

# Table des matières

<b>1.Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>2.Éléments théoriques.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Les préconceptions et l'apprentissage .....</b>	<b>3</b>
2.1.1 Définition et historique.....	3
2.1.2 D'où viennent ces préconceptions ?.....	4
2.1.3 Caractéristiques des préconceptions et difficultés d'apprentissage.....	4
2.1.4 Détecter les préconceptions.....	5
2.1.5 Comment les combattre ?.....	6
2.1.5.1 Le modèle allostérique.....	6
2.1.5.2 La situation-problème.....	8
2.1.5.3 La démarche hypothético-déductive.....	10
<b>2.2 Les préconceptions en Physique.....</b>	<b>10</b>
<b>3.Séquence d'enseignement : le principe d'inertie.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Contexte de la séquence.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Questionnaire diagnostique.....</b>	<b>14</b>
3.2.1 Présentation du questionnaire.....	14
3.2.2 Résultats.....	16
<b>3.3 Séquence sur le principe d'inertie – Activité « curling ».....</b>	<b>17</b>
3.3.1 Présentation de l'activité et de la démarche pédagogique.....	17
3.3.2 Analyse des séquences dispensées.....	19
3.3.2.1 Première séance d'enseignement (J.D).....	19
3.3.2.2 Deuxième enseignement de la séquence (A.A).....	23
<b>3.4 Exercices d'application – Evaluation formative.....</b>	<b>24</b>
<b>3.5 Evaluation sommative.....</b>	<b>26</b>
<b>4.Conclusion.....</b>	<b>28</b>
<b>5.Bibliographie.....</b>	<b>29</b>
<b>6.Annexes.....</b>	<b>31</b>
<b>6.1 Questionnaire diagnostique.....</b>	<b>31</b>
<b>6.2 Planification de la séquence finale .....</b>	<b>35</b>
<b>6.3 Feuille d'activité « curling » .....</b>	<b>42</b>
<b>6.4 Présentation projetée pendant la séquence curling.....</b>	<b>48</b>
<b>6.5 Evaluation sommative.....</b>	<b>53</b>



## **1. Introduction**

Les connaissances empiriques sont déjà constituées pour l'adolescent qui arrive en classe de physique (Bachelard, 1938). Bachelard (1938) et Piaget (1975) soulignent tous les deux que les savoirs enseignés n'arrivent pas dans des cerveaux vides, mais se construisent sur ce que l'on sait déjà. Bien souvent, ces préconceptions diffèrent des concepts scientifiques et constituent en cela un obstacle majeur à l'apprentissage. L'enseignant doit donc être conscient des préconceptions de ses élèves et en tenir compte dans son enseignement afin de les dépasser. Les préconceptions en Physique ont fait l'objet de nombreuses études en didactique. En particulier, Viennot (2006) et son équipe ont mis en évidence les préconceptions les plus courantes dans différents domaines de la physique (mécanique, systèmes ondulatoires, électricité, ...) grâce à de nombreux questionnaires.

Dans le cadre de ce travail de mémoire professionnel, nous nous sommes intéressés plus particulièrement aux préconceptions touchant au domaine de la dynamique. En premier lieu, nous avons vérifié que les préconceptions mises en évidence dans la littérature étaient également présentes chez nos élèves puis nous avons construit une leçon type sur le principe d'inertie à même d'adresser ces préconceptions.

En pratique, nous avons soumis à nos élèves de première année en école de maturité (1M DF) un questionnaire diagnostique pour mettre en évidence ces erreurs conceptuelles. Puis, nous avons planifié une séquence de 45 minutes sur le principe d'inertie utilisant une situation

mobilisante autour du curling. Cette séquence a été enseignée à deux classes 1M du gymnase de Nyon. Des ajustements ont été faits entre les deux leçons en fonction de ce qui a été observé lors du premier enseignement selon les différents retours des observateurs présents.

Le mémoire est composé de 4 chapitres. Le chapitre 2 développe les notions théoriques. il décrit plus précisément ce que sont les préconceptions, leurs origines et les différentes démarches qui permettent de les combattre. Les conceptions les plus courantes en Mécanique y sont également présentées. La séquence d'enseignement est détaillée dans le chapitre 3 : le contexte de cette séquence, le questionnaire utilisé pour mettre en évidence les préconceptions de nos élèves, et finalement la séquence « curling » elle-même y sont décrits. Nous aborderons aussi dans ce chapitre quelles ont été les modifications faites entre les deux présentations de la séquence et l'évaluation de nos élèves. Le chapitre 4 conclut notre travail et apporte quelques pistes de réflexion sur notre démarche.

## 2. Éléments théoriques

### 2.1 Les préconceptions et l'apprentissage

#### 2.1.1 Définition et historique

La majorité des travaux en pédagogie (en particulier dans la mouvance constructiviste ou socio-constructiviste) s'accordent sur le fait que l'apprentissage d'un savoir nouveau demande une transformation profonde des conceptions initiales de l'élève que ne permet pas un simple processus de transmission enseignant-élève (Verhaeghe, 2004). En d'autres termes, les élèves ne sont pas des pages blanches sur lesquelles l'enseignant imprime de nouvelles connaissances. Au contraire, avant de débiter un enseignement et quelle que soit la discipline, les élèves ont déjà des idées, voire des explications très argumentées sur les savoirs enseignés et c'est au travers de celles-ci qu'ils décodent spontanément les informations que leur fournit l'enseignant et essaient de construire les nouvelles connaissances ou démarches de pensée que celui-ci tente de leur inculquer. Ces conceptions initiales, aussi appelées *préconceptions* dans le jargon pédagogique, diffèrent souvent des concepts scientifiques. En cela, elles constituent un obstacle à l'apprentissage (Bachelard (1938) parle d'« obstacle épistémologique»). De Vecchi et Giordan (1994) écrivent : « Une conception est l'explication que se fait l'individu du monde qui l'entoure, et ce via des modèles explicatifs dont il dispose. Ceux-ci sont souvent inadaptés et peuvent induire des idées fausses. [...] Ainsi, l'élève possède des conceptions qui l'empêchent [...] d'intégrer une nouvelle information [...] en contradiction avec celles qu'il possède. »

Parmi les premiers à avoir identifié l'importance des préconceptions dans l'apprentissage, on

peut citer Vygotski (1933) et Bachelard (1938). Le second écrit dès 1938 : « l'adolescent arrive dans la classe de physique avec des connaissances empiriques déjà constituées : il s'agit alors, non pas d'acquérir une culture expérimentale mais bien de changer de culture expérimentale, de renverser les obstacles déjà amoncelés par la vie quotidienne ». La notion de préconception reste encore aujourd'hui un axe central de réflexion dans les sciences de l'éducation et les études portant sur les préconceptions des élèves en situation d'apprentissage se sont multipliées depuis les années 80 : Duit (2009) recense plus de 8000 références traitant de ce sujet.

### **2.1.2 D'où viennent ces préconceptions ?**

Bachelard (dans Astolfi, 1997) a identifié deux origines essentielles à nos préconceptions: l'une individuelle et l'autre sociale. La première fait référence à nos observations « immédiates » de notre environnement et à notre expérience personnelle de la vie quotidienne qui nous conduisent à n'utiliser que notre intuition pour expliquer ce que l'on voit. Ces intuitions forment un système de construction personnel qui peut être différent d'un individu à l'autre. La deuxième origine en revanche vient de notre culture générale, provenant à la fois de nos acquis scolaires et extra-scolaires. Elle reflète l'aspect universel de certaines idées: on admet souvent comme vérités absolues ce que tout le monde croit et on les généralise par facilité à toute situation inconnue. Ces vérités absolues souvent erronées prennent leur origine dans notre environnement culturel, historique, géographique, religieux, socio-économique, politique et affectif et sont véhiculées entre autres par les systèmes d'information de masse comme la télévision ou Internet.

### **2.1.3 Caractéristiques des préconceptions et difficultés d'apprentissage**

Les préconceptions présentent différentes caractéristiques identifiées par les didacticiens (Duplessis, 2008) qui rendent difficile l'acquisition du savoir scientifique, et son enseignement. De nombreux travaux ont en effet montré que ces préconceptions et les modes de raisonnement qui leur sont associés sont profondément enracinés dans l'esprit des apprenants (Viennot, 1978 ; Johsua et Dupin, 1993 ; Coppens, 2007), et cela chez des populations de culture, de nationalité et de style d'enseignement reçu très variés (Mc Dermott,

1983). Cette persistance des préconceptions s'explique notamment du fait que ces dernières sont généralement « pertinentes dans la vie quotidienne (et encore souvent dans l'enseignement) et donc régulièrement confortées » (Robardet et Guillaud, 1997). En effet, bien que souvent erronées, les préconceptions offrent une grille de lecture structurée capable d'expliquer le monde qui nous entoure de manière cohérente malgré leur désaccord avec les explications scientifiques. Il est donc malaisé de les remettre en cause. Outre cette cohérence avec nos observations, les préconceptions sont également confortées car elles bénéficient du soutien de la majorité et d'une diffusion à grande échelle ce qui tend à dévaloriser la parole isolée de l'enseignant qui peine donc à s'imposer face aux journaux ou autres médias. Enfin, une difficulté supplémentaire vient du fait qu'une fois acquis, les concepts scientifiques ne se substituent pas à nos préconceptions si profondément ancrées mais, au mieux, les deux modes de pensée coexistent. Il s'agit donc pour l'élève (et il en va de même pour l'expert) d'être capable de mobiliser les concepts scientifiques à bon escient et de faire abstraction des préconceptions qui viennent interférer avec le savoir nouveau. Il est intéressant de noter que des études récentes en neurosciences tendent à confirmer ce phénomène : elles ont pu démontrer, à l'aide de l'imagerie IRM, que la résolution d'exercices (en mécanique et en électricité) suscite des activations prononcées dans les régions cérébrales liées à l'inhibition (Brault Foisy et Masson, 2012).

Pour pouvoir corriger les préconceptions des élèves, l'enseignant doit donc non seulement transmettre un savoir mais aussi amener ses élèves à corriger leurs raisonnements spontanés : « au-delà de l'acquisition des notions elles-mêmes, [...], c'est dans la transformation de l'attitude des étudiants qu'il faut voir le résultat essentiel » (Viennot, 1976). Pour cela, il faut évidemment commencer par en détecter les manifestations.

#### **2.1.4 Détecter les préconceptions**

Pour faire émerger et identifier les conceptions des élèves, De Vecchi et Giordan (1997) proposent les démarches suivantes :

- faire dessiner les élèves ;
- leur poser des questions (par écrit ou oralement) sur l'explication de faits ponctuels que l'on peut rencontrer quotidiennement ;

- leur demander d'expliquer un schéma pris dans un livre ;
- les placer en situation de raisonner par la « négative » ;
- réaliser devant eux une expérience et leur demander comment on peut en expliquer les résultats ;
- leur demander de choisir parmi différents modèles analogiques ;
- les mettre devant des faits en apparence contradictoires et les laisser en discuter ;
- leur faire jouer des jeux de rôle ;
- leur demander la définition de certains mots ;
- confronter la classe à une conception émise par un élève ou même à une explication tirée de l'histoire des sciences ;
- être sans cesse à l'écoute des élèves : les conceptions émergent à tous les moments d'une démarche.

Tout en tenant des informations que l'on a pu tirer des interactions orales avec nos élèves, nous avons choisi, dans le cadre de ce travail de mémoire, d'utiliser une évaluation diagnostique sous la forme d'un questionnaire (voir annexe 6.1), afin d'obtenir une trace écrite et de pouvoir l'analyser.

## **2.1.5 Comment les combattre ?**

### **2.1.5.1 Le modèle allostérique**

C'est un modèle d'apprentissage présenté par Giordan en 1989 que l'on retrouve dans le guide pratique co-signé par De Vecchi & Giordan (1994) sur l'enseignement scientifique. Ce modèle vise à changer, modifier la façon dont les élèves perçoivent leur environnement. Il se base sur 3 piliers que l'on peut résumer de la sorte, lors des apprentissages :

1. Il rappelle quelles sont les principales caractéristiques dans l'acte d'apprendre.
2. Il identifie les obstacles lors de l'acte d'apprendre.
3. Il donne des indications pour faciliter l'acte d'apprendre.

L'acte d'apprendre n'est pas uniquement un processus où les informations sont stockées mais il s'agit en fait d'une construction de savoirs et de savoir-faire. Cette construction se fait par différents processus tels que corrections, rectifications, concertations, décontextualisation et

mobilisation. L'élève peut se retrouver face à des obstacles qui vont ralentir ou arrêter ses apprentissages.

Giordan relève les 5 principaux obstacles d'apprentissage suivants :

1. L'élève n'a pas assez d'informations.
2. L'élève a des conceptions qu'il ne veut pas modifier.
3. L'élève croyant déjà tout savoir ne se pose pas de questions.
4. L'élève n'a pas les outils adaptés pour la compréhension de ce qu'on lui propose.
5. Les préconceptions de l'élève l'empêchent de voir ce qu'il se passe vraiment dans la réalité et il n'arrive pas à intégrer de nouveaux savoirs qui sont contradictoires avec ce qu'il connaît.

