Document pour l'enseignant-e

En voiture, tou-te-s attaché-e-s

PHYSIQUE
Forces, dynamique et lois de Newton

edu motion

Domaine disciplinaire	Physique
Public cible	Toute filière
Thème traité	Force, dynamique et lois de Newton
Objectifs d'apprentissages du plan d'études	▪ Savoir qu'un objet en mouvement possède de l'énergie cinétique ▪ Savoir que l'énergie peut revêtir différentes formes et se transformer (d'une forme à l'autre) ▪ Décrire le comportement de l'énergie cinétique en fonction de la masse et de la vitesse
Objectifs liés à la sécurité routière	▪ Comprendre le rôle de la ceinture de sécurité
Durée de la séquence	90 minutes, soit 45 minutes par exercice
Matériel	Document pour l'élève et matériel audio-visuel

Présentation

Cette séquence de physique traite du thème des forces, de l'énergie cinétique et des lois de Newton. Il s'agit d'un sujet complexe qui ne peut pas être enseigné en une seule leçon. Ainsi, le but de ce cours est de mettre à disposition des exercices supplémentaires qui complètent la théorie vue en cours et qui intègrent une réflexion sur la corrélation entre les lois de la physique et les recommandations en matière de sécurité routière ; les lois de la physique expliquant les conséquences de l'inobservation de règles de circulation et des comportements adéquats à adopter sur la route. Devenir conscient-e-s de cette corrélation permet aux élèves de se montrer plus vigilant-e-s. La séquence est composée de deux modules à intégrer à votre cours :

Les forces et les lois de Newton

La première partie de ce premier exercice attire l'attention sur les forces qui sont présentes et qui influent le mouvement de la voiture. Tandis que la seconde partie attire l'attention sur les conséquences des forces qui agissent sur les occupant-e-s du véhicule en décélération.

L'énergie cinétique

Le but du dernier exercice est d'attirer l'attention sur les dangers de la vitesse et ses impacts pour les occupant-e-s du véhicule en comparant le choc d'une collision sur la voie de circulation et à celui d'une chute du haut d'un immeuble. Parmi les exercices, des conseils sur la posture de conduite ou sur les gestes appropriés avant le démarrage de la voiture accompagnent la prise de conscience de l'élève sur le bon comportement à adopter pour augmenter la sécurité sur les routes.

Prévention

Bien qu'il soit tentant d'adopter une posture détendue, légèrement basculée en arrière, le conducteur pourra mieux réagir en cas de situation imprévue avec un siège et un volant bien réglés. Concernant les passagères et passagers qui veulent faire une sieste en adoptant une position semi-allongée ou en posant les pieds sur le tableau de bord, les résultats des crash-tests effectués par le TCS en collaboration avec son pendant allemand, l'ADAC[1], ont illustrés que dans ces positions les mannequins attachés à des ceintures à trois points dans une voiture roulant à 64 km/h contre un obstacle fixe n'ont pas pu être protégés correctement par les airbags. Durant les tests, la tête se cogne contre le côté latéral de la voiture dans le premier cas et les jambes se propulsent contre le thorax, sous l'impulsion de l'ouverture de l'airbag, dans le second cas. Dans cette deuxième situation, l'airbag, n'ayant pas pu complètement s'ouvrir à cause des pieds qui y sont posés, ne pourra pas protéger la tête du passager qui se heurtera contre le tableau de bord. Le danger de ces positions provient aussi du risque de passer sous la ceinture de sécurité et de subir des graves blessures car la décélération subie par les occupant-e-s du véhicule est importante. Ainsi, même à faible vitesse, le choc est conséquent. En Suisse, depuis 2017, le port de la ceinture a atteint un record de 95% chez les conductrices et conducteurs de voiture de tourisme. Si la technologie a amélioré la sécurité en conduite, l'état du véhicule, le comportement de la conductrice ou du conducteur et leurs postures respectives restent néanmoins déterminantes.

[1] Étude de l'ADAC en partenariat avec le TCS, supervision du projet par Isabella Ostermeier, Zukünftige Sitzpositionen 2020, version 1.0 du 28.04.2020.

