



Printemps des Sciences 2014

Activité LL05

Les réflexes

Dossier pédagogique
présenté par HELMO, E.
Balthasart

Les réflexes, et leur implication en matière de sécurité routière.

Note importante à l'attention des enseignants :

Cet exposé sur les réflexes sera proposé à un large public, allant d'élèves de 3^e maternelle jusqu'aux élèves de dernière année d'humanité.

Il est bien évident que, si les notions théoriques présentées sont valables pour toutes les catégories du public visé, elles seront présentées différemment en fonction des classes. Le niveau des explications techniques s'élèvera avec l'âge des participants.

- Au niveau des petits de maternelle, on se basera essentiellement sur des essais répétés avec les « testeurs de réflexes » en montrant aux enfants les conséquences sur la distance d'arrêt d'une voiture ou d'un vélo, sans aucun développement théorique, seulement une sensibilisation à la vitesse, à la prudence des petits vis-à-vis de la circulation et à la pertinence du respect des zones « 30 » aux abords des écoles. On espère en retour une sensibilisation des parents par leurs enfants.
- Dès l'école primaire, on ajoutera des notions comme l'importance sur le temps de réaction de l'attention lors de la conduite ou l'influence de la visibilité du piéton, ainsi que des notions concernant l'adhérence du revêtement en fonction des conditions atmosphériques et leur influence sur la distance d'arrêt du véhicule.
- On arrivera ainsi progressivement, pour un public de fin d'humanité, aux explications théoriques de la distance de freinage du véhicule en fonction de la vitesse initiale et de la décélération permise par le système de freinage et les conditions d'adhérence (monstration basée sur les lois du mouvement rectiligne uniformément accéléré).

Vous trouverez donc ci-dessous la trame de l'exposé, avec l'ensemble des notions qui seront abordées plus ou moins en profondeur selon la place de votre classe dans la hiérarchie proposée. Considérez donc la partie théorique comme un référentiel destiné à votre complète information, et non pas comme un support de cours tout prêt !

Remerciements :

Cette activité a pu être réalisée grâce à l'aide apportée par l'Institut Belge pour la Sécurité Routière.



Structure des exposés :

Les réflexes, et leur implication en matière de sécurité routière.

Il s'agit d'un exposé (avec réaction des enfants) articulé autour de 2 expériences pratiques effectuées par un ou plusieurs enfants (selon le temps restant disponible en fin d'exposé, les autres enfants de la classe pourront s'y essayer également).

Expérience 1 : simulation d'un départ de Formule 1.

L'enfant dispose d'un « poste de conduite » (volant et pédalier). Il regarde la piste d'un circuit de voitures miniatures.

Les 5 feux au dessus de la ligne de départ s'allument successivement, puis s'éteignent tous ensemble. A ce moment, l'enfant doit enfoncer la pédale d'accélérateur. Le temps de réaction est compté depuis l'extinction des feux jusqu'à l'enfoncement de l'accélérateur.

En répétant l'expérience, on montre que l'on peut améliorer ses performances.

Expérience 2 : freinage d'un véhicule

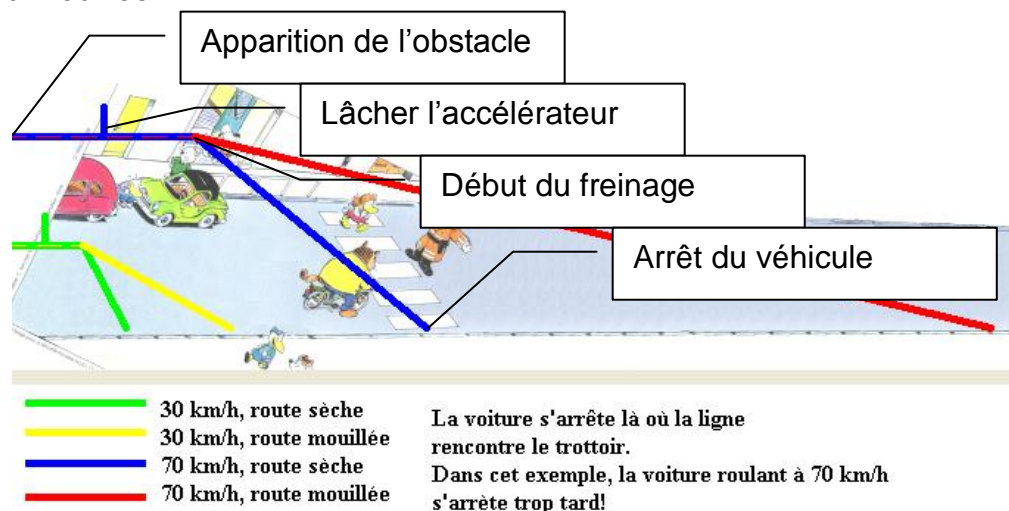
L'enfant dispose d'un « poste de conduite » (volant et pédalier). Il regarde la route (visualisée sur un écran d'ordinateur).

