

Groupe cible	Les classes du deuxième et du troisième degré de l'enseignement secondaire
Mode de déplacement	Voiture
Objectif	Permettre aux élèves de comprendre sur base d'éléments concrets et scientifiques les risques d'une vitesse excessive et/ou inadaptée
Compétences travaillées en sciences	<ul style="list-style-type: none"> - Sciences de base, vivre en famille • compétence visée: expliquer pourquoi et comment intégrer des règles de sécurité et/ou d'hygiène dans des comportements quotidiens. • savoirs visés en physique: sécurité routière: trajectoire, vitesse, accélération, distance de freinage et dérapages dans les virages. - Sciences générales, compétences et savoirs disciplinaires en physique • compétences spécifiques visées: interpréter les mouvements en termes de conversion d'énergie ; analyser une chute libre. • savoirs visés: forces et mouvements.

I Introduction

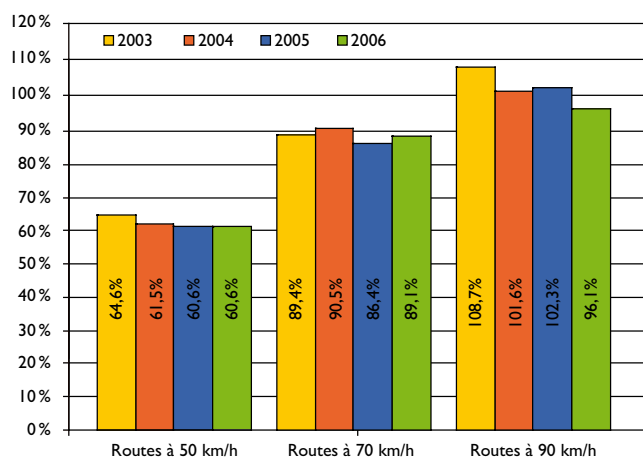
Cette fiche a pour objectif de vous aider à intégrer le thème de la vitesse inadaptée et de la sécurité routière dans les cours de sciences et notamment de physique. À l'instar de la fiche n° 1 "ceinture de sécurité", elle confronte des idées reçues sur la vitesse aux réalités scientifiques.



Cette affiche de l'IBSR montre qu'une vitesse excessive limite le champ visuel du conducteur.

En sécurité routière, il est reconnu que la vitesse est une cause importante d'accidents (certaines études pointent la vitesse comme un facteur déterminant dans 30% des accidents mortels). En effet, plus la vitesse augmente, plus le champ visuel du conducteur se rétrécit. Une vitesse élevée allonge également les distances d'arrêt. Et même si la vitesse n'est pas la cause de l'accident, elle en est un facteur aggravant.

Cependant, on constate encore un grand nombre d'excès de vitesse dans les statistiques d'infractions. Le graphique ci-dessous montre les vitesses V85 pratiquées en Belgique de 2003 à 2006. La vitesse V85 est la vitesse en dessous de laquelle roulent 85% des conducteurs. **On constate que, bien que la vitesse V85 a diminué depuis 2003, elle reste, et ce quelle que soit la limitation de vitesse, supérieure à la vitesse maximale autorisée.**



Source: IBSR

2 "Si le conducteur est un bon pilote, il peut éviter les obstacles même s'il roule (très) vite"

2.1. La vitesse excessive augmente les distances d'arrêt

Pour pouvoir éviter un obstacle, le conducteur d'une voiture a deux solutions: soit il le contourne, mais avec les risques de pertes de contrôle que cela implique, soit il s'arrête avant. Pour pouvoir s'arrêter avant l'obstacle, le conducteur doit pouvoir disposer d'une distance suffisante. C'est ce qu'on appelle la distance d'arrêt. La distance d'arrêt D_A correspond à la somme des distances dites de réaction et de freinage.