Mais que faire face aux conceptions de nos élèves ? Giordan (1994) dans son modèle allostérique propose de « faire avec pour aller contre ». Le but est de transformer les préconceptions de l'élève en faisant des interférences avec celles-ci pour que l'élève s'adapte afin d'intégrer la connaissance supplémentaire.

Pour transformer les préconceptions des élèves, il faut donc les connaître. En connaissant les conceptions, l'enseignant peut dans un premier temps définir le projet éducatif, il peut ensuite définir des objectifs adéquats, et éviter de tenir des propos hors de la réalité des élèves. Il peut de plus, adapter le rythme de son cours. Pour identifier les conceptions de nos élèves il existe plusieurs moyens décrit à la section 2.1.4.

Comme le mentionne Honorez (2000), un apprentissage réussi est un changement de conception. Mais les préconceptions ne changent pas toutes seules, il faut avoir effectué un travail directement sur elles pour les transformer et dépasser les obstacles. L'élève doit devenir acteur dans ses apprentissages et se rendre compte par lui-même que ses préconceptions sont fausses. Il faut aussi le confronter à des situations qui le déstabilisent. En un mot il faut qu'il se pose plus de questions et qu'il soit conscient de ses propres limites. Mais ce n'est pas si évident pour l'élève d'admettre qu'il doit être plus concerné par sa manière de penser.

Mais que faut-il faire ? La réponse de Giordan est de mettre sur pied un environnement didactique adapté. L'environnement didactique est primordial, il introduit les concepts qui vont perturber l'élève. C'est à l'enseignant de mettre en place les différentes situations d'interaction qui vont apporter les outils pour aller contre les conceptions de l'élève. L'élève ne peut pas y arriver tout seul. Giordan ne propose pas une boîte à outils avec des outils définis une fois pour toute ; ces outils vont dépendre des réactions de nos élèves.

Afin que les transformations de conceptions puissent se faire, plusieurs types de confrontations peuvent être utilisées :

- Élève – élève : lors de débats ou de travaux de groupes, les conceptions de chacun peuvent se confronter.
- Élève – réalité : lors d'enquêtes, d'observations ou d'expérimentations par exemple, les élèves sont contraints de se confronter à la réalité.
- Élève – informations : par l'intermédiaire des enseignants, des livres ou des vidéos, les élèves sont confrontés aux théories scientifiques.

Grâce à ces confrontations, un conflit peut être créé au sein de l'élève, cela permet aussi à l'élève de prendre du recul et cela permet à l'enseignant de restructurer le savoir initial de l'élève. Le but de ces confrontations est bel et bien de faire prendre conscience à l'élève que ce qu'il pense être correct n'est pas en adéquation avec la réalité.

### **2.1.5.2 La situation-problème**

La situation-problème est une situation dans laquelle les élèves sont en phase d'apprentissage. La situation-problème est une stratégie d'enseignement qui met les élèves au travail et qui favorise leur engagement. Grâce à la situation qui est proposée les élèves construisent leurs savoirs. La situation-problème est donc un moyen d'apprentissage, c'est une tâche qui est globale, complexe et signifiante. La tâche étant selon Develay (1993) une « activité donnée à accomplir dans des conditions déterminées ».

Une tâche globale est complète quand il y a un contexte c'est-à-dire une situation initiale et un but. Elle nécessite plus d'une action ou procédure pour arriver au but. Si la tâche globale est conséquente elle pourrait être fragmentée en plusieurs éléments.

Une tâche complexe a une solution qui n'est pas évidente. C'est une tâche qui génère un conflit cognitif pour les élèves et elle présente un défi, cependant elle doit être réalisable et réaliste. Il faut qu'elle puisse être à la portée des élèves en faisant appel à plusieurs connaissances. Il est possible que la tâche complexe touche à plusieurs objectifs du programme, ce qui implique que sur le plan didactique elle doit être très structurée.

Une tâche signifiante est une tâche qui a un sens pour les élèves. C'est une tâche qui est en lien avec la réalité parce qu'elle fait appel à des choses connues des élèves. Elle est concrète car elle délivre un produit final.

Les caractéristiques d'une situation-problème sont les suivantes :

- Il y a une situation initiale qui définit le contexte.
- Il y a un but à atteindre donnant un sens à la situation.
- Il y a des obstacles et des contraintes qu'il faut dépasser qui vont amener les élèves à réorganiser leurs connaissances impliquant les élèves à faire des apprentissages.
- Il y a une démarche et une solution qui ne sont pas évidentes, il faut que les élèves fassent une recherche cognitive pour trouver la marche à suivre.

Avec les situations-problèmes, les élèves deviennent acteurs car elles sollicitent un engagement de chaque élève. Cela permet aux élèves d'être placés au centre des processus d'apprentissages et de faire de réels apprentissages. Cependant, il est impossible avec le peu de périodes hebdomadaires de physique DF à l'horaire d'être à même de reconstruire toutes les conceptions de cette manière-là.

Pour Meirieu (1987), la situation-problème fait s'affronter un sujet (un élève) à un obstacle en effectuant une tâche. L'obstacle étant une barrière empêchant l'apprentissage qui conduit à des difficultés empêchant l'élève de s'approprier les objectifs d'apprentissage. Le franchissement de cet obstacle doit représenter un palier dans le développement de l'élève.

Pour Astolfi (1993), une situation-problème est « organisée autour du franchissement d'un obstacle par la classe, obstacle préalablement bien identifié ». Comme pour Meirieu, une situation concrète est étudiée afin que les élèves puissent formuler différentes hypothèses. La situation ne doit pas être une situation simplifiée de la réalité ni juste illustrative comme on le rencontre souvent dans les situations classiques d'enseignement, travaux pratiques compris. Il faut que la situation proposée soit une véritable énigme, un réel challenge pour la classe qui

devra s'investir corps et âme pour sa résolution. Pour Astolfi (1993), les élèves n'ont pas au départ les moyens de résoudre la situation étant donné qu'ils butent contre un obstacle. En voulant résoudre ce qui est proposé, les élèves vont élaborer des stratégies et/ou s'approprier les instruments intellectuels nécessaires pour aboutir à la solution. La situation doit être suffisamment complexe pour que les élèves s'investissent dans la quête de la réponse, mais cette dernière ne doit pas être hors de leur portée. Il est important de travailler dans la zone proximale de développement (ZPD) comme mis en évidence par les théories de Vygotski (1997). Le débat scientifique à l'intérieur de la classe comme moyen de travail sur une situation-problème va stimuler les conflits cognitifs. Finalement, c'est l'enseignant qui va apporter son regard d'expert pour valider la solution ce qui d'un point de métacognitif permettra aux élèves de réexaminer la situation et d'utiliser les procédures mises en œuvre pour de nouvelles situations-problèmes.

La situation-problème est le moyen le plus efficace pour déstabiliser les préconceptions et pouvoir reconstruire ensuite. Par contre, elle ne doit jamais être proposée à titre d'évaluation.

### **2.1.5.3 La démarche hypothético-déductive**

La démarche hypothético-déductive n'est pas une situation problème. Cependant, pour déstabiliser les préconceptions on peut aussi l'utiliser. Cela se trouve être moins efficace que la situation problème (Viennot, 2006) mais semble être plus abordable pour les élèves. Le but étant de poser une question. Pour répondre correctement à cette question, une ou des hypothèses vont être émises. Ces différentes hypothèses pourront dans un deuxième temps être vérifiées expérimentalement. Puis l'analyse des différents résultats sera effectuée et une conclusion apportée. La démarche hypothético-déductive est la base de la démarche expérimentale telle que l'a décrit Roger Bacon (1266) pour qui « aucun discours ne peut donner la certitude, tout repose sur l'expérience ». En pédagogie, l'apprenant émet des hypothèses et ensuite il essaie de les confirmer ou de les infirmer.

## **2.2 Les préconceptions en Physique**

Parmi les différentes disciplines scolaires, les sciences expérimentales, et notamment la

physique, sont particulièrement exposées au problème des préconceptions car d'une part, elles traitent de phénomènes naturelles que tout un chacun peut observer et donc interpréter à sa guise, et d'autre part, les sujets abordés sont souvent soumis à de fortes polémiques qui sont alimentées par de nombreuses croyances ou opinions sans base scientifique (comme par exemple, l'énergie nucléaire ou les énergies renouvelables). Les préconceptions les plus courantes en physique ont été clairement identifiées. Elles touchent toutes ses branches : rien qu'en mécanique, on en recense plus d'une quarantaine (Honorez, 2000 ; webphys.ch ; amasci.com). Notons au passage que ces listes ne recensent que les préconceptions les plus courantes : celles-ci ayant en partie une origine individuelle, elles peuvent varier à l'infini, d'un élève à l'autre.

Dans le cadre de ce travail, notre choix s'étant porté sur l'enseignement du principe d'inertie, nous nous sommes limités à traiter les préconceptions les plus courantes chez les élèves autour de la relation entre force et mouvement. Elles sont essentiellement de 2 types :

### **(1) Adhérence force-vitesse :**

De nombreuses études (Viennot, 1979 ; Clement, 1982 ; Gunstone, 1987 ; Mildenhall et Williams, 2001) ont montré qu'il existe dans l'esprit de nombreux élèves une association entre le mouvement et une cause motrice et donc entre la vitesse et la force. Ce point de vue est confirmé par leur expérience quotidienne: il faut une force pour prolonger le mouvement d'un corps, les frottements qui le freinent n'étant en général pas pris en considération. Ainsi, le traitement identique des concepts de mouvement rectiligne uniforme et de repos dans le principe de l'inertie n'est pas toujours accepté. Cette préconception rejoint la conception du mouvement de la physique d'Aristote, ce qui n'est guère surprenant puisque le principal critère de validité de cette théorie est sa conformité avec notre intuition, éprouvé par une logique déductive (Lindemann, 1999).

Ainsi, dans l'esprit des élèves :

- Tout mouvement implique l'action d'une force dans sa direction et son sens,
- La vitesse d'un corps est proportionnelle à la force appliquée sur ce corps.

### **(2) Résurgence de la notion d'impétus**

Pour trouver une cause au mouvement lorsqu'il n'y a pas de force dans le sens et la direction du mouvement, les élèves invoquent généralement une « force » stockée dans l'objet sous

forme d'un capital qui lui permet de se mouvoir et si ce capital de force s'épuise, l'objet s'arrête. Cette force imaginaire s'apparente au concept d'impétus développé au Moyen-Age par Buridan dans sa critique des travaux d'Aristote afin d'expliquer les mouvements balistiques.

### **3. Séquence d'enseignement : le principe d'inertie**

#### **3.1 Contexte de la séquence**

La séquence que nous proposons traite du principe d'inertie et a été présentée à deux classes de 1<sup>ère</sup> année durant une période de cours : une classe de 20 élèves (J.D.) et une classe de 18 élèves (A.A.). Elle se situe dans le cadre du cours de dynamique qui est traité à Nyon après la cinématique (MRU, MRUA, chute, balistique) et différents sujets d'astronomie (système solaire, alternance jour/nuit, saisons, révolution et rotation de la Terre, éclipses, phases de la lune). Notons au passage que la relativité du mouvement (galiléenne) n'a été abordée que de manière superficielle et la notion de référentiel n'a pas été traitée. Outre la cinématique, aborder le principe d'inertie nécessite certains prérequis qui ont été traités en amont de cette séquence :

- la définition d'une force et ses caractéristiques (représentation vectorielle).
- les différents types de forces (à distance ou de contact ; poids, force normale, frottements,..),
- l'inventaire des forces s'exerçant sur un corps (diagramme de corps libre)
- la résultante de plusieurs forces (addition vectorielle)
- l'équilibre statique d'un corps soumis à deux forces colinéaires

La 3<sup>e</sup> loi de Newton (action-réaction) a aussi été présentée lors de la présentation des forces, mais n'est pas indispensable pour aborder le principe d'inertie.

Hormis les mouvements rectilignes qui sont abordés en début d'année et qui ont pu être oubliés, nous pensons qu'il y a assez peu d'obstacles pour les élèves dans cette séquence, le plus critique étant la représentation des forces. Le but premier de cette séquence est de casser les préconceptions de nos élèves en ce qui concerne le mouvement d'un corps et d'aboutir au principe d'inertie. La séquence d'enseignement elle-même (section 3.3) a été précédée par un questionnaire diagnostique (section 3.2) afin d'identifier ces préconceptions, et s'est conclue par une évaluation sommative (section 3.4).

## **3.2 Questionnaire diagnostique**

### **3.2.1 Présentation du questionnaire**

Afin de mettre en évidence les préconceptions mentionnées à la section 2.1 chez nos élèves, nous avons utilisé une évaluation diagnostique sous la forme d'un questionnaire (sans toutefois négliger les informations que l'on a pu tirer des interactions directes avec nos élèves durant les séquences précédentes). Pour concevoir ce test, nous nous sommes appuyés sur plusieurs études didactiques précédentes, notamment le questionnaire « Force Concept Inventory » développé par Hestenes et al. (1992), des tests mis en place par McCloskey (1983), des études décrites par Viennot (2006), Coppens (2003) et Honorez (2000). Ce questionnaire a des objectifs avant tout d'évaluation mais aussi d'apprentissage. En effet au cours de l'enseignement, des retours aux questions et des mises en relations des problèmes du cours et du questionnaire ont été effectués.

