

Usage de simulateurs informatisés *PHET*¹ en cours et laboratoire de physique

Jean-Jacques Rochat, Gymnase de La Cité (retr.), jj.rochat@gmail.com

Introduction

La conceptualisation et la modélisation en physique se révèlent parfois difficiles pour les élèves. Autant l'abord d'un dispositif ou d'une expérience peut être très intuitif et rapide pour certains, autant il peut se révéler quasi insurmontable pour d'autres. En plus de l'expérience réelle, il est souvent bénéfique de faire intervenir des moyens auxiliaires de visualisation permettant d'approfondir la réflexion. C'est le cas des interfaces de mesure et des simulateurs. Les interfaces de mesure nous ont donné un accès aisé à maintes mesures qu'il était très difficile d'obtenir dans un laboratoire de gymnase avant leur avènement dans les années nonante². Il suffit de songer aux dispositifs compliqués de chronophotographie à disque tournant ou à stroboscope. Les simulateurs permettent aussi de fixer les paramètres d'une manière qui ne serait pas possible en démonstration ou au laboratoire. Par exemple, en changeant la gravité ou les frottements dans un cas mécanique ou en changeant tous les paramètres d'un condensateur plan. Cet article évoque quelques expériences que j'ai faites avec des simulateurs *PHET*, dans des classes de gymnase, en entrant dans les détails de l'une d'elle. Des fiches de TP en lien avec cet article peuvent être téléchargées sur mon site³.

Choix de simulateurs

En cherchant sur le net et dans les publications, on trouve de nombreuses simulations de qualité et aussi de nombreuses simulations peu ergonomiques, voire incompréhensibles. Le problème du langage de programmation se pose également. Maintes simulations de qualité que j'ai utilisées sont tombées en désuétude au fil du rythme effréné des mises à jour de *Flash* et de *Java*. Aujourd'hui, notamment pour des raisons de sécurité et d'unification de la programmation pour l'ensemble des plateformes (ordinateur, tablette, téléphone), c'est la programmation en *HTML5* qui s'impose.

Je confirme avoir fait des expériences très positives avec les familles de simulations suivantes, notamment :

Les simulations de *Walter Fendt*, en mathématique⁴ et en physique⁵ sont souvent très utiles pour illustrer un propos dans le cadre d'un cours. D'abord réalisées en flash, l'auteur les a portées maintenant en *HTML5* et elles valent la découverte, mais leur utilisation ne sera pas commentée dans cet article.

Les simulations *Physique Chimie Collège Lycée PCCL*⁶, sont elles aussi intéressantes et permettent de faire des exercices avec les élèves. Elles sont néanmoins encore au format *Flash* au moment de la rédaction de cet article, ce qui complique leur utilisation.

Gilbert Gastebois entretient aussi un site de qualité⁷ où on trouve maints éléments utiles au maître de physique et aussi des simulations. Néanmoins, elles sont en *Java* et nécessitent donc de configurer

¹ Simulations en ligne de l'Université de Colorado

² Voir par exemple les excellents équipements Vernier : <https://www.vernier.com> ou <https://educatec.ch>