$$D_A = D_R + D_F$$

La distance de réaction D_R correspond à la distance parcourue entre le moment où le conducteur perçoit le danger ou l'obstacle et le moment où il freine. On estime ce temps de réaction t_r à 1 seconde chez le conducteur attentif. Evidemment ce temps de réaction varie en fonction de l'état de la personne: est-elle fatiguée? Est-elle distraite (GSM, passagers)? A-t-elle consommée de l'alcool? Ces éléments et bien d'autres jouent sur la vigilance du conducteur. La distance parcourue durant le temps de réaction t_r est également dépendante de la vitesse initiale v_0 : plus la vitesse est importante, plus grande sera la distance parcourue pendant la seconde nécessaire au conducteur pour réagir.

$$D_R = v_0 \cdot t_r$$

La distance de freinage D_F correspond à la distance parcourue entre le moment où le conducteur appuie sur les freins et le moment où son véhicule s'arrête. Elle dépend évidemment de la force d'accélération appliquée durant le freinage (qui est donc une valeur négative) qui dépend elle-même de l'adhérence du véhicule sur la route.

Vu que la vitesse, dans un mouvement uniformément décéléré, est une fonction linéaire du temps et que la distance parcourue est sa dérivée première, calculer la distance parcourue revient à déterminer la surface trapézoïdale sous la courbe vitesse-temps:

$$(1) \Delta(s) = \left[\frac{v + v_0}{2} \right] * \Delta(t)$$

Comme par ailleurs, dans un mouvement uniformément décéléré, l'accélération et la vitesse sont également liées par une relation du premier degré:

$$(2) \Delta(t) = \frac{v - v_0}{a}$$

En remplaçant (2) dans (1) on obtient alors :

$$(3) \Delta(s) = \frac{v^2 - v_0^2}{2 * a}$$

Lorsque le mouvement de décélération se poursuit jusqu'à l'arrêt du véhicule, la vitesse finale v de la formule (3) est nulle et $\Delta(s)$ correspond à la distance de freinage D_f que l'on peut également noter :

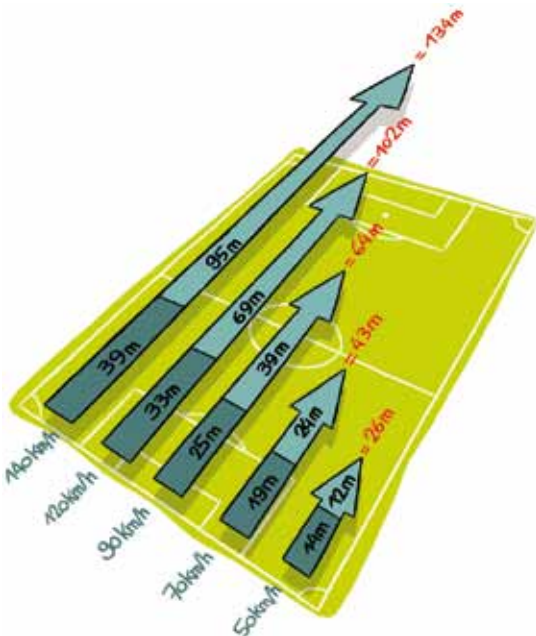
$$D_f = \Delta(s) = \frac{-v_0^2}{2 * a}$$

Le signe $-$ devant v_0 est neutralisé par le signe négatif d'une décélération, d'où une distance positive.

On considère les valeurs typiques suivantes de l'accélération (ou décélération car elle est négative) moyenne d'un véhicule en ordre sur le plan technique pendant un freinage :

- $a = -8 \text{ m/s}^2$ sur une route sèche, bien asphaltée
- $a = -5 \text{ m/s}^2$ sur route humide
- $a = -2 \text{ m/s}^2$ sur route détrempee (fortes pluies)
- $a = -1 \text{ m/s}^2$ quand il y a du verglas ou de la neige.

Ce schéma illustre les distance d'arrêt par rapport à la longueur d'un terrain de football.