Le questionnaire (annexe 6.1) comporte 4 exercices de type QCM dont les items visent les préconceptions décrites précédemment : l'adhérence force – vitesse et/ou la notion d'impétus. Les correspondances entre questions et préconceptions visées sont synthétisées dans le tableau 1. La plupart de ces questions traitent de situations issues de la vie quotidienne (voir Annexe 6.1). Nous avons en effet essayé de sélectionner des situations sur lesquelles chaque élève peut émettre un avis, une opinion car elles ne lui sont pas inconnues.

Question	Préconception visée
Exercice 1	
1.	mouvement $\Rightarrow$ force
2.	vitesse $\propto$ force
3.	repos $\Rightarrow$ aucune force n'agit
4.	mouvement $\Rightarrow$ force
5.	mouvement $\Rightarrow$ force
6.	notion d'impétus
Exercice 2	
1. 2. et 3.	impétus et mouvement $\Rightarrow$ force (force toujours orientée dans le sens du mvt)
Exercice 3	impétus
Exercice 4	mouvement $\Rightarrow$ force

*Tableau 1: Correspondance entre les questions du questionnaire et les préconceptions visées*

Concernant le choix du QCM, nous sommes conscients que des questions plus ouvertes, demandant aux élèves de verbaliser et de mettre par écrit leurs raisonnements, auraient permis d'une part une analyse plus précise du mode de pensée des élèves et d'autre part, de faire émerger des préconceptions que nous n'avons pas anticipées. Toutefois, nous avons délibérément voulu restreindre le cadre de cette évaluation aux préconceptions mentionnées dans la section 2.2. En outre, la forme du QCM présente plusieurs avantages pour notre étude. En premier lieu, elle rend l'évaluation plus objective car elle supprime les biais classiques de l'évaluation liés au correcteur (effets de fatigue, de contamination, de stéréotypie, de halo, de contraste, cf. Pasquini, 2015). De plus, le diagnostic est facilité par la possibilité d'établir facilement des statistiques de réussite (voir Figure 1) permettant ainsi de cibler les points nécessitant une remédiation forte. Enfin, le gain de temps au niveau de la correction pour l'enseignant est également un facteur non négligeable.

Le questionnaire a été soumis à trois classes de 1MDF (les deux classes concernées par notre étude et une classe supplémentaire, soit un total de 56 élèves), de manière anonyme, pendant une durée d'environ 15-20 minutes.

### 3.2.2 Résultats

Le pourcentage de réponses correctes sur l'ensemble du questionnaire s'élève à 25 %, les réponses incorrectes représentent 71 % des réponses données alors que seuls 4 % des questions ont été laissées sans réponse. Ces résultats sont dans l'ensemble en accord avec ceux publiés dans la littérature (Viennot, 2006 ; Coppens, 2007), à savoir que les préconceptions de la majorité de nos élèves sont erronées, leurs réponses tenant plus de leur intuition que d'un apprentissage ou d'un savoir scientifique.

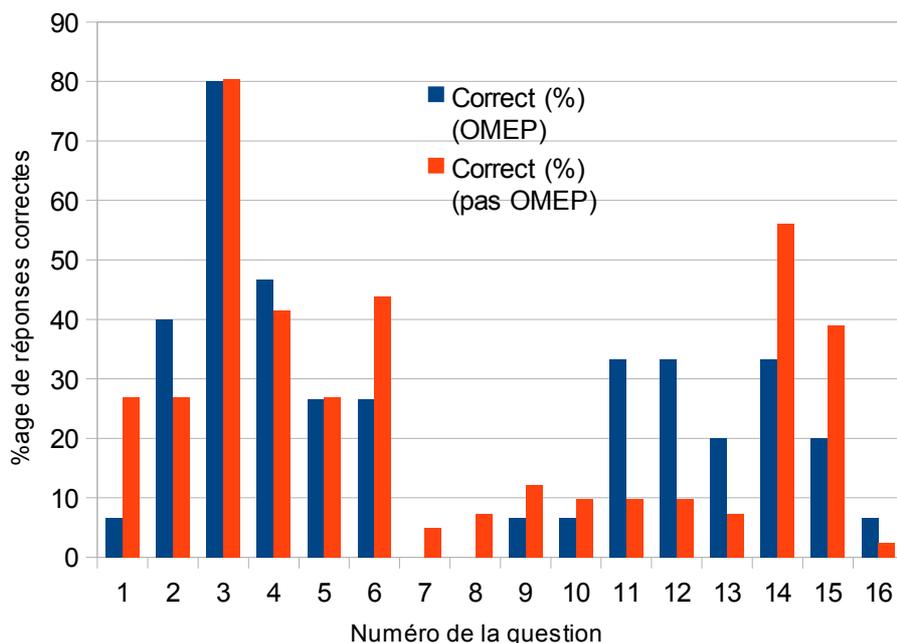


Figure 1: Pourcentage de réponses justes obtenu en fonction de l'option spécifique choisie au collègue

Les seules questions qui ont été majoritairement bien traitées concernent des situations statiques où le système étudié est au repos (affirmation 3 de l'exercice 1 et cas de la balle de golf immobile dans l'exercice 4, avec respectivement 80% et 43% de bonnes réponses). Plusieurs raisons permettent d'expliquer ce bon résultat : d'une part, c'est une situation particulière que les élèves connaissent bien et comprennent spontanément (leur préconception dans ce cas est en accord avec le concept scientifique !) et d'autre part, c'est aussi un cas qui a déjà été abordé en cours lorsque que la force de soutien a été traitée.

Sans rentrer dans le détail de toutes les réponses, l'analyse des réponses nous a permis de mieux cerner les difficultés de nos élèves. Ainsi, les réponses (erronées) à l'exercices 1

indiquent clairement que dans l'esprit des élèves, il ne peut y avoir de mouvement sans qu'une force soit appliquée. De plus, l'exercice 2 indique qu'ils considèrent que lorsqu'un objet est en mouvement continu, la force qui agit sur lui est toujours dans le sens du mouvement. En effet, on retrouve de manière récurrente, pour cet exercice à 3 questions, un même groupe de réponses (1.F 2.D 3.B) qui indiquent clairement cette croyance. Enfin, la notion d'impétus ressort constamment de leurs réponses aux différentes questions (voir les correspondances au Tableau 1). Cela est particulièrement évident dans l'exercice 3 (lancer du ballon vers le haut) pour lequel la réponse la plus citée est celle où 2 forces agissent sur le ballon (le poids vers le bas et une force d'impétus vers le haut qui est nécessaire, dans leur esprit, à faire avancer le ballon vers le haut) alors même que ce cas avait déjà été abordé dans l'étude de la chute libre en cinématique (sans toutefois s'attarder sur les forces mises en jeu). On retrouve également clairement cette notion d'impétus dans l'exercice 4 où il leur est demandé de représenter les forces agissant sur une balle de golf en vol : 90 % d'entre eux ont dessiné une force de poussée exercée par le club de golf continuant d'agir sans contact.

Outre confirmer les préconceptions attendues chez nos élèves, ce questionnaire nous a également permis d'évaluer l'impact des enseignements dispensés dans les classes inférieures en distinguant les réponses données par les élèves ayant suivi l'option Mathématiques et Physique (OMEP) au collège (environ 23 % des élèves interrogés). Comme on peut le constater sur la Figure 1, on ne note aucune différence majeure entre les deux populations d'élèves ; au contraire, sur certaines questions, les résultats des élèves OMEP sont même moins bons. Cela confirme à l'évidence les observations des différents travaux mentionnés plus haut, à savoir que les préconceptions sont particulièrement résistantes à l'apprentissage et persistent en général malgré celui-ci.

### **3.3 Séquence sur le principe d'inertie – Activité « curling »**

#### **3.3.1 Présentation de l'activité et de la démarche pédagogique**

L'objectif principal de la séquence de cours que nous avons élaborée est d'amener les élèves à énoncer par eux-mêmes le principe d'inertie, de manière à les amener à remettre en question leurs préconceptions. Le changement conceptuel espéré est résumé dans le schéma (Figure 2)

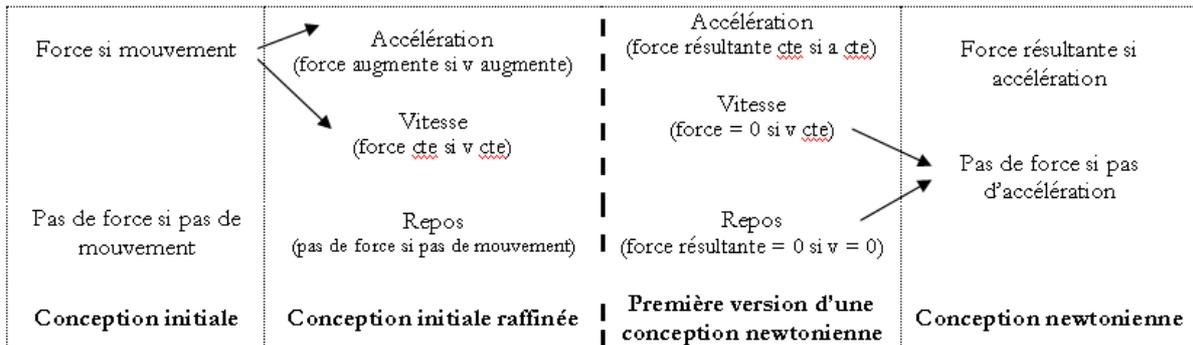


Figure 2: Schéma du changement conceptuel visé (Dykstra, 1992)

En résumé, il s'agit d'amener les élèves de leur conception initiale erronée (mouvement implique force) vers la conception newtonienne (pas de force si pas d'accélération). Pour cela, nous avons construit une activité autour du principe d'inertie en nous inspirant de différents travaux (Bernon, Pégase) que nous avons adaptés au niveau de nos élèves, à l'enseignement que nous leur avons dispensé ainsi qu'à d'autres contraintes pratiques. L'idée principale de cette activité est de leur soumettre la question « **Un corps soumis à des forces qui se compensent peut-il se déplacer ?** » puis de les amener à confronter leur première réponse, à priori intuitive et erronée, vers la réponse correcte qu'ils sont amenés à formuler par eux-mêmes en analysant le mouvement d'un corps grâce aux outils dont ils disposent déjà (la cinématique et l'inventaire des forces). Afin de rendre l'activité attrayante et en lien avec la vie courante des élèves, nous avons choisi comme objet d'étude le mouvement d'une pierre de curling. C'est en effet un sport assez populaire en Suisse car l'équipe féminine est double championne du monde en titre et la Suisse remporte régulièrement des médailles aux Jeux Olympiques. Ce choix nous semble en outre être bien adapté à nos élèves. Entre autres avantages, c'est une situation qui ne met en jeu que des paires de forces colinéaires (le plan incliné et la décomposition des forces n'ont pas encore été abordés dans ces classes), la phase de balayage de la glace permet d'amener spontanément la question des frottements et les effets de « curl » (qui sont négligés dans notre étude) peuvent donner lieu à d'intéressantes discussions. Nous avons donc utilisé, en guise d'introduction et d'accroche, un extrait de la finale féminine des derniers championnats du monde entre la Suisse et le Canada.

Suite au visionnage de la vidéo, l'activité est divisée en 4 étapes :

1. Identification des différentes phases du mouvement de la pierre :

Les élèves identifient les 3 phases principales (1. pierre immobile – 2. poussée de la

pierre – 3. du lâcher jusqu'à l'arrêt de la pierre) auxquelles peut s'ajouter la phase de balayage

2. Analyse du mouvement en terme de forces pour chaque phase :

Pour chaque phase, le diagramme des forces s'exerçant sur la pierre est dessiné (en tenant compte des frottements), et la nature du mouvement est discutée (variation de la vitesse et trajectoire)

3. Analyse du mouvement de la pierre sans frottements :

La même analyse est faite pour le cas idéal où les frottements sont négligeables, ce qui conduit les élèves à conclure que la pierre adopte un mouvement rectiligne uniforme lorsqu'elle est soumise à des forces qui se compensent.

4. Énoncé du principe d'inertie :

La récapitulation des analyses effectuées aboutit à la formulation du principe d'inertie.

Les interventions et le guidage de l'enseignant peuvent varier en fonction des réactions et du comportement des élèves face à la tâche. Afin de faire évoluer au mieux cette séquence, les séances d'enseignement ont été observées et analysés par les deux enseignants ainsi que leur praticien formateur, ce qui a permis d'apporter quelques modifications entre les deux séances et d'en envisager d'autres. La planification détaillée de la séquence, la feuille d'activité distribuée aux élèves et la présentation powerpoint utilisée lors de la séquence sont présentées en annexes (6.2, 6.3 et 6.4 respectivement).