Les forces et les lois de Newton

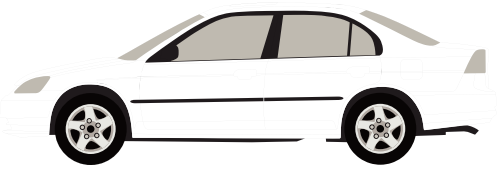
1. Les forces en présence sur un véhicule.

Le but de ce premier exercice est de rappeler d'étudier le véhicule et ses occupant-e-s comme un corps sur lequel les lois de Newton s'appliquent. Après avoir identifié les forces exercées sur un véhicule à différentes étapes de la conduite, la séquence cherche à sensibiliser les élèves sur l'influence de ces forces sur les occupant-e-s d'un véhicule au moment d'une décélération. La conclusion sera que pour minimiser la gravité des conséquences en cas de collision, des conseils sur les réglages du siège ou sur l'emplacement des bagages complètent peuvent être appliqué. L'enseignant-e sera devra donc faire expliciter ces conseils aux élèves.

Une voiture de masse de 1700 kg est représentée ci-dessous. Pour chacun des schémas, dessinez à partir du centre de gravité[2] les forces en présence en respectant les proportions de l'échelle donnée et nommez-les.

a) Quelles sont les forces en présence quand la voiture est à l'arrêt ? La résultante des forces est-elle nulle ?

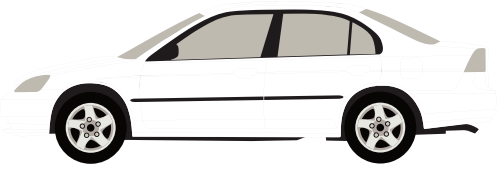
L'enseignant est libre de demander également un diagramme système-interactions.
Échelle : 1 cm = 1000 N



b) Calculez l'intensité de la force de pesanteur et de la force de soutien.

$F_p = m \cdot g = 1700 \cdot 9.81 = 16{,}67 \cdot 103$ N, F_n idem

c) Quelles sont les forces en présence quand la voiture accélère ? La résultante des forces est-elle nulle ? Pour ce cas, les forces d'intensité inconnue sont représentées qualitativement[3].



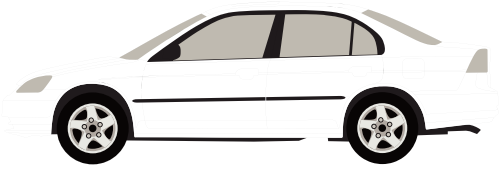
[2] Le centre de gravité de la voiture n'est pas au centre géométrique du véhicule puisque le moteur a une certaine masse.
[3] Ici, l'élève doit comprendre que l'intensité de la force motrice est inférieure à l'intensité de la force de pesanteur.

d) Quelle est l'intensité de la force motrice de la voiture si elle roule sur une autoroute droite et horizontale à une vitesse constante de 120 km/h alors qu'elle subit une force de frottement de 500 N ?

Comme la voiture roule à une vitesse constante, la force motrice est la même que celles de frottement, soit 500 N.

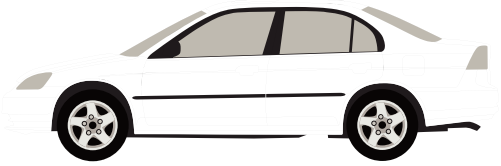
e) En utilisant vos calculs précédents, représentez les forces en présence quand la voiture roule à vitesse constante ?

Échelle : 1 cm = 1000 N



f) Enfin, quelles sont les forces qui agissent sur la voiture lorsqu'elle décélère ?

Échelle : 1 cm = 1000 N



2. Les forces exercées sur les occupants d'un véhicule en décélération.
Considérons maintenant un-e passager-e d'un véhicule dans différentes postures au moment où sa voiture décélère. Dessinez et nommez les forces qui agissent sur la personne, puis décrivez les conséquences de ces forces.

a) Une passagère dans une position appropriée, le siège droit, mais pas attaché.