Questions :

1. Quelle est la distance d'arrêt dont une voiture - qui roule à 50 km/h - a besoin pour s'immobiliser sachant que les conditions de circulation sont bonnes et que le temps de réaction du conducteur est de 1s?
2. Même question mais la vitesse de la voiture est de 100 km/h.
3. Comparez les distances d'arrêt obtenues aux deux questions précédentes. Que constatez-vous?

Conclusion :

À nouveau, le carré de la vitesse joue un rôle déterminant dans les distances d'arrêt. Doubler sa vitesse implique de pratiquement tripler sa distance d'arrêt en cas de freinage d'urgence.

Les capacités de pilotage du conducteur n'auront, avec les systèmes modernes d'aide à la conduite (ABS¹, ESP², etc.), quasi aucune influence sur la distance de freinage. Celle-ci dépend, dans les limites de l'adhérence des pneus sur la route, de la décélération du véhicule, donc de la pression exercée par le conducteur sur la pédale de frein.

2.2. La vitesse excessive influence le champ visuel du conducteur

Plus la vitesse est élevée, plus le conducteur d'une voiture ou d'un cyclomoteur voit son champ visuel se réduire. Le conducteur perçoit donc moins bien les objets et les mouvements sur le côté.

Le champ visuel d'un piéton couvre 180°. La vision centrale perçoit très bien les détails tandis que la vision périphérique est sensible aux mouvements. Si la vitesse augmente, la vision périphérique devient moins efficace, moins nette, le regard se focalise sur le centre, c'est la vision en tunnel. **En résumé, plus on va vite, plus la perception périphérique se rétrécit.** Cela implique des risques directs pour le conducteur et ses passagers mais aussi pour les autres personnes qui circulent aux alentours (piétons, cyclistes, autres voitures...).



¹ L'ABS ou "Antiblockiersystem" est un système qui empêche le blocage des roues par les freins durant un freinage. Le but premier de l'ABS est de conserver la maîtrise de la direction du véhicule, pas de réduire la distance de freinage.

² L'Electronic Stability Program (ESP) est un équipement qui vise à améliorer la stabilité du comportement du véhicule lorsque celui-ci risque de quitter la trajectoire désirée par le conducteur.

Conclusion:

Plus un conducteur roule vite, plus son champ visuel se réduit. Il ne peut plus anticiper correctement et efficacement les réactions des autres usagers qui se trouvent dans son champ visuel périphérique. Le risque d'accident est alors important.

Pour aller plus loin...

Les autorités prennent différentes mesures pour faire respecter les limites de vitesse et réduire de manière générale les vitesses pratiquées. En matière de répression, les excès de vitesse constituent une catégorie à proprement parlé parmi les infractions routières. Les sanctions sont lourdes: de 50 € minimum pour un excès de vitesse de 1 à 10 km/h jusqu'au renvoi devant le tribunal pour des excès de vitesse de plus de 40 km/h (pour plus d'informations voir "Carte des amendes" téléchargeable sur le site www.ibsr.be dans la partie information).

Certaines interventions se font directement sur les infrastructures routières. En plaçant des casse-vitesse, en rétrécissant la chaussée... les gestionnaires de voiries essayent de créer un environnement qui incite les conducteurs à lever le pied.



Avant



Après

Une même rue avant et après réaménagement. Tout a été fait pour que les conducteurs diminuent leur vitesse. La partie de la rue réservée à la circulation est limitée, le revêtement en pavés signale que la rue est fréquentée par de nombreux piétons et qu'il est nécessaire de rouler plus lentement.

2.3. Forces exercées pendant la collision

Un véhicule est soumis dans les virages à la force centrifuge.

$$F_c = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Le rayon de la courbe r , la masse du véhicule m et la vitesse v interviennent dans le calcul de cette force. Toutefois, le seul paramètre sur lequel le conducteur a de l'influence, car il peut le déterminer, c'est la vitesse. **Or, la vitesse intervient au carré dans le calcul de la force centrifuge.** Si la vitesse est double, la force centrifuge quadruple!