### **3.3.2 Analyse des séquences dispensées**

#### **3.3.2.1 Première séance d'enseignement (J.D)**

La classe concernée est une classe que je qualifierais de vivante mais très agitée : les élèves participent en général activement aux débats mais cela se fait dans un brouhaha éprouvant que j'aie souvent du mal à canaliser. En outre, lorsqu'il s'agit de travailler de manière autonome, lors des séances d'exercices, ces élèves sont très dispersés et je dois constamment être derrière eux pour les maintenir en activité. En particulier, une frange de la classe (environ 6-7 élèves)

ont un comportement très désinvolte qu'ils justifient par le fait d'avoir déjà étudié la mécanique au collège (en option OMEP), et pensent donc maîtriser les contenus que je leur enseigne.

Concernant le déroulement de la séquence, j'ai commencé par présenter la question «Un corps peut-il être en mouvement sans être soumis à des forces ? » que j'ai soumise à un rapide sondage à main levée. Seuls 4 ou 5 élèves ayant répondu par l'affirmative, je leur ai notifié que cela confirmait les résultats du questionnaire, puis je leur ai donné la réponse exacte sans plus d'explications. J'ai profité de la présentation des résultats du questionnaire pour montrer aux élèves de l'option OMEP que leur performance était en tout point comparable aux résultats de leur camarades qui découvrent la mécanique cette année. Il m'a semblé que cela les a vexés et les a poussés à s'impliquer plus que d'ordinaire dans le débat et l'activité qui a suivi. C'était effectivement le but recherché même s'il m'a semblé que cette implication traduisait plus une volonté de me démontrer que je me trompais sur leurs capacités qu'un véritable intérêt pour le sujet lui-même. D'ailleurs, une fois la réponse correcte donnée, une discussion s'est engagée sur la formulation de la question pour justifier leur réponse erronée. Celle-ci semble, en effet, avoir été mal comprise par certains élèves. La confusion portait sur 2 points : d'une part, le fait qu'une situation où aucune force n'agit est équivalente à une situation où des forces se compensent, et d'autre part la distinction en « être en mouvement » et « être mis en mouvement », situation qui nécessite effectivement une force non équilibrée. Ce débat a été très intéressant et porteur d'enseignement ; il a permis de préciser notamment le cadre d'application du principe d'inertie, en revanche, il a aussi constitué une perte de temps non négligeable par rapport à ma planification, ce qui nous a poussé à reformuler la question de manière plus précise pour la 2e séquence (voir section 3.3.2.2).

Afin de décomplexer les élèves par rapport à leur réponse erronée, j'ai ensuite expliqué aux élèves que leur réponse était très courante car elle coïncide avec nos observations (exemple du livre que je pousse), et qu'en conséquence, elle avait été considérée pendant très longtemps comme exacte (référence à la physique d'Aristote) jusqu'à ce que Galilée ne vienne la contredire. J'ai ainsi introduit l'activité « curling » en leur signifiant que l'objectif de la séquence était de comprendre comment Galilée était arrivé à cette conclusion en analysant, non pas le mouvement d'une bille sur un plan incliné comme il l'avait fait, mais le mouvement d'une pierre de curling lors des championnats du monde ! Il me semble que les élèves ont bien accueilli cette activité : j'ai noté un calme inhabituel durant la projection de la vidéo et une

forte participation des élèves lors de l'activité. L'identification des différentes phases du mouvement de la pierre dans la vidéo n'a pas posé de problème. Concernant l'organisation de l'activité, j'avais choisi de laisser travailler seuls les élèves sur l'analyse du mouvement, phase par phase en mettant les résultats en commun entre chaque phase. Ce choix s'est avéré coûteux en temps en raison des difficultés à gérer le temps imparti à chaque étape. En particulier, durant le travail d'analyse de la phase 1 (pierre immobile), j'ai passé de longues minutes à guider un petit groupe de 4 élèves qui butaient sur l'inventaire des forces, alors que la mise en commun qui a suivi a montré que cette première analyse ne présentait pas de difficultés majeures pour le reste de la classe.

Pour la phase 2, les élèves ont bien identifié la force de poussée, en revanche j'ai dû les guider pour leur faire trouver la force de frottement (en leur demandant pourquoi, par la suite, les joueurs balayent la glace). Ils ont aussi facilement reconnu que la pierre accélérât (je m'attendais à plus de difficulté car l'accélération n'est pas très visible sur la vidéo), ce qui a permis ensuite de discuter de l'intensité relative de la force de poussée et du frottement et de conclure que la résultante des forces était non nulle et dans le sens du mouvement.

Lors de la mise en commun des résultats de la phase 3, la majorité des élèves ont indiqué correctement les différentes forces mais comme je m'y attendais, plusieurs élèves ont invoqué la force de poussée pour expliquer le mouvement de la pierre vers l'avant (notion d'impétus) ce qui a donné lieu à une discussion visant à corriger cette erreur. Je me suis principalement appuyé sur les définitions en amenant les élèves à énoncer que la force de poussée est une force de contact qui ne peut donc s'exercer que lorsque la main de la joueuse pousse la pierre. Cette explication (qui n'en est pas vraiment une) n'étant pas très satisfaisante, plusieurs élèves m'ont relancé (« mais alors pourquoi elle avance ? »). Je leur ai expliqué que la force de poussée (durant la phase 2) avait donné une certaine impulsion à la pierre, lui avait imprimé une certaine vitesse initiale qui, sans l'action des frottements, se conservait une fois la pierre lâchée en faisant notamment le parallèle avec la balistique déjà traité dans le cours de cinématique et en reprenant la question 3 du questionnaire (lancer de la balle lancée vers le haut). Je pense que cette interaction a été fructueuse car par la suite, je n'ai retrouvé que très rarement cette notion d'impétus chez les élèves durant les exercices d'application. Toutefois je ne suis pas vraiment satisfait de ma démarche qui reste assez superficielle et approximative ; provoquer un véritable retournement de cette conception d'impétus chez les élèves nécessiterait plus de temps et d'investissement (voir par exemple Robardet, 1995).

Lors de l'avant-dernière étape (« que se passerait-il sans frottement ? »), les élèves sont arrivés facilement à la conclusion que la vitesse de la pierre serait constante, en considérant les causes de l'accélération de la pierre et de son ralentissement précédemment décrites (phase 2 et 3). Pour leur faire admettre que le mouvement ne pouvait être que rectiligne, j'ai été assez direct le temps commençant à manquer. J'ai utilisé une bille pour leur montrer que quel que soit le mouvement que faisait ma main avant de la lâcher, sa trajectoire était toujours rectiligne. Une élève m'a toutefois fait remarquer qu'au curling, la pierre pouvait dévier et je lui ai expliqué l'origine du curl en insistant sur le fait que dans notre cas idéal (sans frottement) la trajectoire serait toujours rectiligne.

Une fois la conclusion (observation 4) établie, je leur ai fait rapidement remarquer que l'on avait réuni tous les éléments pour répondre à notre question initiale «Un corps peut-il être en mouvement sans être soumis à des forces ? ». J'aurais voulu consacrer plus de temps à cette étape de manière à confronter plus ostensiblement leur première réponse intuitive et la réponse « vraie » qu'ils ont obtenue après un raisonnement plus rigoureux, mais la fin du cours approchant, j'ai dû conclure la séquence en résumant les 4 observations au tableau, en énonçant oralement le principe d'inertie et en leur communiquant les exercices à faire pour la prochaine séance. Je n'ai pas eu le temps, comme c'était initialement prévu, de leur faire écrire l'énoncé sur leur feuille d'activité (je leur ai distribué via moodle de manière à ce qu'ils puissent préparer les exercices sans problème).

Au vu des nombreuses questions et interactions qui ont eu lieu durant la séquence, il me semble que la classe a globalement bien adhéré à l'activité qui leur était proposée. Toutefois, l'ambiance de travail n'était pas optimale, la classe restant tout de même très dissipée et j'ai dû intervenir à plusieurs reprises pour retrouver le calme. Concernant ma démarche, j'avais pris le parti de laisser réfléchir et s'exprimer les élèves le plus possible ce qui a permis de soulever de nombreuses questions et d'y répondre dans une certaine mesure. En revanche, cela a également créé des difficultés au niveau de la gestion du temps imparti à chaque étape de l'activité, ce qui nous a conduit après discussion entre les deux enseignants et leur praticien-formateur à quelques modifications pour l'organisation la séquence destinée à la classe du second enseignant (A.A)

### 3.3.2.2 Deuxième enseignement de la séquence (A.A)

Avant d'enseigner la séquence pour la deuxième fois, quelques changements ont été apportés à la planification initiale. Tout d'abord la question posée a été modifiée. En effet, la question telle qu'elle était formulée la première fois pouvait prêter à confusion. Que veut dire exactement « ... sans être soumis à des forces ? » ? La fin de cette question a longuement été débattue entre le praticien-formateur et les 2 enseignants-stagiaires. Finalement, nous sommes arrivés à la question suivante : « Quel est le mouvement d'un corps soumis à des forces de résultante nulle ? » que nous avons utilisée comme question initiale du support de cours pour le deuxième enseignement. Nous nous sommes rendus compte que les 45 minutes d'une période ne suffisaient pas pour laisser 5-7 minutes aux élèves pour travailler sur chaque phase et ensuite reprendre les phases ensemble avec eux. Nous avons donc décidé de laisser quelques minutes aux élèves lors du deuxième enseignement de la leçon pour compléter les phases 2 et 3 eux-mêmes, après avoir fait ensemble la phase 1 à titre d'exemple. Avec 45 minutes à disposition, il a fallu trouver un compromis entre explications et temps. La première leçon ne nous a pas permis d'aboutir au principe d'inertie écrit au tableau. Il a donc été décidé de donner moins d'explications lors du deuxième passage afin de pouvoir énoncer la première loi de Newton en fin de période.

Globalement la leçon s'est bien déroulée. Les élèves ont été participatifs, mais contrairement au premier enseignement ils étaient moins curieux que la première classe. La classe concernée est une classe que la physique intéresse peu, la majorité des élèves ont choisi une OS artistique. Cependant une bonne moitié de la classe participe activement et régulièrement aux différentes activités qui leur sont proposées. Les élèves de la deuxième classe ayant posé moins de questions que ceux de la première, il a été possible de suivre le timing de la planification et d'aboutir au principe d'inertie. Le quizz final a pu être fait avec les élèves, mais pas tous les exercices.

L'introduction de la séquence fût en tout point similaire au premier enseignement. Le début de la séquence fût un retour sur les résultats obtenus lors du questionnaire. Le fait que la majorité d'entre eux se soit trompée les a fait plus rire que pleurer. Je les ai rassurés en leur disant que jusqu'aux travaux de Galilée la communauté scientifique pensait comme eux. Le beamer projetait la question que nous avons décidée d'utiliser pour cette deuxième leçon, à savoir :

« Quel est le mouvement d'un corps soumis à des forces de résultante nulle ? » C'est une question qui demande un développement et ne peut plus être répondue par oui ou non.

Après qu'un élève ait résolu un problème technique de vidéo, je leur ai montré l'extrait que nous avons choisi. Je leur ai demandé de rester attentifs aux différentes phases du mouvement. Après avoir visionné la vidéo, les phases ont été rapidement mises en évidence par les élèves. Dans la suite de l'activité, nous avons répondu ensemble aux questions de la phase 1 : l'attente. Les réponses de la phase 1 ont été projetées une fois énoncées par les élèves au beamer en guise d'exemple pour la suite de leur travail. Les élèves ont été ensuite mis en activité. Je leur ai laissé une dizaine de minutes pour répondre aux questions concernant les phases 2 et 3. Les réponses à ces 2 phases ont été discutées. Leur manque de curiosité était assez flagrant, ils ont posé peu de questions par rapport à leurs prédécesseurs (ce qui a permis d'arriver au principe d'inertie dans le temps imparti). Par contre, quand je posais les questions les réponses correctes étaient rapidement données.

Le point 3 de notre démarche, « Que se passerait-il sans force de frottement ? » a été compris rapidement. Je n'ai pas eu le temps de terminer de poser la question que la réponse était déjà là : la pierre ne s'arrête pas car il n'y a plus de frottements, la vitesse est donc constante.

Finalement le principe d'inertie a été écrit au tableau noir. Les élèves ont pris note du principe d'inertie et répondu à la question initialement posée. J'ai abordé le quizz de la présentation power point avec eux, et les réponses qui venaient de la classe étaient correctes ce qui m'incite à dire que le message est bien passé. J'aurais voulu aborder avec quelques illustrations supplémentaires et arriver sur l'inertie telle qu'elle se peut se manifester dans la vie quotidienne mais la fin de la période est arrivée.

### **3.4 Exercices d'application – Evaluation formative**

Afin d'évaluer les connaissances acquises lors de cette séquence, nous avons initialement rédigé un petit quizz reprenant notamment les « vrai/faux » du pré-test (voir annexe à la fin de la présentation power point) toutefois le temps manquant, ce quizz n'a pu être utilisé lors de la séquence. En guise d'évaluation formative, nous avons soumis, aux élèves, trois exercices

d'application du principe d'inertie que l'on peut trouver sur la dernière page de la feuille d'activité « curling » (annexe 6.3).

