objet par unité de temps correspond à sa vitesse. Compte tenu de ce qui précède, nous pouvons exprimer la puissance (N) à l'aide de la formule suivante :

$$N = \frac{F \cdot l}{t} = F \cdot \frac{l}{t} = Fv$$

On peut déduire de cette formule que puissance égale force multipliée par vitesse.

Tant que le moteur tourne à une vitesse constante, sa force compense la résistance au déplacement.

La formule ci-dessus explique pourquoi un conducteur enclenchera une vitesse inférieure pour gravir une côte : pour augmenter la force alors que le moteur génère la même puissance, la vitesse doit diminuer.

## TECT

**1. La boîte de vitesse sert à...**

- a) modifier le couple
- b) actionner les clignotants
- c) permettre à la voiture de reculer

**2. Quelles sont les fonctions d'une boîte de vitesses ?**

- a) Régler la quantité de couple
- b) Gérer la direction du couple
- c) Augmenter la puissance

**3. De ceux cités, quels sont les arbres ne faisant pas partie de la boîte de vitesses ?**

- a) L'arbre primaire
- b) L'arbre secondaire
- c) L'arbre de transmission

**4. Quel est l'effet de l'augmentation du rapport de démultiplication sur la vitesse de la voiture et sur le couple fourni aux roues motrices ?**

- a) La vitesse diminue et le couple augmente
- b) La vitesse et le couple augmentent
- c) La vitesse augmente et le couple diminue

**5. On attribue l'invention de la boîte de vitesses au célèbre ingénieur allemand...**

- a) Rudolf Diesel
- b) Nikola Tesla
- c) Karl Benz

**6. De quel élément d'une voiture la boîte de vitesses fait-elle partie ?**

- a) La carrosserie
- b) Le moteur
- c) La transmission

**7. La majeure partie de la boîte de vitesses se trouve dans le châssis et comporte :**

- a) le levier de vitesses
- b) des axes
- c) des arbres, des engrenages et des axes

**8. Quel type de boîtes de vitesses installe-t-on sur les automobiles ?**

- a) Électrique
- b) Hydraulique
- c) Mécanique

**9. Comment le couple réagit-il à une augmentation de la vitesse ?**

- a) Il augmente.
- b) Il reste inchangé.
- c) Il diminue.

**10. Qu'est-ce que la démultiplication indique ?**

- a) Le nombre de dents d'un pignon
- b) Le couple moteur
- c) Le rapport entre les pignons entraînés et entraînant

**Félicitations ! C'est fait !**

Merci de nous avoir accompagnés dans cette aventure ; nous espérons que vous vous êtes amusé et que vous avez appris quelque chose.