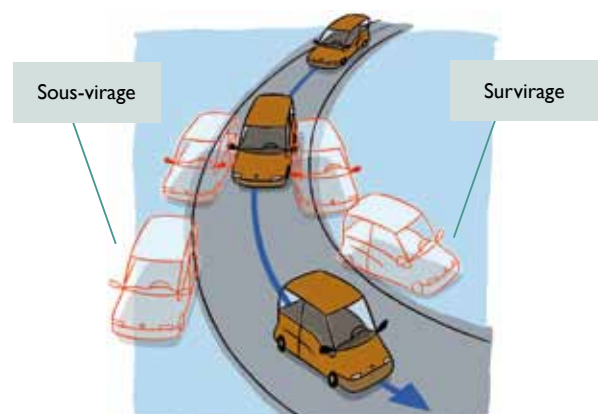
Expérience: "ressentir" la force centrifuge

Prenons un objet d'une masse relativement importante et suspendons-le à une corde. En faisant tourner l'objet autour de soi, que constatons-nous? Nous pouvons "ressentir" que plus la vitesse augmente, plus l'objet semble lourd et "tirer" sur le bout de la corde. La force centrifuge augmente donc en fonction de la vitesse.

Un conducteur moyen peut maîtriser son véhicule si l'accélération transversale est de 4 m/s^2 . À partir de $6,5 \text{ m/s}^2$, le conducteur prend le risque de perdre le contrôle de son véhicule.

$$A_t = \frac{v^2}{r}$$

Lorsque la force centrifuge, suite à une accélération latérale trop importante, dépasse l'adhérence latérale disponible, la voiture commence à "chasser" de l'avant ou de l'arrière. Ce sont les phénomènes de sous-virage et de survirage. Le sous-virage est une perte de contrôle qui arrive lorsque les roues avant se bloquent suite à une perte d'adhérence des pneus avec le sol. Cette perte d'adhérence peut être due à un sol mouillé ou enneigé³ mais également à une vitesse trop importante. Le survirage est également une perte de contrôle mais ici ce sont les roues arrière qui se bloquent suite à une perte d'adhérence due à une vitesse trop élevée. Dans ce cas, la voiture se déporte vers l'intérieur du virage et le tête-à-queue est pratiquement inévitable vu la force d'inertie.

**Questions:**

1. Quelle est la vitesse maximale à laquelle peut se déplacer une voiture dans un virage d'un rayon de 50 m (type de rayon d'un virage d'un échangeur d'autoroute), sachant qu'à partir de $6,5 \text{ m/s}^2$ d'accélération transversale, la perte de contrôle est inévitable?
2. Même question mais le rayon du virage est de 12 m (type de rayon d'un virage dans un rond-point en agglomération)?

³ C'est pourquoi le code de la route stipule en son article 10.1.1 que "Tout conducteur doit régler sa vitesse dans la mesure requise par d'autres usagers et en particulier les plus vulnérables, les conditions climatiques, la disposition des lieux, la densité de la circulation, le champ de visibilité, l'état de la route (...)".

Conclusion :

Les lois physiques ne permettent pas, même à un bon pilote, de rouler très vite dans les virages. Il faut, en effet, pouvoir rouler à une vitesse qui permet de contrôler l'accélération transversale qui elle-même est déterminée par le rayon de la courbe et la vitesse... au carré.

3 “Même si je roule vite, en cas d'accident, la ceinture de sécurité et les airbags vont me protéger. Je ne risque (presque) rien”

Cette idée reçue est fautive car, au contraire, la vitesse est connue comme un facteur aggravant les conséquences d'un accident.

En effet, l'énergie développée durant un accident est proportionnelle au carré de la vitesse.

Le calcul de l'énergie cinétique d'un mobile est traduit par l'expression suivante :

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Par conséquent, plus la vitesse sera élevée lors d'un accident, plus la force appliquée lors du choc sera importante. Une faible différence de vitesse joue donc un rôle déterminant en cas d'accident : subir un accident à 30 km/h ou à 50 km/h, ce n'est pas la même chose. Par ailleurs, une conduite à trop grande vitesse implique aussi des risques pour les autres usagers de la route. À titre d'exemple, le tableau ci-dessous reprend les risques d'être tué pour un piéton en fonction de la vitesse au moment de l'accident.