Le premier exercice demande d'analyser en termes de forces quelques situations simples en appliquant le principe d'inertie. Dans les deux classes, cet exercice n'a pas posé de problème particulier et la grande majorité des élèves a su répondre correctement. L'exercice 2 (traité uniquement par J.D.) présente une application du principe d'inertie plus déguisé (il n'est pas fait mention de vitesse ou d'accélération). Il dépasse sensiblement le cadre de l'enseignement effectué durant la séquence, le concept d'inertie en tant que résistance au changement de vitesse n'ayant été mentionné que très brièvement en fin de séquence. L'objectif de cet exercice était d'insister plus particulièrement sur cette notion et de faire prendre conscience aux élèves que le principe d'inertie s'applique dans la vie courante ; d'autres exemples plus proches du quotidien des élèves ont également été abordés lors de la correction (exemple d'une personne projetée dans un bus, rôle de la ceinture de sécurité). L'application du principe d'inertie étant moins évidente, les élèves n'ont pu trouver la réponse par eux-mêmes et l'enseignant a dû guider précautionneusement les élèves vers la réponse. La question a) de l'exercice 3 (balle de golf), également présente dans le questionnaire diagnostique, a été résolue avec succès par la majorité des élèves. Nous avons en particulier noté que la notion d'impétus qui était très présente dans les réponses au questionnaire diagnostique n'était plus ou très peu évoqué par les élèves. Pour la question b) (traité uniquement par A.A.), un doute est survenu pour certains élèves quant à l'accélération de la balle après l'impact. En revenant sur le schéma des forces, où il n'y a que le poids qui agit sur la balle, l'enseignant a guidé les élèves incertains en pointant sur la relation reliant le poids à la masse. Les élèves pas ou peu sûrs de leur réponse ont pu énoncer la relation attendue  $\vec{F}_p = m \cdot \vec{g}$ , avec  $\vec{g}$  verticale dirigée vers le bas. La réponse correcte s'est alors imposée d'elle-même pour l'accélération de la troisième situation : la réponse correcte est la représentation A. En continuant les explications,  $\vec{g}$  aurait pu être remplacé par une accélération  $\vec{a}$  quelconque (sens et direction) et le poids  $\vec{F}_p$  par la résultante des forces agissant sur un corps en mouvement. Nous aurions ainsi pu introduire la deuxième loi de Newton :  $\sum \vec{F}_i = m \cdot \vec{a}$ . Mais cela n'a pas été fait par manque de temps.

### 3.5 Evaluation sommative

Une évaluation sommative a été proposée à une des classes (J.D.) sous la forme d'un test écrit portant sur l'ensemble des notions vues dans le cours de dynamique avec 3 exercices dédiés plus particulièrement au principe d'inertie (annexe 6.5). L'objectif de ces exercices était de vérifier que les élèves ont compris le principe d'inertie et savent l'appliquer. Ils sont d'un niveau relativement facile, reprenant des questions du même type que celles traitées en cours.

L'exercice 1 demande d'appliquer le principe d'inertie à quelques situations simples, décrites par une phrase, pour identifier si la résultante des forces est nulle ou non nulle. Environ 70 % de la classe a répondu correctement à toutes les questions. Pour les 30 % restant, l'erreur la plus courante porte sur la deuxième question (« un vélo prend un virage à vitesse constante »), les élèves n'ayant su identifier le changement de direction comme le résultat d'une force non équilibrée. Ce point, bien que traité superficiellement, avait été souligné à plusieurs reprises mais ne semble visiblement pas être acquis par tous.

L'exercice 2, demande, sous la forme d'un vrai/faux, d'analyser des diagrammes de forces s'appliquant à un camion afin d'en déduire la nature de son mouvement. Le résultat a été plus décevant sur cet exercice avec seulement 50 % de réponses correctes. Beaucoup d'élèves ayant donné des réponses contradictoires au sein d'une même question (Figure 3), il m'est plus difficile de cerner l'origine de leurs erreurs, toutefois au vu des autres exercices du test portant sur la représentation des forces, il apparaît que les élèves ont des difficultés à dresser un bilan des forces lorsque le système étudié est en mouvement (notamment sur le sens des forces de frottement) alors qu'ils maîtrisent plutôt bien cet exercice pour des situations statiques.

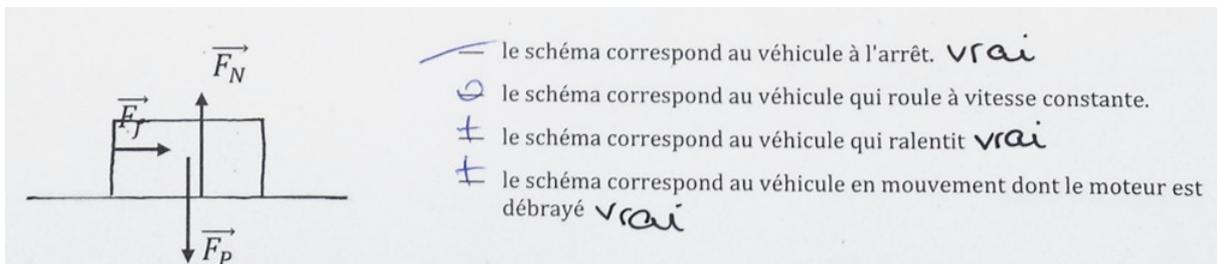


Figure 3. Exemple de réponse incorrecte à l'exercice 2 du test écrit

L'exercice 3 demande d'identifier le mouvement d'une balle à partir d'une chronophotographie, d'en déduire si les forces qui s'exercent sur celle-ci se compensent puis de les représenter. La première partie n'a pas posé de problème et presque tous les élèves ont

correctement déterminé la nature du mouvement de la balle d'après la chronophotographie et en ont déduit que les forces se compensent. En revanche, plus de 30 % d'entre eux (6 élèves) ont dessiné une force de poussée agissant sur la balle après l'impact, reprenant la théorie de l'impétus (Figure 4). Ce résultat montre clairement que, contrairement à mes premières impressions lors des séances d'exercices, cette notion intuitive d'impétus est restée profondément ancrée chez bon nombre d'élèves et mériterait en conséquence que l'on s'y attarde plus longuement.

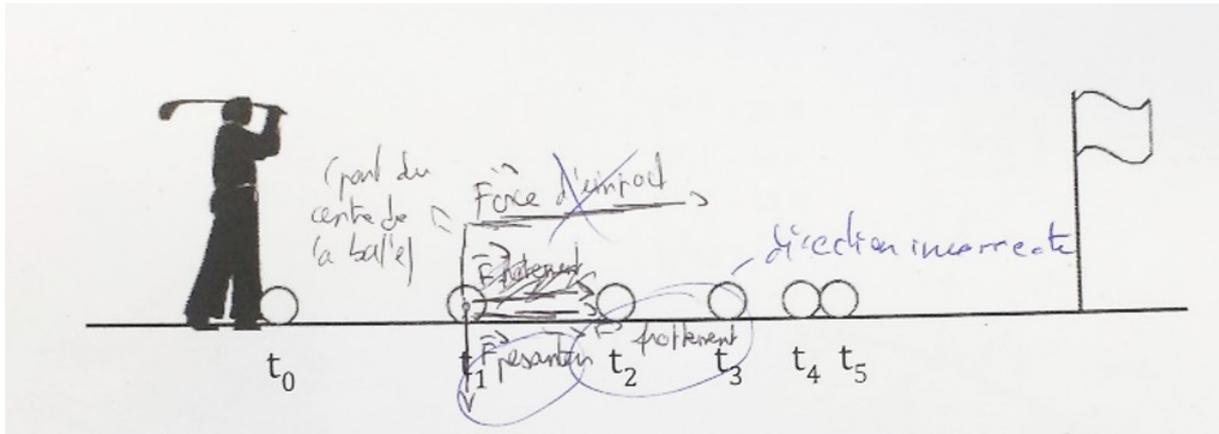


Figure 4 : Exemple de réponse incorrecte à l'exercice 3 du test écrit

Dans l'ensemble, les résultats ont été satisfaisants avec un taux de réussite de plus de 70 % sur l'ensemble de ces 3 exercices toutefois la question d'un véritable retournement conceptuel reste posée.

## 4. Conclusion

Dans le cadre de ce travail, nous avons construit une séquence sur le principe d'inertie avec comme objectif de renverser les préconceptions les plus communes de nos élèves sur la mécanique newtonienne. Une première étape a consisté à prendre connaissance des préconceptions les plus répandues grâce à une recherche bibliographique. Une fois ce savoir acquis, nous nous sommes efforcés de mettre en évidence ces préconceptions chez nos élèves en leur soumettant un questionnaire à visée diagnostique. Il nous a révélé que nos élèves ne font pas exception à la règle et sont victimes des mêmes préconceptions que leurs condisciples. Afin de tenter de modifier ces conceptions, nous avons élaboré une séquence d'enseignement utilisant une situation mobilisante (étude du mouvement d'une pierre de curling) à même de motiver les élèves et les amener sur la notion du principe de l'inertie. Les élèves les moins intéressés par la Physique étaient bel et bien présents et ont participé plus assidûment que d'ordinaire. L'usage de plusieurs moyens didactiques (vidéo, présentation powerpoint, tableau noir) d'une part et le fait de rendre les élèves acteurs de la leçon d'autre part, ont permis de maintenir l'intérêt des élèves pendant les 45 minutes de l'activité. Le principe d'inertie et son application à des cas simples semblent être acquis par les élèves. En revanche, nous doutons qu'un véritable changement de conceptions ait eu lieu. Pour cela, il aurait été sans doute nécessaire d'y consacrer un temps plus conséquent et de réinvestir ces premiers acquis lors d'activités supplémentaires. En l'occurrence, comme l'indiquent Robardet et Guillaud (1997), il aurait été bénéfique de confronter la théorie et l'expérience en associant à la séquence une démonstration en classe (mobiles auto-porteurs, par exemple) ou au travers d'une séance de TP.

## 5. Bibliographie

amasci.com, Children's Misconceptions about Science, Répéré à <http://amasci.com/miscon/opphys.html>

Astolfi, J.-P. (1993). Placer les élèves en «situation-problème»? , *Probio-revue*, 16(4).

Astolfi, J.-P (1997). Mots-clés de la didactique des sciences : repères, définitions, bibliographies, De Boeck Université .

Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin.

Bacon, R. (1266). *Opus majus*.

Bernon, Cours et TP de Physique- Répéré à <http://julien.bernon.free.fr/seconde/physique.html>

Brault Foisy, L.-M. et Masson, S. (2012). Faut-il apprendre à inhiber ses préconceptions pour apprendre la physique mécanique? *Spectre*, 42, 18-21.

Clement, J. (1982). *Students' preconceptions in introductory mechanics*. *American Journal of Physics*, 50, 66–71.

Coppens, N. (2007). *Le suivi des conceptions des lycéens en mécanique : développement et usages d'exercices informatisés*. Université Paris 7, thèse de doctorat.

Duit, R. (2009). Bibliography. Students' alternative frameworks and science education. Répéré à <http://archiv.ipn.uni-kiel.de/stcse/>

De Vecchi, G. et Giordan, A. (1994). *L'enseignement scientifique. Comment faire pour que ça marche ?*, Nice, Z'éditions.

Develay, M. (1993). Pour une épistémologie des savoirs scolaires, *Pédagogie collégiale*, 7(1), 35 – 40.

Duplessis, P. (2008). Les conceptions des élèves au centre de la didactique de l'information ?. Communication présentée au séminaire du GRDCI, Nantes, France.

Dykstra, D. I., Boyle, C. F. , Monarch, I. A. (1992 b). "Studying conceptual change in learning physics." *Science Education* 76(6): 615-652.

Gunstone, R. (1987). Student understanding in mechanics: a large population survey. *American Journal of Physics*, 55 (8), 691-695

Honorez, M. (2000). L'acquisition des compétences terminales en sciences, *Informations pédagogiques*, 50, 9 – 28.