³ <http://physique.jjrochat.ch>

⁴ <http://www.walter-fendt.de/html5/mfr/index.html>

⁵ <http://www.walter-fendt.de/html5/phfr/index.html>

⁶ <https://www.pccl.fr>

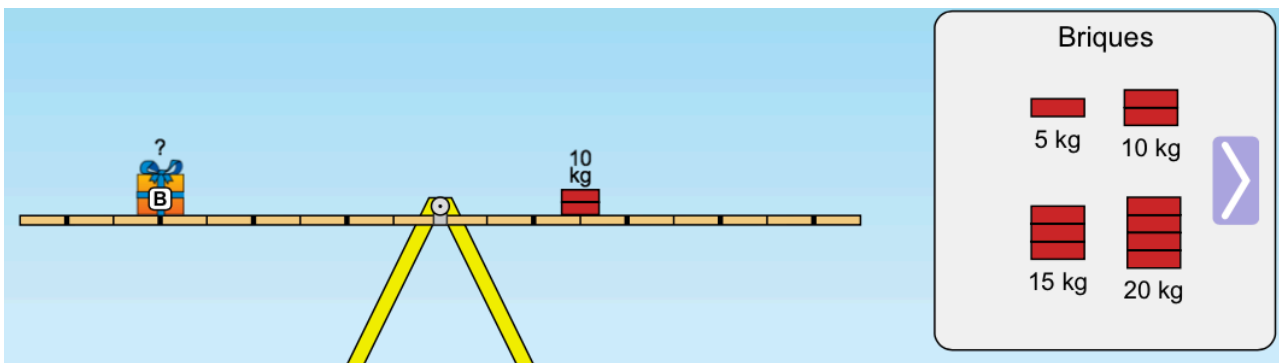
⁷ <http://gilbert.gastebois.pagesperso-orange.fr>

l'extension de manière adéquate.

L'université de Colorado met en ligne toute une série de simulations depuis 2002, sous l'impulsion du prix Nobel Carl Wieman⁸, nommées *PHET* elles sont de très grande qualité tout en restant simples. Elles sont aussi gratuites. D'abord écrites en *Flash* ou *Java*, elles sont progressivement portées en *HTML5*. Le site original est en anglais⁹, mais on les trouve traduites dans maintes langues dont le français¹⁰ et l'allemand¹¹. Les simulations sont disponibles en ligne mais peuvent aussi être téléchargées¹² en un bloc pour résider dans un ordinateur. On s'affranchit ainsi du risque de panne de connexion internet au moment critique. J'ai beaucoup utilisé certaines de ces simulations à l'appui de mon cours, mais aussi dans le cadre des laboratoires. Des exemples sont développés dans les paragraphes qui suivent. Les liens internet ne sont pas donnés en note pour les simulations car trop complexes. Elles sont toutes à retrouver sur la page générale d'accès aux simulations¹³.

Utilisation dans le cadre du cours

La simulation permet d'illustrer le propos du cours assez simplement et de manière un peu ludique. Par exemple, pour les classes non scientifiques¹⁴, l'utilisation de la balançoire pour aborder la loi des leviers s'est révélée adéquate.



Ou alors, pour une discussion des échanges d'énergie, de notion d'équilibre stable ou instable, la simulation de la planche à roulette sur une piste qu'on peut configurer facilement s'est révélée très appropriée. Elle favorise la compréhension qualitative, permet de visualiser les échanges d'énergie, puis, on peut introduire la dissipation par frottement :

⁸ Co-lauréat du prix Nobel de Physique de 2001 avec Eric Cornell et Wolfgang Ketterle