L'expérience commence quand l'enfant pousse sur l'accélérateur. Après un temps choisi aléatoirement (entre 3 et 10 secondes), un obstacle apparaît sur l'écran (4 obstacles possibles).

L'enfant doit alors lâcher l'accélérateur et pousser sur le frein.

Le temps pour relâcher l'accélérateur et celui pour enfoncer le frein sont mesurés.

Le résultat en terme de distance d'arrêt est affiché graphiquement sur écran en suivant 4 hypothèses : vitesse de départ 30 ou 70 km/h, route sèche ou mouillée.



Résumé de l'exposé.

1. Définitions.
 - a. Langue usuelle.
 - Notion de réflexe = réactions rapides.
Exemple de réflexe de ce type : voir un obstacle, l'éviter.
 - Influx nerveux -> analyse par le cerveau -> réaction -> commande muscles.
 - b. Domaine médical.
 - Notion de réflexe : réaction sans intervention du cerveau.
Exemple : mettre le pied sur une épine, toucher une surface chaude.
 - Influx nerveux -> moelle épinière -> commande muscles.
 - Vitesse de l'influx nerveux.
- L'exposé concerne essentiellement le premier type de réflexe.
2. Notion de temps de réaction.
 - a. Expérience 1 : départ F1.
 - L'attention est fixée.
 - Le candidat sait où regarder, et sait quand le départ sera donné.
 - On obtient un résultat court, proche du temps de transit de l'influx nerveux.
 - b. Expérience 2 : obstacle soudain dans la circulation.
 - Le candidat est attentif, mais le cerveau doit analyser les images reçues par les yeux.
 - Le candidat doit surveiller plusieurs zones de l'écran, il ne sait ni quand ni où l'événement surviendra.
 - On obtient un résultat plus long, car il y a analyse par le cerveau.
 - c. Vie courante.
 - Le candidat ne s'attend pas à ce qu'un obstacle survienne.
 - Le candidat est moins attentif, l'analyse des images par son cerveau est moins profonde.
 - On obtient un résultat encore plus long, incluant un nouveau délai : le temps nécessaire pour attirer l'attention sur une anomalie de l'image et de lancer l'analyse.
3. Implications en sécurité routière.
 - a. Vitesse d'une voiture.
 - Unité usuelle : km/h.
 - Equivalent plus approprié : m/sec.
 - Trajet parcouru pendant le temps de réaction.
 - Distance de freinage nécessaire pour arrêter le véhicule avec/sans ABS.
 - b. Conditions atmosphériques.
 - Problème des conditions d'adhérence.
 - Influence de la luminosité sur le travail d'analyse du cerveau.
 - Importance des habits réfléchissants.
 - Le piéton qui ne sait pas qu'il n'est pas vu par l'automobiliste.
 - c. Position dans la circulation pour une meilleure sécurité.
 - Le piéton : marcher à gauche.
 - Le cycliste : couloirs séparés.

Définitions.

Que nous dit le dictionnaire ?

Petit Larousse Illustré (2006) :

- Réaction très rapide anticipant toute réflexion, en présence d'un événement. *Avoir du réflexe, des réflexes* : réagir vite, avec à propos.
- PHYSIOL. Réponse immédiate et involontaire d'un organe (muscle, glande, etc...), d'une partie du corps, déclenchée par le système nerveux à la suite d'une stimulation sensitive ou sensorielle. PSYCHOL. *Réflexe conditionnel ou conditionné* --> **conditionnel**.