- Johsua, S. et Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.
- Lindemann, E. (1999). *Mécanique: une introduction par l'histoire de l'astronomie*, De Boeck Supérieur.
- Maroy, C. (2005). Les évolutions du travail enseignant en Europe. Facteurs de changement, incidences et résistances. *Les Cahiers de recherche en éducation et formation*, 42, 1 – 35.
- Meirieu, P. (1987). Guide méthodologique pour l'élaboration d'une situation- problème, In *Apprendre... oui, mais comment*, ESF, Paris, 165- 180.
- Mildenhall, P.T. et Williams, J.S. (2001). Instability in students' use of intuitive and Newtonian models to predict motion: the critical effect of the parameters involved. *International Journal of Science Education*, 23(6), 643-660.
- Pasquini, R. *Pratiques d'enseignement et d'évaluation au service des apprentissages*, cours HEP printemps 2015
- Piaget, J. (1975). *L'équilibration des structures cognitives, problème central de développement*. Etudes d'épistémologie génétique XXXIII, P.U.F., Paris
- Pégase, Un guide pour l'apprentissage des sciences et leur enseignement, Référent à <http://pegase.ens-lyon.fr>
- Robardet, G. (1995) Situations-problèmes et modélisation ;l'enseignement en lycée d'un modèle newtonien de la mécanique. *Didaskalia*, 7, 123-149.
- Robardet, G. et Guillaud, J.-C. (1997) *Éléments de didactique des sciences physiques : de la recherche à la pratique : théories, modèles, conceptions et raisonnement spontané*. Paris, P.U.F..
- Verhaeghe, J.-C., Wolfs, J.-L., Simon, X., Compère, D. (2004). *Pratiquer l'épistémologie, un manuel d'initiation pour les maîtres et formateurs*, De Boeck Supérieur.
- Viennot, L., (1976). Intuition et formalisme en dynamique élémentaire, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 587.
- Viennot, L. (1978). Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire. *Revue française de Pédagogie*, vol. 45, 16-24.
- Viennot, L. (2006). *Raisonnement en physique. La part du sens commun*. Bruxelles, De Boeck (3<sup>ème</sup> tirage).
- Vygotski, L. (1997). *Pensée et Langage*, éditions La Dispute.
- Webphys.com, Liste de fausses conceptions. Repéré à <http://bdp.ge.ch/webphys/enseigner/situations/html/listefaussesconceptions.html>

## 6. Annexes

### 6.1. QCM – Prétest en mécanique - 1M

Avez-vous déjà étudié la notion de force au collège ?       Oui                               Non

Avez-vous déjà étudié les lois de Newton au collège ?       Oui                               Non

Quelle est votre OS au gymnase ? .....

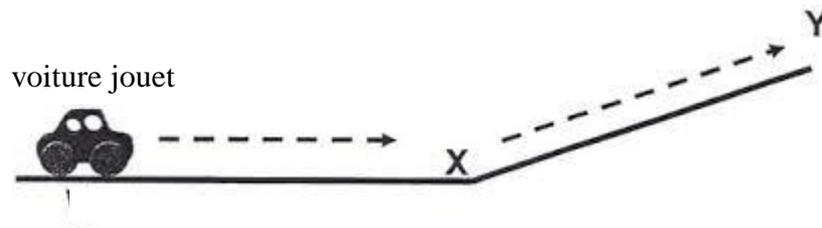
#### **Exercice n°1 :** Vrai-Faux.

Indiquez si les affirmations suivantes vous semblent vraies (V) ou fausses (F).

- F   1. Pour maintenir un objet en mouvement, il faut nécessairement lui appliquer une force.
- F   2. Pour qu'un caddie, que l'on pousse dans les allées du magasin, roule de plus en plus vite, il faut le pousser de plus en plus fort.
- F   3. Une voiture est à l'arrêt parce qu'aucune force n'agit sur elle.
- F   4. Une fusée lancée dans l'espace où aucune force n'agit sur elle a besoin d'une force constante produite par son réacteur pour assurer son mouvement
- F   5. Sur une surface plane horizontale, sans forces extérieures, une bille en mouvement finira forcément par ralentir puis s'arrêter.
- F   6. Quand un joueur de tennis renvoie une balle à son adversaire, la force exercée par la raquette sur la balle lors de l'impact avec celle-ci, continue à agir sur la balle pour la maintenir en mouvement.

### Exercice n°2 :

On pousse brièvement une voiture jouet en bas d'un plan incliné de manière à la faire monter le long de la pente (voir dessin). Après avoir lâché la voiture, celle-ci monte seule le long de la pente (de X vers Y), atteint son plus haut point (Y) puis redescend (de Y vers X). Les frottements entre les roues de la voiture et le plan incliné sont si faibles que l'on peut les ignorer.



On considère les 3 situations suivantes :

  A   1. Après avoir été poussée, la voiture monte seule le long de la rampe (de X vers Y)

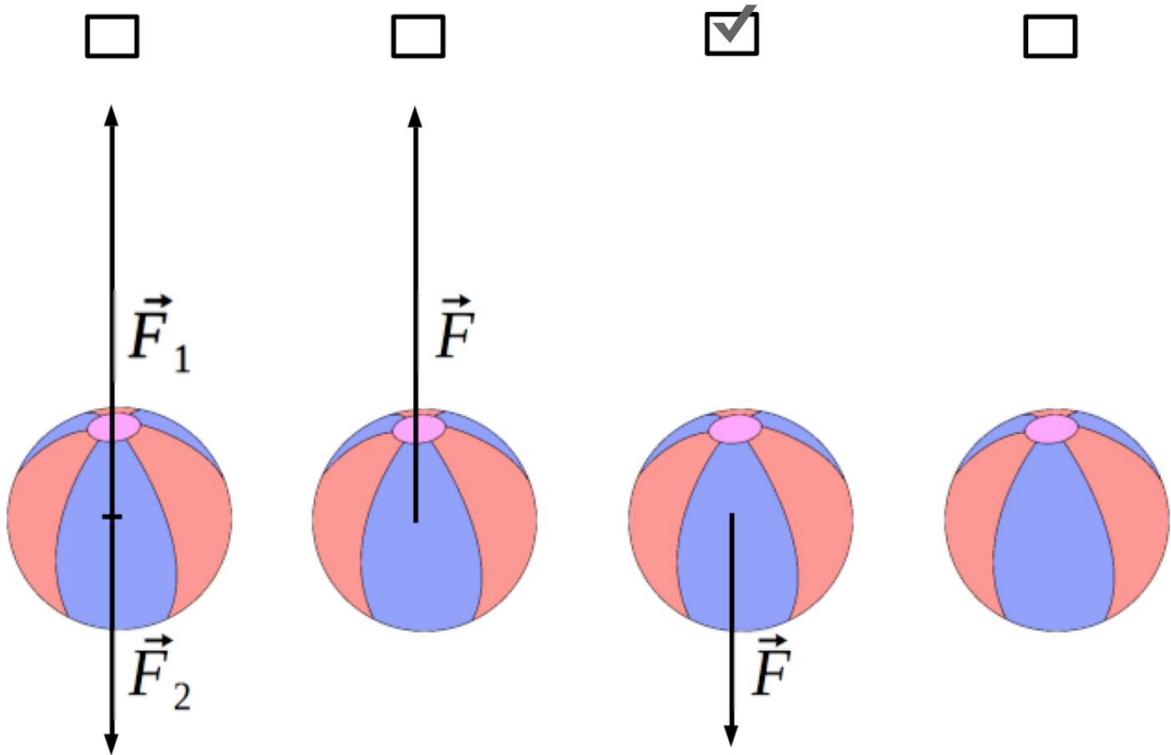
  A   2. La voiture atteint son point le plus haut (Y).

  A   3. Après avoir atteint le sommet, la voiture redescend le long de la rampe (de Y vers X).

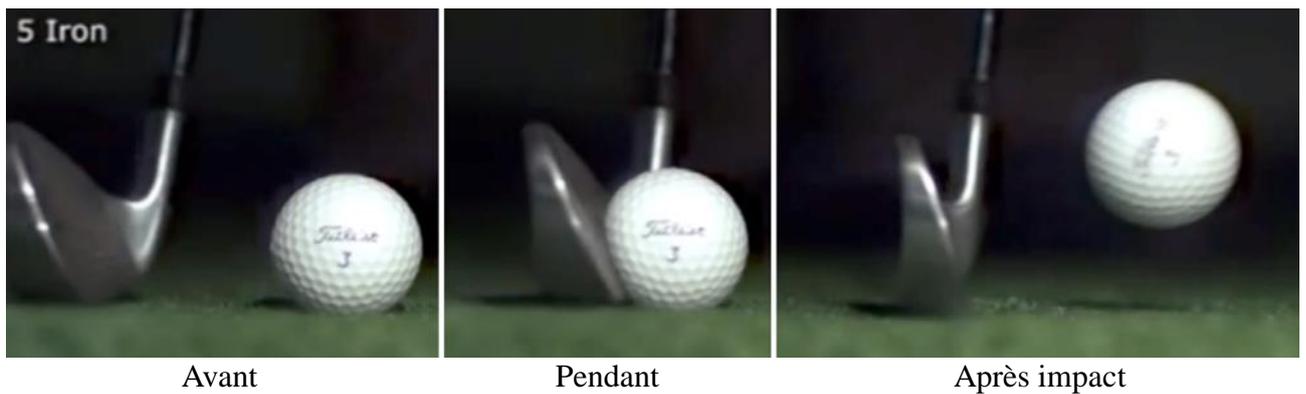
Pour chaque situation, choisissez, parmi les propositions suivantes (A à G) laquelle décrit le mieux la force résultante agissant sur la voiture jouet. Indiquez votre réponse (A, B, C, D, E, F ou G) ci-dessus, devant la situation décrite (1, 2 et 3).

- A. La force résultante est constante et dirigée vers le bas de la rampe.
- B. La force résultante augmente (son intensité augmente) et est dirigée vers le bas de la rampe.
- C. La force résultante diminue (son intensité diminue) et dirigée vers le bas de la rampe.
- D. La force résultante est nulle.
- E. La force résultante est constante et dirigée vers le haut de la rampe.
- F. La force résultante augmente (son intensité augmente) et est dirigée vers le haut de la rampe.
- G. La force résultante diminue (son intensité diminue) et dirigée vers le haut de la rampe.

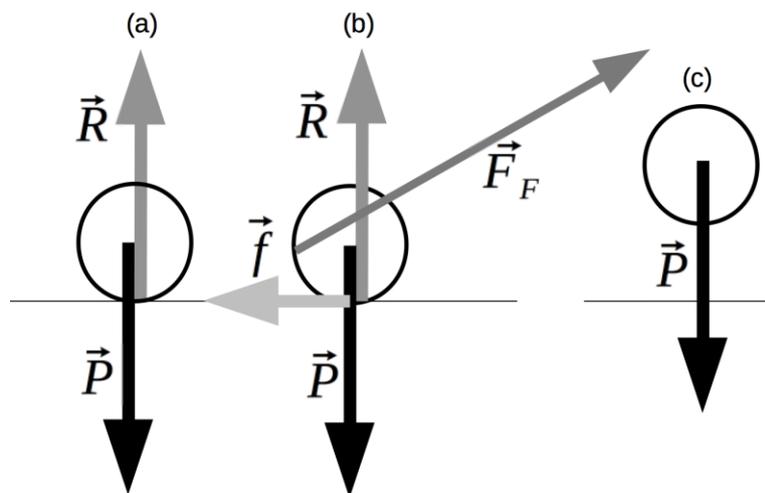
**Exercice n°3 :** Un enfant lance une balle verticalement vers le haut. Quelle est la situation correcte concernant la ou les forces agissant sur la balle lorsqu'elle monte ? (Cochez la bonne réponse)



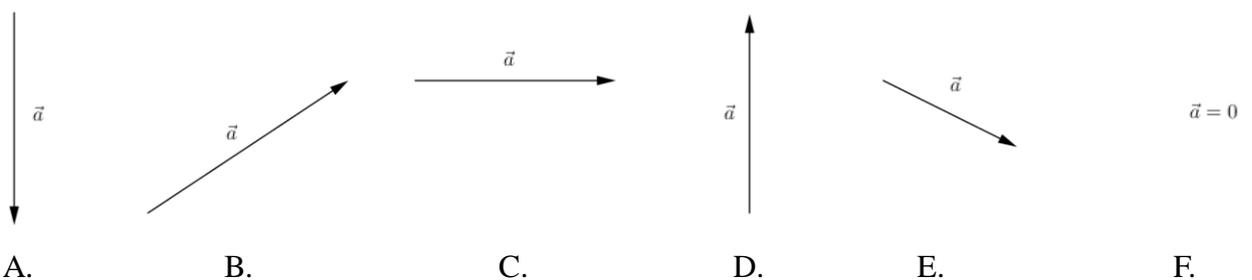
**Exercice n°4:** Voici une balle de golf avant, pendant et après l'impact.



1. Représentez directement sur les photos par un vecteur la ou les forces qui agissent sur la balle pour chaque situation.



2. Choisissez parmi les 6 vecteurs dessinés ci-dessous celui qui représente l'accélération de la balle à chaque situation.



Réponses :

Avant impact : .....F..... Pendant l'impact : .....B..... Après l'impact : .....A.....