Vitesse pratiquée au moment de l'accident	Risque d'être tué pour le piéton
30 km/h	15 % de risques d'être tué. Les blessures les plus fréquentes sont cependant des contusions légères.
50 km/h	60 % de probabilités d'être tué. Apparition de cas d'invalidité et de cas mortels.
60 km/h	85 % de risques d'être tué.
À plus de 60 km/h	La probabilité d'être tué est proche de 100%.

Sources : SETRA (Service technique du Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durable, France), Vitesse et mortalité, Savoirs de base en sécurité routière, mars 2006.

Les cyclomotoristes sont aussi directement concernés par les conséquences d'une vitesse excessive en cas d'accident. N'ayant pas de ceinture de sécurité pour freiner son mouvement, le cyclomotoriste va continuer à se déplacer en cas de choc jusqu'au moment où il va rencontrer un obstacle (mur, arbre...).

Questions :

Une personne de 60 kilos se trouve dans une voiture.

1. Quelle est son énergie cinétique si la voiture se déplace à 30 km/h ?
2. Quelle est son énergie cinétique si le véhicule se déplace à 50 km/h ?
3. En cas de choc, qu'est-ce que cela signifie concrètement ? Comparons l'énergie développée lors de ces chocs à des chutes libres. Pour ce faire, nous pouvons faire coïncider les expressions suivantes : $E = m \cdot v^2 / 2$ et $F = m \cdot g \cdot X$ (la hauteur de la chute).

Conclusion :

On sait que la vitesse en cas d'accident intervient au carré dans l'énergie développée lors d'un accident. Une vitesse doublée signifie donc que l'énergie est quadruplée en cas d'accident. Si on compare le choc à une chute, la hauteur de la chute serait également quadruplée.

Solutions aux questions

- 2.1.1. La distance d'arrêt à 50 km/h = 14 m (distance de réaction) + 12 m (distance de freinage) = 26 m.
- 2.1.2. La distance d'arrêt à 100 km/h = 28 m (distance de réaction) + 49 m (distance de freinage) = 77 m.
- 2.1.3. La distance d'arrêt total à 100 km/h est environ trois fois plus longue qu'à 50 km/h. Cela signifie que si la vitesse double, la distance d'arrêt est multipliée par trois.
- 2.3.1. 64 km/h.
- 2.3.2. 31 km/h.
- 3.1. 2083J.
- 3.2. 5787J.
- 3.3. À 30 km/h, le choc équivaut à une chute de 3,5 m et à 50 km/h, à une chute d'une hauteur de 9,7 m.

Sources

Compétences et savoirs requis en sciences (humanités générales et technologies), Ministère de la Communauté française, 2001.

Le modulatoroute, le labo interactif de la Prévention Routière accessible sur le site de la Prévention routière (France) www.preventionroutiere.asso.fr.

La parole aux passagers, Brochure IBSR, 2007.

MARTENS, S., Ceinture de sécurité (fiche de sciences), IBSR, 2009.

PAGE, J.-M., Physique et sécurité routière, IBSR, 2008.

Observatoire pour la Sécurité Routière, Évolution de la sécurité routière de 2000 à 2006, IBSR, 2009.

SETRA (Service technique du Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durable, France), Vitesse et mortalité, Savoirs de base en sécurité routière, mars 2006.

Routes et lois physiques, Bureau suisse de prévention des accidents, Berne, 1999.

Trop vite... trop tard!, dépliant IBSR, 2008.

Auteur : Marie-Noëlle Collart
 Relecture scientifique : Jean-Manuel Page
 Editeur responsable : Martin Van Houtte
 Dépôt légal : D/2009/0779/94
 Illustrations : Frédéric Thiry et Marmelade
 Mise en page : www.mazygraphic.be
 Photos : Isabelle Janssens
 Beschikbaar in het Nederlands