On voit directement qu'il y a deux acceptations du terme « réflexe » :

- la notion de réflexe au sens commun du terme, signifiant « réaction très rapide », sans plus de précision.
- la notion de réflexe au sens médical du terme, qui concerne un type de réaction rapide : la réaction rapide sans intervention du cerveau : il y a, dans ce cas, activation directe, au niveau de la moelle épinière, des nerfs moteurs des muscles concernés par les nerfs conduisant la stimulation. Le cerveau n'intervient pas, la réaction est automatique. Exemple : le réflexe rotulien.

Comment une sollicitation est-elle transmise dans le corps humain ?

L'information circule dans le système nerveux : elle apparaît sous forme de potentiels électriques qui se transmettent de cellule à cellule dans le nerf concerné. Arrivée à destination, l'information est exploitée par l'organe auquel elle est destinée : le cerveau, dans le cas d'une sensation en provenance d'un de nos 5 sens, ou le muscle dans le cas d'une commande de mouvement. Au niveau musculaire, le potentiel électrique agit sur les réactions chimiques dans le muscle et déclenche sa contraction.

Dans le cas du « réflexe au sens médical », cette sollicitation est interceptée au niveau de la moelle épinière où une cellule spécialisée (un neurone) la renvoie immédiatement vers le muscle à mobiliser. Le trajet est donc court : sens--> nerf-->moelle épinière-->nerf moteur--> muscle et la réaction est la plus rapide possible.

Pour le réflexe au sens commun du terme, il y a une réaction rapide, qui met en jeu l'analyse de la situation par le cerveau : la sollicitation suit le nerf, atteint le cerveau qui l'analyse et prend sa décision. Le cerveau active alors un nerf moteur, et dès que l'influx nerveux atteint le muscle concerné, celui-ci se contracte. Comme il y a intervention du cerveau, un bon entraînement permet d'améliorer les performances : le cerveau apprend la situation à reconnaître, ce qui lui permet de réagir plus vite. Si on est moins inattentif, le travail d'analyse du cerveau se passe plus lentement. Avec un cerveau complètement inattentif, il peut très bien arriver qu'il n'y ait aucune réaction ! Pensons à un enfant « dans la lune » : il ne s'aperçoit même pas que son professeur l'interroge.

Notions de temps de réaction.

Le temps de réaction est celui qui s'écoule entre l'apparition d'une sollicitation et la réponse physique à cette réaction.

Dans le cas qui nous occupe, la sollicitation est visuelle et la réaction est musculaire au niveau de la jambe.

Le « trajet » logique de l'information à suivre est donc le suivant :

Œil – nerf optique - cerveau – analyse – décision – nerf moteur vers la jambe – jambe.

On distingue 2 catégories dans ce trajet :

Trajet physique (œil – cerveau, influx nerveux et mouvement jambe)

Trajet mental (analyse et décision dans le cerveau).

La durée nécessaire pour le trajet physique dépend essentiellement de la vitesse de propagation de l'influx nerveux (environ 40 m/s), donc de la taille de l'individu concerné. Au niveau des muscles, les mouvements rapides demandent environ 50 millisecondes pour les faire se contracter. Un enfant d'une taille de 1,6 m aura donc un trajet physique de 90 millisecondes au minimum.

La durée du « trajet mental » c'est-à-dire du traitement des images par le cerveau et de la prise de décision qui s'en suit dépend directement du « programme » en cours à ce moment. En d'autres termes, le cerveau analyse prioritairement les images reçues selon les critères qui le préoccupent à ce moment (vers où son attention est fixée), et traite le reste des critères plus tardivement.

Un exemple en sécurité routière est l'utilisation d'un téléphone au volant :

Même en utilisant un système « mains libres » (ce qui libère le cerveau de la tâche (prioritaire) de maintenir le téléphone contre l'oreille), il est prouvé que l'attention diminue fortement : le cerveau est dirigé vers la conversation et ne traite les images de la circulation qu'après : on a constaté que 3 automobilistes sur 4 ne remarquent même pas les « priorités de droite » qu'ils traversent quand ils téléphonent.