## 6.2. Planification de la séquence

Thème	Le principe d'inertie (1 <sup>ère</sup> loi de Newton)	classe	1MDF
		durée	45 min
<b>Situation dans la planification annuelle</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cinématique (def. MRU, MRUA, chute libre, ballistique) Astronomie (rotation et révolution de la Terre - coordonnées céleste et repérage des objets célestes - les saisons – galaxie voie lactée – éclipses et phase de la lune)</li> <li>2. Dynamique (définition et présentation des différents types de forces, diagramme de forces, principe d'action-réaction)</li> </ol>		
<b>Situation dans le sujet (dynamique)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. les effets et caractéristiques d'une force (représentation vectorielle)</li> <li>2. les différents types de forces</li> <li>3. le diagramme de forces</li> <li>4. le principe d'action-réaction</li> <li>5. équilibre d'un solide soumis à deux forces colinéaires</li> <li>6. notion de résultante de forces</li> </ol>		
<b>Prérequis à la séquence</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cinématique: mouvement rectiligne, uniforme, accéléré</li> <li>- Forces : définitions, représentation vectorielle, les différents types de forces.</li> <li>- Bilan et diagramme de forces</li> <li>- Résultante de forces (addition vectorielle)</li> <li>- Equilibre statique d'un solide soumis à deux forces colinéaires</li> </ul>		
<b>Objectifs enseignant</b>	<p>Objectif principal : retourner les préconceptions des élèves et établir le principe d'inertie. Objectif secondaire : exercer les élèves à faire un bilan des forces s'exerçant sur une corps.</p>		
<b>Objectifs élèves</b>	Savoir énoncer et appliquer le principe d'inertie.		
<b>Difficultés/préconceptions</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- confusion mouvement/force : si un corps est en mouvement, il y a force</li> <li>- notion d'impétus</li> <li>- mauvaise maîtrise des prérequis (diagramme des forces)</li> </ul>		
<b>Moyens/matériel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beamer / Tableau noir / Vidéo curling (Suisse-Canada) / bille</li> </ul>		

Etapas/objectifs de la séquence	Durée	Activité prof / objectif poursuivi	Activité/Objectif élève [•] Questions, difficultés, points à souligner
<b>1 INTRODUCTION DE LA SEQUENCE</b>			
Introduction de la séquence		Présente l'objectif de la séquence : →répondre à la question (inscrite au TN/beamer) : <b>« Un corps soumis à des forces qui se compensent peut-il se déplacer ? »</b> [•] ! à la formulation de la question : confusion entre force pour mettre en mouvement et force pour maintenir en mouvement	Lisent et réfléchissent à la question
		Faire sondage main levées oui – non	Répondent
décomplexer les élèves / leur réponse intuitive  donner une perspective historique	5'	Donner la réponse (sans explication)  Mentionner les résultats du questionnaire et son objectif (révéler leurs idées reçues sur le lien entre force et mouvement)  Expliquer que la réponse erronée était attendue car elle suit le sens commun (ex : je dois pousser sur le livre pour le faire avancer) ;  ⇒ survol historique de la physique d'Aristote à la physique de Galilée	Ecoutent
Accroche & présentation du but de l'activité		Présenter l'activité « curling » et son objectif: analyser le mouvement d'une pierre de curling afin d'établir la relation entre force et mouvement (en suivant un raisonnement proche de celui de Galilée et de son plan incliné)	

2. ACTIVITE CURLING			
2.1 IDENTIFICATION DES DIFFERENTES PHASES DU MOUVEMENT DE LA PIERRE			
		Présenter la 1 <sup>ère</sup> étape de l'activité: distinguer les différentes phases du mouvement de la pierre dans la vidéo	
Appropriation du problème de l'activité	5'	Projeter la vidéo (extrait de la finale des championnats du monde de curling 2015 Suisse-Suède).	Les élèves visionnent la video et discutent oralement des différentes phases possibles
Appropriation du problème de l'activité		Interroger les élèves, écrire leurs réponses (phase 1, 2, 3) au TN  Distribuer la feuille d'activité et les laisser en prendre connaissance	Les élèves prendre connaissance de la feuille d'activité et recopient la réponse
2.2 POUR CHAQUE PHASE, QUELLES FORCES ? QUEL MVT ?			
		Présenter la 2 <sup>ème</sup> étape de l'activité: tracer le diagramme des forces, la résultante et identifier la nature du mouvement	
mobiliser la notion d'équilibre : corps immobile ssi $\sum \vec{F} = \vec{0}$	5'	<p>Compléter avec les élèves la <b>PHASE 1</b> (pierre immobile) à titre d'exemple</p> <p>Noter l'<b>observation 1</b> au tableau :  <i>Si un objet est immobile, alors les forces qui s'exercent sur lui se compensent : <math>v = 0 \Rightarrow \sum \vec{F} = \vec{0}</math></i>  <b>[•]</b>souligner que <math>v = 0 \Rightarrow \sum \vec{F} = \vec{0} \neq \sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow v = 0</math></p>	<p>Les élèves échangent oralement pour aboutir à une conclusion commune qu'ils notent sur la fiche d'activité</p> <p>Réponses attendues :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Vitesse ? nulle</li> <li>· Trajectoire ? pas de déplacement</li> <li>· Diagramme des forces ? Poids et Force normale se compensent</li> </ul>

laisser les élèves face au savoir	10'	Demander aux élèves de continuer seuls l'activité pour les <b>PHASE 2 et 3</b> , les laisser travailler et circuler dans les rangs	Par groupe de 2, les élèves recherchent les réponses aux questions, les rédigent sur leur feuille d'activité
		<p><b>PHASE 2</b></p> <p>Discuter leurs réponses et institutionnaliser la réponse attendue(TN/beamer)</p> <p>[●] l'accélération de la pierre n'est pas évidente sur la vidéo <math>\Rightarrow</math> guider les élèves (vitesse nulle au départ, puis elle avance <math>\rightarrow</math> vitesse augmente)</p> <p>[●] les élèves ne pensent pas aux frottements <math>\Rightarrow</math> guider (parler du balayage, glissement entre 2 surfaces, réaction de la glace)</p> <p>Noter l'<b>observation 2</b> au tableau :</p> <p><i>La pierre est en mouvement rectiligne accéléré (<math>a &gt; 0</math>);</i></p> <p><i>les forces ne se compensent pas : <math>\sum \vec{F} \neq \vec{0}</math></i></p>	<p>Réponses attendues :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <i>Vitesse ? augmente</i></li> <li>· <i>Trajectoire ? trajectoire rectiligne dans le sens de la résultante (sens de la force de poussée)</i></li> <li>· <i>Diagramme des forces : Poids et réaction se compensent + poussée dans le sens du mouvement + frottements dans le sens opposé (&lt;poussée)</i></li> </ul> <p>Après discussion, les élèves recopient les réponses sur leur feuille d'activité</p>
	10'	<p><b>PHASE 3</b></p> <p>Discuter leurs réponses et institutionnaliser la réponse attendue</p> <p>[●]les élèves dessinent une force de poussée dans le sens du mouvement (impétus) <math>\Rightarrow</math> guider : force de poussée = force de CONTACT</p>	<p>Réponses attendues :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <i>Diagramme des forces : Poids et réaction se compensent + frottements -&gt; situation similaire à la précédente mais la résultante dans sens opposé au mvt</i></li> <li>· <i>Trajectoire ? trajectoire rectiligne dans le sens opposé à la résultante</i></li> </ul>

	<p>[•] Insister sur le fait que la situation est similaire à la phase 2 (<math>\sum \vec{F} \neq 0</math>) mais ici la résultante est dans le sens opposé au mouvement <math>\Rightarrow</math> la pierre freine et s'arrête</p> <p>Noter l'observation 3 au tableau :</p> <p><i>La pierre est en mouvement rectiligne accéléré (<math>\mathbf{a} &lt; \mathbf{0}</math>); les forces ne se compensent pas : <math>\sum \vec{F} \neq \mathbf{0}</math></i></p>	<p>Vitesse ? pierre freine à cause des frottements ; v diminue.</p> <p>Après discussion, les élèves recopient les réponses sur leur feuille d'activité</p>
<b>2.3. QUE SE PASSERAIT-IL SANS FROTTEMENT ?</b>		
<p>Guider les élèves vers la formulation du principe d'inertie</p>	<p>Demander aux élèves de considérer le cas idéal où il n'y a pas de frottements ? (porte d'entrée possible : « pourquoi les joueurs balayent la glace ? ») :</p>	<p>Les élèves échangent oralement</p>
	<p>1. Construire avec les élèves le diagramme des forces en les interrogeant</p>	<p>Réponses attendues :</p> <p><i>on supprime les frottements : ne restent que le poids et la réaction qui se compensent</i></p> $\sum \vec{F} = \vec{0}$
	<p>2. Questionner les élèves sur la nature du mouvement de la pierre (voir questions ci-contre) et noter le raisonnement au TN</p> $\left. \begin{array}{l} \underline{\underline{a > 0?}} \\ \underline{\underline{a < 0?}} \end{array} \right\} \Rightarrow a = 0 \Rightarrow v = \text{constante}$	<p>Les élèves échangent oralement et notent les réponses sur leur feuille d'activité</p> <p>Réponses attendues :</p> <p>- <i>Est-ce que la pierre accélère ? non, il n'y a plus de force dans le sens du mouvement</i></p>

	<p>3. Indiquer que la trajectoire reste rectiligne et demander aux élèves si elle pourrait être différente (circulaire par ex.)</p> <p>[•] difficultés si le MCU  ⇒ faire dans ce cas une démo avec une bille (« essayer de faire prendre un virage à une bille »)</p> <p>[•] certains élèves peuvent objecter que la pierre peut « curler » ⇒ expliquez avec des arguments qualitatifs l'origine du curl et rappelle qu'on néglige les frottements</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Est-ce que la pierre freine ? non, il n'y a plus de force opposée au mouvement</li> </ul> <p><u>Conclusion</u> : sa vitesse est constante</p> <p>Les élèves échangent oralement et notent les réponses sur leur feuille d'activité</p> <p>Réponses attendues :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Une fois lâchée, la trajectoire de la pierre peut-elle changer ?</li> </ul> <p>non, pour modifier la direction, il faudrait appliquer une force or <math>\sum \vec{F} = \vec{0}</math></p>
<p>Confronter préconceptions vs connaissances scientifiques</p>	<p>Récapituler en notant l'observation 4 au tableau</p> <p><i>La pierre est soumise à des forces qui se compensent</i>  <math>(\sum \vec{F} = \vec{0})</math>, son mouvement est rectiligne uniforme</p> <p>[•] Faire remarquer aux élèves que l'on a répondu à la question initiale : « <b>Un corps soumis à des forces qui se compensent peut-il se déplacer ?</b> »</p> <p>⇒ Oui, la pierre se déplace alors que les forces qui s'exercent sur elle se compensent !</p>	<p>Après mise en commun, les élèves recopient les réponses sur leur feuille d'activité</p>

### 3. ENONCER LE PRINCIPE D'INERTIE ?

Institutionnalisation	3'	<p>Récapituler les observations 1, 2, 3, 4 sous forme symbolique :</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. <math>v = 0 \Rightarrow \sum \vec{F} = 0</math></li><li>2. <math>a &gt; 0 \Rightarrow \sum \vec{F} \neq 0</math></li><li>3. <math>a &lt; 0 \Rightarrow \sum \vec{F} \neq 0</math></li><li>4. <math>v = cste \Rightarrow \sum \vec{F} = 0</math></li></ol> <p>Enoncer formellement le principe d'inertie</p>	Les élèves écrivent la conclusion de l'activité sur leur feuille
-----------------------	----	---	--

### 4. QUIZZ, EXERCICES DE REINVESTISSEMENT si le tps le permet (2 périodes successives)

### 6.3. Feuille d'activité « curling »

#### UN CORPS PEUT-IL ETRE EN MOUVEMENT SANS ETRE SOUMIS A DES FORCES ?

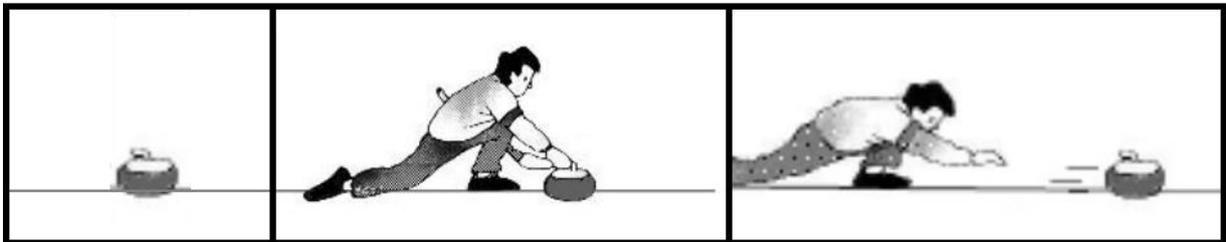
Etude du mouvement d'une pierre de curling (version enseignant)



Le curling est un sport de précision pratiqué sur la glace avec des pierres en granite, taillées et polies selon un gabarit international. Le but est de placer les pierres le plus près possible d'une cible circulaire dessinée sur la glace, appelée la *maison*. Il est généralement admis que ce jeu a été inventé au XVI<sup>e</sup> siècle en Écosse, où il était pratiqué sur des lacs gelés. En 2014 et 2015, l'équipe féminine suisse a remporté les championnats du monde de curling.