⁹ <https://phet.colorado.edu>

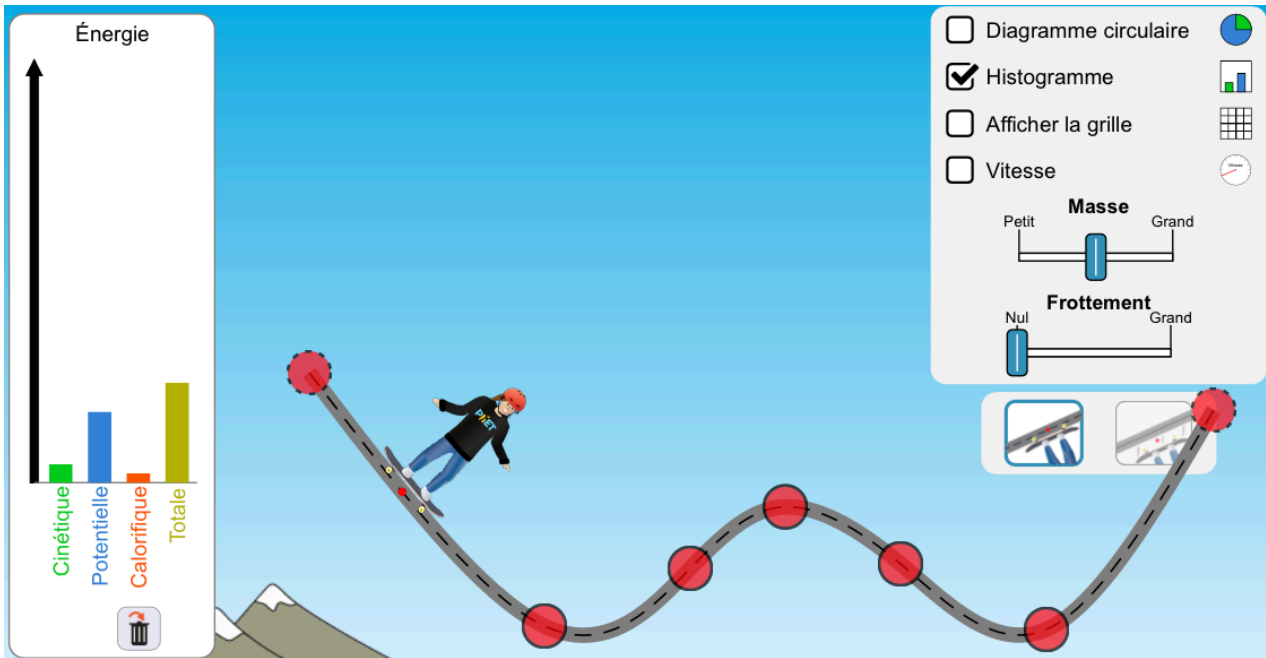
¹⁰ <https://phet.colorado.edu/fr/>

¹¹ <https://phet.colorado.edu/de/>

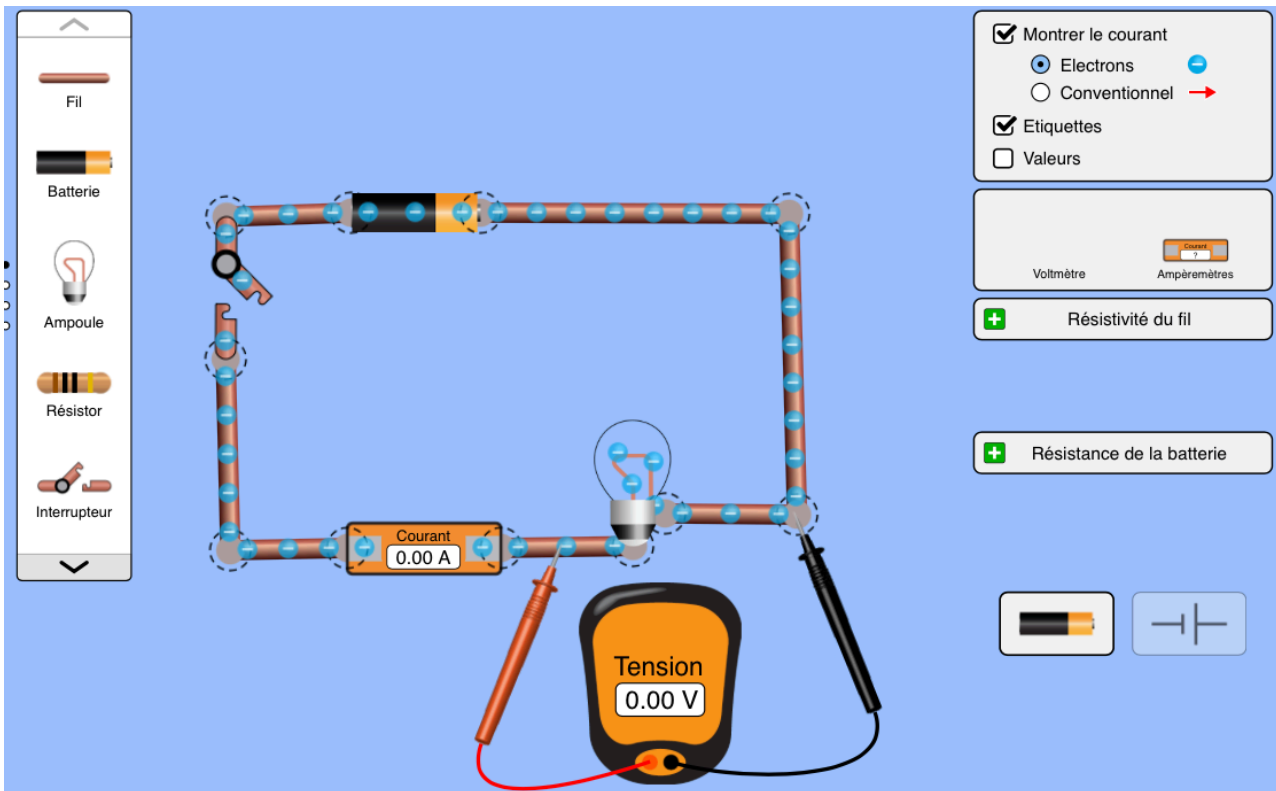
¹² <https://phet.colorado.edu/fr/offline-access>