Les occupant-e-s d'une voiture en mouvement ne sont pas immobiles, par rapport à la route : ils ont leur propre énergie cinétique. Cela signifie que si la voiture est brutalement arrêtée par un obstacle, les passager-e-s poursuivent le mouvement tant qu'elles/ils n'en rencontrent pas elles/eux-mêmes et que leur énergie cinétique n'est pas transformée par un choc. En effet, d'après la première loi de Newton, un objet garde son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme tant qu'aucune force externe ne lui est appliquée. Ainsi, en cas de choc sans ceinture de sécurité, le mouvement du passager ou de la passagère est indépendant de celui du véhicule. Alors que le véhicule voit sa vitesse diminuer, le/la passager-e, lui/elle, continue son mouvement rectiligne dans l'habitacle à la vitesse initiale du véhicule jusqu'à ce qu'il percute le pare-brise / le siège avant / le volant ou le tableau de bord. Les organes vitaux (cœur, foie, poumons, cerveau) sont également mus par leur propre énergie cinétique jusqu'à ce qu'ils se heurtent à la cage thoracique, ou à la boîte crânienne, ce qui engendre, selon la vitesse du véhicule, des risques de blessures graves voire de décès.

b) Un passager assis droit et attaché.

Selon la deuxième loi de Newton, quand le passager est attaché de manière ferme et rigide au véhicule, il subit la même décélération que celui-ci. L'énergie acquise par le corps du conducteur ou de la conductrice attaché-e est ainsi évacuée par la zone déformable du corps via la ceinture de sécurité, qui peut résister à une force allant jusqu'à 30 kN (pour comparaison, une grosse Jeep non chargée pèse 20 kN). Porter la ceinture de sécurité augmente les chances de survie par deux en cas de collision et c'est pour ça qu'en Suisse son oubli pendant un trajet même court est amendable.

c) Une passagère couchée dans son siège portant la ceinture de sécurité.

Lorsque le passager ou la passagère est en position couchée, la ceinture de sécurité ne peut pas la/le plaquer contre son siège par une pression du bas du bassin et du thorax, comme c'est le cas en position assise. Le corps du/de la passager-e glisse sous la ceinture et continue sa trajectoire en mouvement rectiligne uniforme comme s'il/elle n'avait pas été attaché-e.

d) Un passager assis sur un siège penché en arrière, de sorte à être assis dans une posture relaxante et attaché à la ceinture de sécurité.

Selon l'inclinaison du siège et la position du/de la passager-e, le cheminement non optimal de la ceinture de sécurité empêche la tête de se cogner contre l'airbag de protection, au centre du volant. La tête se cognera contre le volant / tableau de bord / côté latéral de la voiture, si le/la passager-e n'aura pas glissé sous la ceinture. Le cheminement non optimal de la ceinture due à la position inclinée produit de plus des charges particulièrement élevées au niveau de la nuque, de la poitrine et de la colonne vertébrale qui peuvent provoquer des dommages irréparables.

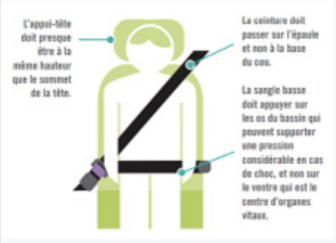
Le coin enseignant

Par une expérience très simple, on peut faire visualiser aux élèves le principe de ces lois et l'utilité de la ceinture de sécurité. Il suffit d'accrocher une bille sur un mini-skateboard une fois avec scotch et une fois sans. L'expérience peut aussi bien fonctionner avec une voiture lego ou un autre objet du choix de l'enseignant-e.