Autre facteur de rapidité dans le trajet mental : la complexité du traitement : le cerveau réagit plus rapidement s'il peut ne se concentrer que sur une petite partie de l'image fournie par les yeux (surveiller un feu rouge, quand on attend qu'il passe au vert, par exemple) que quand il doit analyser toute l'image, sans savoir exactement ce qui va surgir (cas courant dans la circulation routière, on surveille la route et ses bas-côtés).

Et dernier point à remarquer : le cerveau est capable d'améliorer ses performances, en utilisant sa mémoire des expériences passées : lors de son analyse, il peut rencontrer un cas déjà connu, et pourra alors déclencher immédiatement la réaction appropriée. On dit souvent que l'entraînement permet d'améliorer « les réflexes »...

Ces notions sont mises en évidence dans les deux expériences présentées.

Expérience 1 : départ F1.

La procédure de départ est la suivante : 5 feux rouges s'allument successivement au rythme de 1 feu par seconde. Une seconde après que le dernier feu s'est allumé, les 5 feux s'éteignent. Le candidat doit alors enfoncer l'accélérateur.

Le système mesure le temps écoulé entre l'extinction des feux et l'pression sur l'accélérateur, avec détection des « faux départs » (anticipé). Résolution : 1 milliseconde.

Cette expérience permet de mettre en évidence le trajet physique (en tout cas avec un candidat pas trop entraîné)

Le trajet mental est au plus court :

L'attention est fixée sur une zone réduite de l'image : les feux rouges. Au dernier moment, il suffit même de regarder le dernier feu.

Le candidat sait quand le départ sera donné : 1 seconde exactement après l'allumage du dernier feu.

Le candidat pas trop entraîné attendra l'extinction des feux et agira directement. Le résultat sera proche de la durée du trajet physique (cerveau branché sur un programme court et rapide).

L'entraînement consistera à estimer le plus correctement possible la durée de la seconde précédant l'extinction des feux, d'en retrancher la durée du trajet physique pour démarrer juste au moment de l'extinction des feux. Les pilotes de F1 passent des heures à répéter leur démarrage pour partir juste à temps !

Expérience 2 : obstacle soudain dans la circulation.

Le sujet est placé au volant d'une « voiture ». Il voit la « route » (sur un écran). Il conduit, accélérateur enfoncé. A un moment inconnu (entre 3 et 10 secondes après le début de l'essai), un danger apparaît sur la route (4 dangers sont prévus, 1 seul apparaît par essai, choisi au hasard). Le système mesure le temps mis pour lâcher l'accélérateur, puis pour enfoncer la pédale de frein.

Ces durées sont transmises à un ordinateur qui calcule et montre la distance parcourue par la voiture jusqu'à son arrêt, dans 4 cas de figure : vitesse 30 ou 70 km/h, route sèche ou mouillée. On en tire des conclusions importantes en matière de sécurité routière.

Ici, la durée du trajet mental devient plus réaliste :

Le candidat est attentif, mais le cerveau doit analyser les images reçues par les yeux, sans pouvoir anticiper (comme faire expérience 1).

Le candidat doit surveiller plusieurs zones de l'écran, il ne sait ni quand ni où l'événement surviendra.

On obtient un résultat plus long, incluant un temps d'analyse réaliste par le cerveau.

Vie courante.

Le résultat de l'expérience 2 donne le meilleur temps de réaction que l'on peut attendre dans la circulation routière.

En général, le conducteur conduit plus ou moins machinalement, il est moins attentif, l'analyse des images par son cerveau est moins profonde. Il pense parfois ? à autre chose.

On obtient un résultat encore plus long, incluant un nouveau délai : le temps nécessaire pour attirer l'attention sur une anomalie de l'image et de lancer l'analyse pour seulement prendre une décision.

On estime généralement qu'on doit ajouter au moins une seconde au temps de réaction de l'expérience 2 !

NB : L'exposé étant fait dans une ambiance optimiste, on considérera que les parents, arrivant aux abords de l'école de leurs enfants, sont particulièrement attentifs. Ce n'est hélas pas toujours le cas !

Implications en sécurité routière.

Vitesse d'une voiture.

La vitesse d'une voiture s'exprime d'habitude en kilomètres par heure. Il est difficile, avec cette unité, d'appréhender la distance parcourue dans un temps de l'ordre de la seconde (ordre de grandeur des temps de réaction qui nous occupent ici).