¹³ <https://phet.colorado.edu/fr/simulations>

¹⁴ Dans les gymnases vaudois, l'Ecole de Culture Générale est incluse



Dans le domaine de l'électricité, des montages peuvent aussi être simulés, qui permettent une étape de facilitation de la compréhension du lien entre le montage réel et son schéma usuel. Le maître peut illustrer le mouvement des électrons ou le sens conventionnel du courant ou déclencher cette visualisation :



Les simulations *PHET* offrent au maître de nombreuses autres possibilités d'illustrer son cours de manière simple. Il reste que l'enseignant doit disposer d'un ordinateur et d'un projecteur et maîtriser la technique informatique y relative pour en faire usage. A défaut, en cas de non fonctionnement ou de flottement, la classe va se dissiper et poser des problèmes. La préparation soignée des présentations est donc à planifier.

Utilisation au laboratoire

Pendant de nombreuses années, j'ai intégré des simulations *PHET* non seulement dans mes cours mais aussi au laboratoire. Je me suis cependant toujours attaché à partir d'expériences réelles ; les simulations ne venant qu'à l'appui de la démarche des élèves pour aider à leur compréhension et à leur faculté de modélisation. Je tiens à insister sur le fait que je ne voudrais pas d'une physique « étudiée » rien que par ces moyens. Je suis convaincu qu'il faut en rester à une approche primaire expérimentale. Les simulations permettent cependant de faciliter la démarche intellectuelle et aussi, souvent, elles donnent la possibilité de s'affranchir de problèmes parasites, par exemple la difficulté technique d'effectuer certaines mesures ou permettent de modifier des paramètres à l'infini, y compris certains qui ne sont pas accessibles lors de l'expérimentation classique (par exemple la valeur de la gravité dans une expérience sur les ressorts ou la masse volumique du liquide dans une expérience sur la loi d'Archimède).

J'ai donc utilisé des simulations *PHET* (et d'autres) au laboratoire, toujours en lien avec une vraie expérience de base, dans des domaines aussi variés que les ressorts, la gravité, les mouvements, les chocs à une et deux dimensions, la somme vectorielle de forces, la force d'Archimède, la loi des gaz parfaits, l'expérience de Millikan, les champs électriques et condensateurs, notamment.

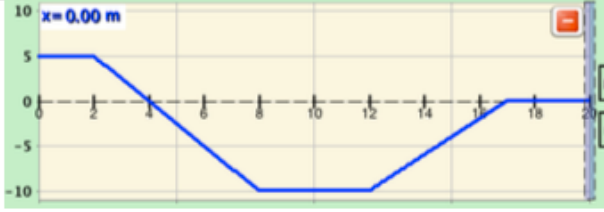
J'ai choisi de développer ci-dessous l'une de mes expériences avec le simulateur *L'homme en mouvement*. La place dans cet article manque pour entrer dans d'autres descriptions détaillées, mais outre celle de *L'homme en mouvement*, quelques fiches peuvent être téléchargées sur mon site¹⁵, à titre d'exemple. Il est vrai que, sortie de leur contexte d'utilisation, sans la connaissance du matériel et en l'absence des informations prodiguées en début de séance, elles pourront paraître lacunaires. Je reste disponible pour en parler de vive voix avec le lecteur intéressé, cas échéant.