Conseils de sécurité aux élèves

1. Augmenter l'effet de la ceinture de sécurité

La ceinture de sécurité retient le corps humain en cas d'accident, mais cherche aussi à allonger le temps pendant lequel le corps ralentit pour diminuer les forces subies dans le corps par la décélération, pour répartir des forces sur une surface maximale du corps et pour y limiter leur pression. Pour que la ceinture remplisse sa fonction, voici deux conseils :

- 

  Positionnement : la ceinture doit passer sur l'épaule et non à la base du cou. Elle doit appuyer sur les os du bassin et non sur le ventre afin de ne pas aggraver les blessures au moment du choc et d'exclure la possibilité de glisser sous la ceinture.

-

  Conduite en hiver : pour réduire le jeu de l'élasticité de la ceinture au début de l'impact, il est recommandé, en hiver, de conduire sans sa veste. En effet, en cas de choc, quand la ceinture n'est pas en contact avec le corps, cela équivaut à la laisser s'étendre de 10 à 30 centimètres jusqu'à ce que la ceinture retienne le corps.

2. Régler de l'appuie-tête

Régler correctement l'appuie-tête permet en cas d'accident de soutenir la tête et d'éviter une flexion exagérée de la nuque et ce tant aux places avant qu'aux places arrière. Si une telle lésion est rarement mortelle dans les accidents les plus courants, ses conséquences peuvent cependant être incapacitantes à long terme (troubles du sommeil, douleurs cervicales, maux de tête, vertiges, etc.)

- L'appuie-tête doit être réglé à la même hauteur que le sommet du crâne de sorte que sa distance avec la tête est la plus petite possible.
- Le milieu de l'appui-tête doit arriver à la hauteur des yeux ou au bord supérieur des oreilles

3. Adopter une posture adéquate au volant

L'importance d'une bonne position de conduite n'est pas tant une question de confort qu'une question de performance et de sécurité : par une bonne posture, le conducteur se fatiguera moins et aura une meilleure maîtrise de son véhicule.

- Tête : régler l'appuie-tête.
- Dossier du siège : la position la plus verticale possible soulage le dos et permet de diminuer l'espace entre la tête et l'appuie-tête.
- Assise du siège : le bassin doit être plaqué au fond du siège afin qu'il n'y ait aucun écart entre le bas du dos et le dossier du siège. La hauteur du siège doit offrir une bonne visibilité.
- Bras : ils ne doivent être ni trop tendus ni trop repliés. Les épaules, elles, doivent rester en contact avec le dossier.
- Jambes : le siège doit être positionné de façon à ce que les jambes ne puissent pas être totalement tendues en appuyant sur la pédale. La cuisse droite ne doit pas non plus trop appuyer sur l'assise lorsque l'accélérateur est enfoncé.

L'énergie cinétique

1. Calculs de l'énergie cinétique

L'énergie est conservée, elle peut se transformer, passer d'une forme à l'autre, mais ne peut pas apparaître ou disparaître. Aussi, plus la vitesse d'un véhicule est élevée, plus la distance de freinage sera grande car pour ralentir/arrêter un véhicule, il est nécessaire de diminuer/annuler l'énergie cinétique du véhicule qui sera convertie en énergie thermique à travers l'action du freinage. Lors d'une collision, l'énergie cinétique du véhicule est dissipée dans la déformation de la carrosserie et de l'obstacle percuté. C'est pourquoi plus la vitesse est élevée, plus il y a d'énergie accumulée et plus les déformations dues à l'impact de l'accident seront importantes. De même, le passager subira des déformations importantes au niveau des membres, des organes, des muscles et des os du corps pouvant provoquer des blessures mortelles. Afin de pouvoir visualiser l'impact de la masse et de la vitesse dans l'accumulation de l'énergie cinétique lors du mouvement, l'exercice 2 propose de comparer l'impact d'un accident à une chute du haut d'un immeuble.

a) Calculez l'énergie cinétique d'une voiture de 1'000 kg roulant à 50,0 km/h puis roulant à 100 km/h. Qu'observez-vous ?