Il est plus approprié de se servir ici de la vitesse exprimée en m par seconde.

Passage de l'un à l'autre : vitesse (m/sec)= vitesse (km/h) / 3,6

Changement d'unité : 1 km/h= 1000m / (60*60) secondes

A retenir pour des approximations rapides : 10 m/sec = 36 km/h. On obtient une approximation de la vitesse en m/sec en divisant par 4 la vitesse en km/h.

Distance parcourue pendant le temps de réaction.

Pendant le temps de réaction, la vitesse ne change pas, car le conducteur n'a pas encore modifié les commandes de la voiture.

Une voiture roulant à 30 km/h parcourt 8,33 m chaque seconde

Une voiture roulant à 70 km/h parcourt 19,44 m chaque seconde

Avec un temps de réaction moyen de 1 seconde, la voiture roulant à 30 km/h traverse la moitié du local où vous vous trouvez (note : c'est-à-dire : bâtiment B6D ,local R30 à l'ULg : largeur 16 m). La voiture roulant à 70 km/h traverse le local et sort par la fenêtre sur ce temps !

Distance nécessaire pour arrêter le véhicule.

C'est la somme de la distance parcourue pendant le temps de réaction et de la distance de freinage du véhicule.

Ordre de grandeur de la distance nécessaire pour arrêter le véhicule :

Avec un temps de réaction moyen de 1 seconde, une voiture avec ABS sur une route sèche en bon état, les distances de freinage sont de l'ordre de :

Vitesse	distance de réaction	distance de freinage	total
50 km/h	14m	12m	26m
70 km/h	19m	24m	43m
90 km/h	25m	39m	102m
120km/h	33m	69m	102m
140 km/h	39m	95m	134m

(source: IBSR)

Distance de freinage du véhicule.

A partir du moment où on appuie sur le frein, la voiture subit une décélération (accélération négative) dont la valeur dépend surtout du système de freinage du véhicule et de l'état du revêtement de la route.

Le problème est un problème classique : il s'agit ici d'un mouvement rectiligne uniformément accéléré (MRUA) avec comme condition de départ la vitesse initiale connue v_0 du véhicule avant freinage. On recherche la distance $x(t_f)$ correspondant à la vitesse $v(t_f)=0$. Accessoirement, on obtient également t_f qui est la durée de freinage.

Equations :

$$A(t)=a_0 = \text{constante}$$

Deux intégrations successives donnent :

$$V(t)=v_0 + a_0.t$$

$$X(t)=x_0+v_0.t+(a_0/2).t^2$$

Elevons au carré l'équation de $V(t)$ et remplaçons-y $2v_0.t+a_0.t^2$ par sa valeur tirée de l'équation de $X(t)$ et nous obtenons :

$$V(t)^2=v_0^2+2a_0.(X(t)-x_0)$$

Au temps $t=t_f$, la vitesse est nulle :

$$X(t_f)-x_0= -v_0^2/2a_0 \text{ c'est la distance de freinage.}$$

Elle dépend du carré de la vitesse initiale et de l'accélération possible (on peut parler ici de décélération, car a_0 est négative).

Estimation réaliste de a_0 : Une valeur courante pour une voiture en bon état et une bonne route sèche est de -8 m/s^2 . Sur route mouillée, elle est facilement divisée par 3.

Validité de l'hypothèse de départ :

On a ici considéré une décélération constante. Ce n'est vrai que si on se trouve en présence d'un revêtement uniforme et surtout si les roues ne se bloquent pas. En ce cas, en effet, le coefficient de frottement (qui crée la décélération) diminue fortement, et la distance de freinage s'accroît.

L'estimation donnée ici concerne donc les véhicules modernes, tous équipés de l'ABS. Pour un véhicule plus ancien, sans ABS, cette distance est celle obtenue par un conducteur expérimenté sachant doser l'effort sur la pédale de frein.

On peut se demander pourquoi la masse du véhicule n'est pas prise en compte ici, alors que l'énergie cinétique à évacuer en dépend fortement (carré de la vitesse). C'est tout simplement parce que les règles de conception des véhicules font que la puissance du système de freinage est adaptée à la masse du véhicule, ce qui fait que, dans les conditions de charge normales, la décélération obtenue dépend surtout du revêtement de la chaussée.