Utilisation au laboratoire – *L'homme en mouvement*

Depuis plusieurs années, j'ai opté pour une approche au laboratoire de la cinématique élémentaire sur les mouvements rectilignes composé d'abord d'une partie expérimentale sur le mouvement rectiligne uniforme (MRU) suivi d'une séance de simulation permettant une transition vers le mouvement rectiligne uniformément accéléré (MRUA). Une troisième séance de travaux pratique était consacrée ensuite à des expériences de MRUA. Lors de la première séance, la notion d'horaire et les calculs de vitesse étaient abordés expérimentalement. Là aussi, par des angles différents avec un laboratoire en trois parties : introduction (10 min), chronométrage d'une personne parcourant la longueur du couloir à diverses allures (20 min), enregistrement manuel des positions toutes les deux secondes d'une petite voiture électrique se mouvant dans un rail de 5 mètres (20 min), enregistrement par interface d'un chariot sur un rail horizontal (20 min). Lors d'une deuxième séance, j'ai donné une fiche de TP avec des *missions* allant du plus simple au plus compliqué en utilisant la simulation *PHET l'homme en mouvement (The Moving Man)*. Chaque groupe de deux (avec un groupe de 3 en cas de non-parité de la demi-classe au labo) devait résoudre les *missions* successivement et m'appeler pour la vérification et le commentaire de chacune, ou pour de l'aide.

Voici par exemple ce qui était demandé en question 3, facile, en début de fiche :

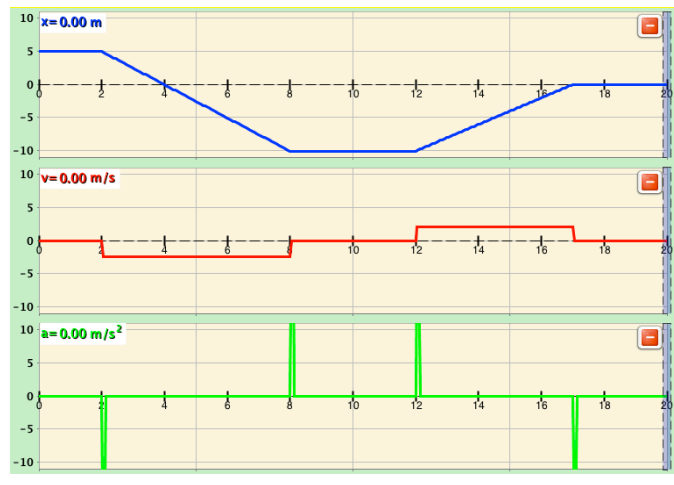
¹⁵ <http://physique.jjrochat.ch>

<p>3. Prévoir les contraintes nécessaires pour simuler ce mouvement (temps, position initiale, vitesses) donné par $x(t)$. Le simuler ensuite pour obtenir le même résultat que la donnée ci-contre. Ne pas considérer $a(t)$.</p> <p>Mentionner ici les vitesses nécessaires :</p> <p>0-2s : 2-... : ...</p> <p>Dessiner ci-contre $v(t)$ en synchronisation avec $x(t)$ donné.</p>		<p>auto contrôle</p> <p>OK</p>
--	--	--------------------------------

La discussion à deux s'est révélée à chaque coup fructueuse et des erreurs étaient discutées en groupe avant de m'appeler, puisque le logiciel permettait l'autocontrôle.