50,0 km/h = 13,9 m/s (uniquement 3 chiffres significatifs [CS])
100 km/h = 27,8 m/s (idem 3CS)

$Ec = (m \cdot v^2)/2 = (1000 \cdot 13{,}9^2)/2 = 96{,}6$ kJ (3CS)

$Ec = (m \cdot v^2)/2 = (1000 \cdot 27{,}8^2)/2 = 386$ kJ (3CS)

Par la formule de calcul de l'énergie cinétique, nous pouvons déjà observer que cette énergie varie en fonction du carré de la vitesse : donc si la vitesse double, l'énergie cinétique quadruple. En effet, comme tout corps en mouvement accumule de l'énergie, en cas de choc, l'énergie cinétique dégagée dépend de la masse du véhicule et de sa vitesse au carré. Un choc à 100 km/h sera donc 4 fois plus violent qu'à 50 km/h.

b) Une collision contre un mur peut se comparer à une chute du haut d'un immeuble : l'énergie potentielle au début de la chute de celle/celui qui tombe ($E = m \cdot g \cdot h$) équivaut à l'énergie cinétique au moment de la telle collision ($E = ½ m^2$).

$$\text{Ec finale} = \frac{m \cdot v^2}{2} = \text{Ep initiale} = m \cdot g \cdot h$$

Dans le cas d'une chute, le choc peut être amorti par des cartons, une toile tendue ou un matelas. Dans le cas d'une collision, le choc est amorti par la déformation de la structure.

Calculez l'énergie cinétique d'un corps dépendant de la vitesse du véhicule. Que peut-on observer ? Puis, en admettant qu'un étage fasse en moyenne 3 mètres de haut, calculez la hauteur de chute libre correspondante.

Vitesse d'impact	Energie cinétique (personne pesant 75 kg)	Correspond à la chute d'une hauteur de
30,0 km/h = 8,33 m/s	2,60 kJ	3,5 m (1e étage)
50,0 km/h = 13,9 m/s	7,23 kJ	10 m (3e étage)
80,0 km/h = 22,2 m/s	18,5 kJ	25 m (8e étage)
100 km/h = 27,8 m/s	28,9 kJ	40 m (13e étage)
120 km/h = 33,3 m/s	41,6 kJ	57 m (19e étage)

Les effets de la vitesse sont largement sous-estimés. Par ce tableau, on observe qu'un choc à la limitation de vitesse en localité, soit 50 km/h, est comparable à une chute du 3e étage au niveau de l'énergie cinétique en jeu. À 50 km/h, l'arrêt du véhicule sur une très courte distance produit donc des forces de décélération énormes sur le corps[4]. Les valeurs à 80 km/h sont, elles, particulièrement élevées, ce qui explique que la plupart des usagers, même ceinturés, n'ont pratiquement plus aucune chance de survivre lors un choc frontal.

Heureusement, la majorité des chocs à grande vitesse ne sont pas frontaux. Ainsi, les décélérations sont moindres et les chances de survie des passagers est augmentée. Il convient tout de même de garder en tête les énergies cinétiques en jeu lors d'accidents de voitures et donc la grande dangerosité d'un accident, même si celui-ci pas frontal.

[4] Option de calculs avancés pour les classes d'OS. Pour un choc à 50 km/h, une personne pesant 75 kg sera propulsée avec un poids équivalent à 2,5 tonnes. La force musculaire opposable (50 kg pour les bras et 100 kg pour les jambes) est de ce fait dérisoire. Seule la ceinture de sécurité peut encaisser un tel poids. À 80 km/h, l'accident équivaut à une chute du 8ème étage et le poids de l'homme est cette fois de presque 4 tonnes.

Dans le cas d'un choc latéral, cependant, la collision peut être fatale à partir déjà de 35 km/h. En effet, la distance séparant l'obstacle de l'occupant est très faible en comparaison à l'avant du véhicule et le temps qui s'écoule entre le début et la fin du choc est lui aussi trop rapide. Ceci explique que les collisions latérales sont très graves, même à faible vitesse. La protection des occupants d'un véhicule trouve ses limites par les limites propres du corps humain. Les dispositifs de sécurité (ceinture, airbags) sont inefficaces pour des chocs à grande vitesse. Même parfaitement protégé, le corps humain est soumis en cas de choc à grande vitesse à une décélération physiquement insupportable. L'automobiliste peut échapper aux lois de la route, pas à celles de la biomécanique et de la physique.