Conditions atmosphériques.

Les conditions atmosphériques agissent directement sur les distances de freinage car elles modifient le coefficient d'adhérence du revêtement.

La valeur usuelle de -8 m/s^2 pour la décélération suppose un revêtement sec en bon état. Un revêtement mouillé voit son adhérence diminuée par un facteur 3. La neige et surtout le verglas conduisent celui-ci à une valeur proche de zéro (les systèmes ABS sont d'ailleurs mis en difficulté sur le verglas !).

Un revêtement sali et poussiéreux allonge également les distances de freinage.

La même chose arrive lorsque le véhicule n'est pas en bon état : les amortisseurs, les freins et les pneus sont ici les éléments principaux.

Exemple à donner aux élèves : les voitures de formule 1 sont équipées de pneus et de freins spéciaux, permettant une décélération de l'ordre de -20 m/s^2 . En cas de pluie ou de circulation en dehors de la trajectoire (donc sur revêtement sale et poussiéreux), elles deviennent inconduisibles et sortent facilement de la piste.

Influence de la luminosité sur le travail d'analyse du cerveau.

Le cerveau humain a besoin d'une image bien contrastée pour conduire son analyse efficacement (pensez à ce qui arrive « entre chiens et loups »). Lorsque les conditions de luminosité sont mauvaises (la visibilité est mauvaise), il lui faut plus de temps : les temps de réaction sont allongés, donc aussi la distance de freinage.

Malheureusement, en cas de conditions climatiques mauvaises (pluie etc), la visibilité mauvaise augmente la distance de réaction, et les conditions d'adhérences sont mauvaises, ce qui augmente également la distance de freinage : la distance d'arrêt du véhicule augmente fortement.

Importance des habits réfléchissants.

Lorsque la luminosité est mauvaise ou nulle (la nuit), les voitures roulent phares allumés. Or les piétons habillés normalement sont très peu visibles dans ces conditions :

L'ordre de grandeur de la distance de visibilité nocturne est le suivant

Vêtement	visible à partir de
Foncés	20m
Clairs	50m
Accessoires réfléchissants	150 m

(source IBSR)

En faisant la relation avec les distances d'arrêt du véhicule, on réalise combien il est important d'être bien visible, donc de porter des accessoires réfléchissants sur ses vêtements (les catadioptres des vélos jouent le même rôle quand, malheureusement, le cycliste roule sans éclairage, ou avec un éclairage réduit).

Pour attirer l'attention des enfants : c'est pour cette raison que, dans un nombre croissant de pays, il est obligatoire d'avoir un gilet réfléchissant à bord de la voiture.

Le piéton qui ne sait pas qu'il n'est pas vu par l'automobiliste.

Dans le paragraphe précédent, nous avons vu que le piéton est souvent mal vu par l'automobiliste.

Or, le contraire n'est pas vrai : les phares rendent le véhicule visible de très loin.

Un piéton non averti aura donc tendance à croire que l'automobiliste l'a vu, et qu'il a tenu compte de sa présence. Ce n'est pas vrai !

Bien souvent, le temps de réaction et la vitesse de l'auto (piéton habillé de sombre, auto à 90 km/h) font que le piéton est dépassé par l'auto avant même que le conducteur puisse réagir.

Il est important que le piéton utilise un comportement préventif : se mettre sur le côté, en plus de se rendre très visible.

Position dans la circulation pour une meilleure sécurité.

En plus des règles habituelles (piétons le plus loin possible de la chaussée, sur le trottoir etc..., vélo roulant à droite, près du bord de la route, mais pas trop pour ne pas tomber,...), ce qui précède nous suggère :

Le piéton : marcher à gauche.

Si le piéton marche à gauche de la chaussée, il voit la voiture venir vers lui et peut plus facilement se mettre à l'abri.

Le cycliste : couloirs séparés.

La solution la plus sûre pour le cycliste, c'est la piste cyclable séparée de la chaussée. Ce qui précède nous montre que, comme le cycliste est obligé de circuler du même côté de la chaussée que l'auto, la situation est très dangereuse pour le cycliste : il n'est pas bien vu, et il ne peut pas savoir qu'il n'a pas été remarqué. En plus, il n'a pas beaucoup de possibilités de se mettre sur le côté.