La réponse à fournir était bien sûr celle donnée ci-contre. Il était intéressant de prolonger la discussion en analysant la plausibilité de la variation instantanée de vitesse (choc), ainsi que la notion de saccade (donc de variation instantanée de l'accélération).

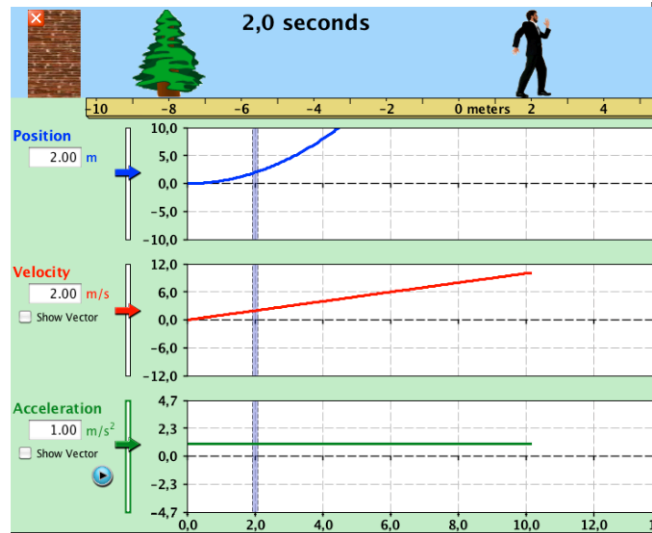
3) (0 ; -2.5 ; 2 m/s)



Dès la question 5, le MRUA était abordé avec pour défi de trouver un modèle mathématique adéquat dans un cas précis :

<p>5. On s'intéresse désormais à des vitesses qui varient avec une pente constante. Régler l'échelle de l'accélération sur la valeur la plus sensible (la plus basse), de -5 à + 5 m/s/s environ. Enlever les murs.</p> <p>Choisir la situation initiale suivante :</p> <p>$x(t=0) = 0$ m $v(t=0) = 0$ m/s $a(t=0) = 0.2$ m/s/s</p> <p>Exécuter la simulation pendant 10 secondes environ.</p> <p>Avec le curseur vertical, analyser en mode <i>playback</i> comment la vitesse varie pendant ces 10 secondes. Faire un tableau comprenant t, x et v. Trouver une formule donnant la vitesse en fonction du temps (en utilisant l'accélération !).</p>		<p>Et. en gpe</p> <p>disc. ens. en classe.</p> <p>auto contrôle</p> <p>OK</p>
--	--	---

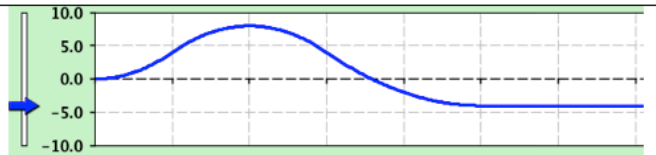
On obtient la simulation illustrée ci-contre. Le tableau comprenant la variable indépendante t et les variables dépendantes x et v était utilisé pour trouver la loi donnant la vitesse en fonction du temps (relativement simple car c'est une fonction affine). A la question 6, il s'agissait de trouver une loi donnant cette fois la position en fonction du temps et de voir si la loi trouvée pouvait s'appliquer à d'autres cas simulés. Si non, il convenait de la généraliser.