Conseils de sécurité aux élèves

Comme tout corps en mouvement accumule de l'énergie, il est faux de penser que, lors d'un choc, il est possible de retenir une personne, un bébé ou un animal non attaché. Ces derniers peuvent atteindre, par les forces qu'ils subissent au moment de la décélération, jusqu'à une tonne. Une personne moyenne n'a pas la force de bras nécessaire pour retenir un tel poids, comme elle n'en aurait par ailleurs pas en cherchant à se retenir elle-même par la force de ses bras et de ses jambes. Les meilleurs haltérophiles soulèvent tout au plus 250 kg. Les passager-e-s non attaché-e-s à l'arrière du véhicule peuvent devenir des projectiles mortels en cas de collision. Ainsi, attachez-vous et utilisez une cage ou un harnais pour votre animal de compagnie.

Le coin enseignant

Placer les bagages sur la voiture mise à disposition et expliquer les points suivants, également reproduits dans le document élève.

- Placer les bagages et autres objets encombrants dans le coffre. Les objets lourds sont mis en dessous de toutes les autres affaires. L'ensemble ne doit pas dépasser la hauteur des appuie-têtes des sièges arrières pour conserver la visibilité et pour éviter que les bagages ne soient projetés sur les passagers en cas de freinage.
- Dans les interstices, placer les petites affaires afin que rien ne puisse bouger.
- Les autres objets et accessoires doivent être rangés dans les endroits de rangements à disposition : les bouteilles d'eau dans les endroits nécessaires à ce type de rangement et les autres objets indispensables (téléphone, mouchoirs, médicaments) dans le coffre de l'accoudoir central ou aux portières. Il ne faut en tout cas pas les déposer sur la banquette arrière car en cas de freinage, ces objets peuvent devenir des projectiles dangereux, comme on l'a vu dans les exercices.
- Si les objets sont volumineux, privilégiez le plancher arrière comme espace de rangement. Vous pouvez également les placez dans la banquette arrière mais, dans ce cas, vous devrez les arrimez grâce à un kit de fixation.
- S'il n'y a pas assez de place dans le coffre, optez pour une remorque ou un box sur le toit. Toutefois, il est conseillé de n'y ranger que des objets légers au risque de changer le centre de gravité de la voiture et d'influer sur sa stabilité dans les virages.

- Le détenteur du véhicule est responsable de l'état de sécurité du véhicule, il doit donc veiller à ce que le chargement est suffisamment sécurisé et ne gêne pas la conduite ou les autres passagers du véhicule.

Piste d'approfondissement. Le cas de la conduite à moto.

- Énergie transformée en chaleur : brûlures en cas de chute (d'où le rôle des habits protecteurs).
- Rôle du casque : réduire l'accélération subie par le crâne en allongeant la durée de l'impact et en amortissant ainsi le choc subi. Il reste que les risques de lésions cérébrales sont nettement plus élevés lors d'une collision à moto qu'en voiture.
- Absence d'équipement de sécurité : les motocyclistes constituent une catégorie d'usagers de la route particulièrement vulnérables. En cas d'impact, leur trajectoire se poursuit sans qu'il y ait tableau de bord, ceinture de sécurité ou airbags pour les retenir et les protéger.
- Impact frontal : la plage de déformation est sur une moto également réduite.
- Impact latéral : en cas de choc latéral, l'impact est encore plus violent et touche directement le motard.

Conception des dossiers pédagogiques et du matériel didactique :
TCS, Département de la Sécurité routière.
Avec le soutien de la Direction générale de l'enseignement secondaire II et du Service enseignement, évaluation et certifications du DIP.

Pour toute mise à jour du cours, consultez edu4motion.ch

Touring Club Suisse
Sécurité Routière
Chemin de Blandonnet 4
1214 Vernier
sro@tcs.ch
058 827 23 90

REPUBLIQUE
ET CANTON
DE GENEVE

POST TENEBRAS LUX