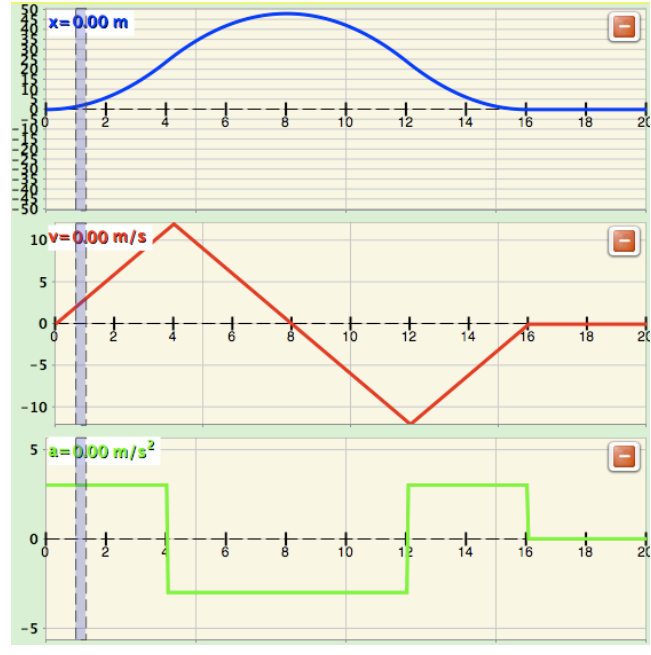
Enfin les questions subséquentes permettaient aux groupes rapides et à l'aise d'appliquer leurs découvertes à la résolution de cas plus complexes. Voici pour exemple la question 10 :

10. (plus difficile) Considérant $x(t)$ donné ci-contre et sachant que les changements d'accélération se font exactement à des secondes entières, prévoir les fonctions $v(t)$ et $a(t)$ d'abord qualitativement seulement, puis avec les valeurs numériques nécessaires pour pouvoir reproduire le cas en simulation. Effectuer cette simulation et l'imprimer. Indiquer sur l'impression les calculs effectués.

Pour indication, l'homme est à la position 8 m à l'instant $t = 4$ s.



Cette *mission* nécessite l'identification des quatre phases du mouvement et l'application adéquate des lois découvertes relatives au MRUA. Elle constitue un défi assez important pour des élèves non scientifiques, mais a pu être résolue généralement par un ou deux groupes dans des demi-classes ayant une OS non scientifique. Les élèves d'OS biologie-chimie s'en sortaient un peu mieux. Les élèves d'OS Physique-application des mathématiques étaient pratiquement tous capables de mener les analyses proposées par la fiche au moins jusqu'à cette question. Une question similaire portant le numéro 11 les occupait s'ils avaient terminé.



Après la deuxième séance de simulation, une troisième séance sur les mouvements accélérés était proposée aux élèves d'un type différent selon les classes ; par exemple en utilisant des enregistrements vidéo de mouvements accélérés avec des relevés sur une règle visible en arrière plan ou en utilisant un logiciel d'analyse de mouvement par vidéo¹⁶. D'autres fois, j'utilisais une approche expérimentale plus classique avec des chariots et dispositifs enregistreurs ou aussi une expérience permettant de mesurer les réflexes des élèves au moyen de la théorie du MRUA (temps de chute d'une règle qui doit être rattrapée entre deux doigts ou entre les pieds). Ces séances de laboratoire ont été expérimentées avec succès dans mes classes depuis de nombreuses années. A tout le moins, j'ai la prétention de dire qu'elles ont suscité l'intérêt et la participation des élèves, même les plus réfractaires à la physique.

Conclusion

Les simulations informatisées peuvent éclairer des sujets de physique (mais aussi d'autres disciplines comme les mathématiques, la chimie, les sciences de la terre), sous un jour intéressant pour les élèves, à la fois ludique et de nature à développer leur faculté de raisonnement et de modélisation. Cependant, il convient de conserver des fondements réels lors de l'étude des sciences expérimentales. L'étude de la physique au gymnase est à mes yeux plus une formation structurée de l'esprit et l'exercice à la fois de l'ouverture d'esprit et de la rigueur qu'un apprentissage servile de lois qu'il conviendrait d'appliquer de mémoire. Les simulations que j'ai utilisées me semblent avoir contribué à cette fin. J'ai fait de très bonnes expériences avec les simulations *PHET* de l'Université de Colorado. Je me tiens disponible¹⁷ pour échanger éventuellement avec l'un ou l'autre des lecteurs de cet article.

¹⁶ Logiciel *Logger Pro* proposé par Vernier (<https://www-vernier.com>)

¹⁷ jj.rochat@gmail.com