#### 1. Quelles sont les différentes phases du mouvement de la pierre ?

Pour faciliter notre étude, on considère que le lanceur lâche la pierre sans la faire tourner.-même



**Phase 1 :** l'attente (pierre immobile)

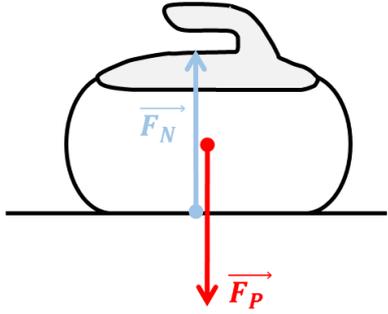
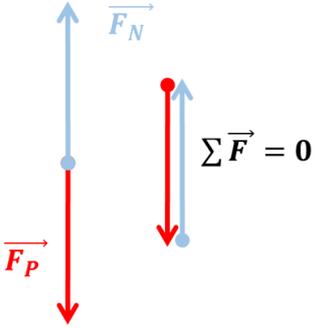
**Phase 2 :** la poussée ; le joueur pousse le palet devant lui, en suivant une trajectoire rectiligne

**Phase 3 :** du lâcher de la pierre jusqu'à son arrêt

(**Phase intermédiaire :** balayage)

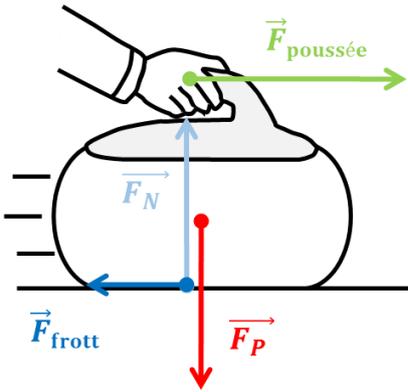
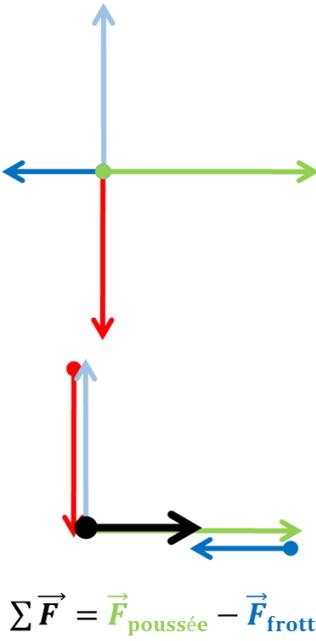
#### 2. Durant chaque phase, quelles sont les forces qui s'exercent sur la pierre et quel est son mouvement?

### Phase 1 : l'attente

Représentez les forces sur le schéma	Représentez la force résultante $\sum \vec{F}$	vitesse ?	trajectoire ?
		nulle $v=0$	aucune repos

**Observation 1:** pierre au repos ( $v=0$ ) ; elle est soumise à 2 forces qui se compensent. ( $\sum \vec{F} = 0$ )

### Phase 2 : la poussée

forces	force résultante $\sum \vec{F}$	vitesse ?	trajectoire ?
		augmente	rectiligne (dans le sens de $\sum \vec{F}$ )

**Observation 2 :** la pierre en translation rectiligne sous l'action de la force de poussée exercée par le joueur et la force de frottement exercée par la glace. Ces 2 forces ne se compensent pas: la résultante est non nulle ( $\sum \vec{F} \neq 0$ ). La vitesse de la pierre augmente : son mouvement est rectiligne accéléré.

**Phase 3 : depuis le lâcher de la pierre jusqu'à son arrêt**

forces	force résultante $\sum \vec{F}$	vitesse ?	trajectoire ?
	$\sum \vec{F} = \vec{F}_{\text{frott}}$	diminue	rectiligne (dans le sens opposé à $\sum \vec{F}$ )

**Observation 3 :** la pierre ralentit (accélération négative) sous l'action des forces de frottements exercée par la glace sur la pierre : la résultante est non nulle ( $\sum \vec{F} \neq 0$ ), égale à la force de frottement et dirigé dans le sens opposé au mouvement.

**3. Que se passerait-il sans forces de frottement ?**

**Pour la phase 2 sans frottements :** la pierre accélérerait plus vite (l'intensité de la force résultante augmente par rapport au cas avec frottement).

**Pour la phase 3 sans frottement**

forces	force résultante $\sum \vec{F}$	vitesse ?	trajectoire ?
	$\sum \vec{F} = 0$	constante!	reste rectiligne

- Sans frottement, comment évolue la **vitesse** de la pierre ?
  - la pierre n'accélère pas durant cette phase : il n'y a plus de force (de poussée) dans le sens du mouvement
  - elle ne freine pas : pas de frottements  
 $\Rightarrow$  la vitesse de la pierre est constante
- Quelle est sa trajectoire ? rectiligne dans la direction de la force de poussée au moment du lâcher de la pierre
- La trajectoire pourrait-elle être différente (circulaire par ex.) si le joueur avait lancé la pierre différemment durant la phase 2 ?  
 non, pour modifier la direction, il faudrait appliquer une force or  $\sum \vec{F} = 0$

**Observation 4 :** la pierre est soumise à des forces qui se compensent ( $\sum \vec{F} = 0$ ), son mouvement est rectiligne uniforme (la vitesse est constante et le sens du mouvement reste le même)

### Récapitulons :

- si la pierre est au repos  $\Rightarrow \sum \vec{F} = 0$
- si la pierre est en MRU  $\Rightarrow \sum \vec{F} = 0$  (les forces appliquées au corps se compensent)
- si la pierre est en mouvement accéléré (il accélère, freine, ou change de direction)  $\Rightarrow \sum \vec{F} \neq 0$

### **Le principe d'inertie (1<sup>ère</sup> loi de Newton) :**

" Si un corps est soumis à des forces qui se compensent, il persévère dans son état de repos s'il était au repos, ou de mouvement rectiligne uniforme s'il était en mouvement."

soit :  $\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow$  **MRU ou repos.**

$\sum \vec{F} \neq 0 \Rightarrow$  **Mouvement accéléré (la norme ou la direction du vecteur change)**

## Exercices sur la première loi de Newton

### Exercice 1

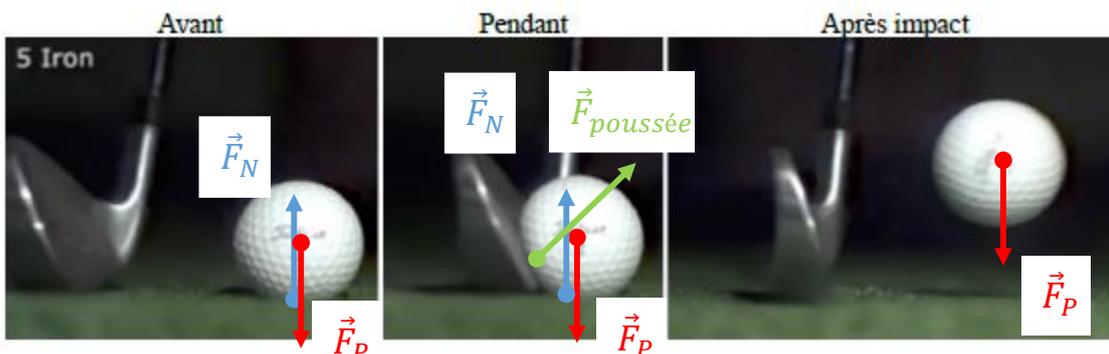
Dans chacune des situations décrites on s'intéresse au mouvement de translation d'un objet ou d'un personnage supposé indéformable dans le référentiel terrestre. D'après chaque description du mouvement vous devez pouvoir dire si l'objet ou le personnage sont soumis ou non à un ensemble de forces qui se compensent :

- a) Un skieur descend une piste rectiligne, sa vitesse augmente de 2 m/s toutes les secondes.  
*Le skieur accélère ( $a=2\text{m/s}^2$ ), donc d'après le principe d'inertie, les forces qui agissent sur le skieur ne se compensent pas.*
- b) Un skieur remonte une piste grâce au « tire-fesse » qui le tracte en ligne droite à vitesse constante.  
*Le skieur se déplace à vitesse constante et en ligne droite (MRU), donc d'après le principe d'inertie, les forces qui agissent sur le skieur se compensent.*
- c) Une voiture décrit un virage à la vitesse de 80 km/h.  
*La voiture se déplace à vitesse constante mais change de direction donc d'après le principe d'inertie, les forces qui agissent sur la voiture skieur ne se compensent pas.*
- d) Un palet de hockey sur glace décrit une trajectoire rectiligne à vitesse constante.  
*Le mouvement du palet est un mouvement rectiligne uniforme (MRU) donc d'après le principe d'inertie, les forces qui agissent sur la voiture skieur se compensent.*

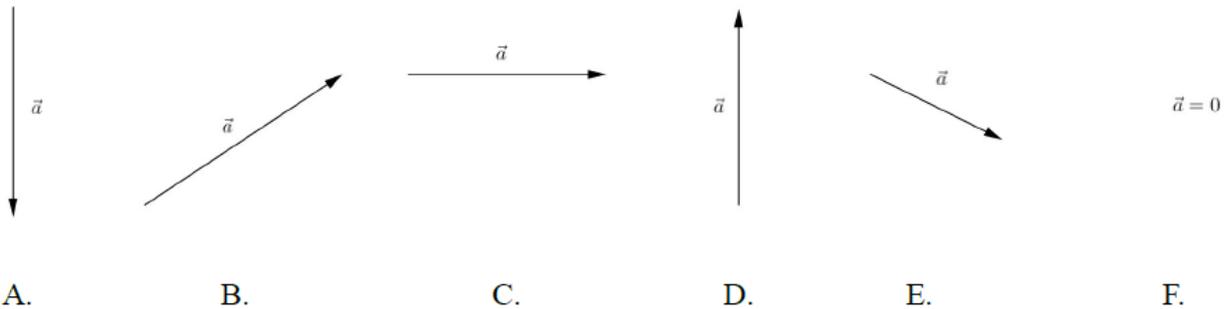
### Exercice 2

- a) Lors du tournage d'un film, un cascadeur se place sur le toit d'une voiture et s'y accroche de son mieux. La voiture démarre vivement.  
Qu'arrive-t-il au cascadeur ? Pourquoi ?  
*La voiture avance et le cascadeur se retrouve au sol. Avant le démarrage le cascadeur est immobile et donc soumis à 2 forces qui se compensent (sa vitesse est nulle. Pendant le démarrage, le cascadeur est soumis aux mêmes forces et, d'après le principe d'inertie, il conserve la même vitesse (nulle). Donc il quitte le toit du véhicule.*
- b) Le cascadeur est sur le toit de la voiture qui roule en ligne droite et à vitesse constante. Le conducteur freine vivement.  
Qu'arrive-t-il au cascadeur ? Pourquoi ?  
*Le cascadeur est projeté vers l'avant du véhicule. Avant le freinage, son mouvement est rectiligne uniforme, donc il est soumis à 2 forces qui se compensent. Pendant le freinage, les forces restent les mêmes et le cascadeur conserve la même vitesse (principe d'inertie). Donc il quitte le toit du véhicule vers l'avant.*

**Exercice 3 :** Voici une balle de golf avant, pendant et après l'impact.



- a) Représentez directement sur les photos par un vecteur la ou les forces qui agissent sur la balle pour chaque situation.
- b) Choisissez parmi les 6 vecteurs dessinés ci-dessous celui qui représente l'accélération de la balle à chaque situation



**Réponses :**

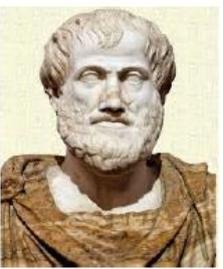
**Avant impact :** F , la balle est immobile (vitesse nulle, accélération nulle)

**Pendant l'impact :** B , la balle accélère (principe d'inertie : les différentes forces qui agissent sur la balle de golf ne se compensent pas donc elle accélère)

**Après l'impact :** A, la balle n'est soumise qu'à son propre poids (attraction de la Terre,  $\vec{F}_p$ ) et donc accélère dans la direction de cette force (vers le bas)

## 6.4. Présentation utilisée lors de la séquence « curling »

Un corps soumis à des forces qui se compensent  
peut-il se déplacer?



**Aristote** (4<sup>e</sup> av. JC)  
"Oui! il y a mouvement  
ssi il y a une force!"

2000 ans + tard!

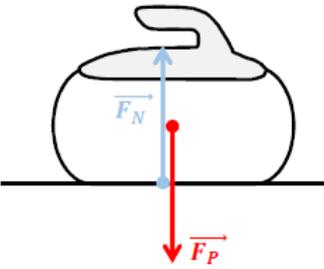
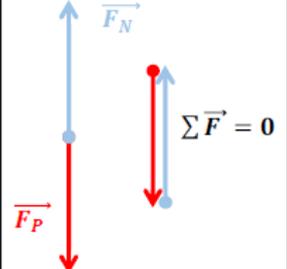


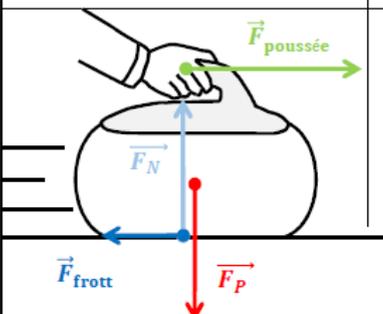
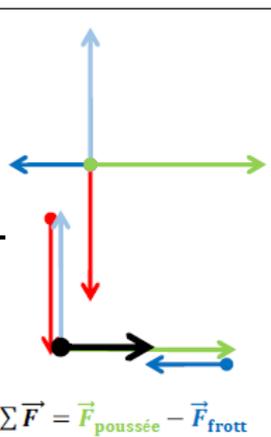
**Galilée** (16-17<sup>e</sup> ap. JC)  
principe d'inertie



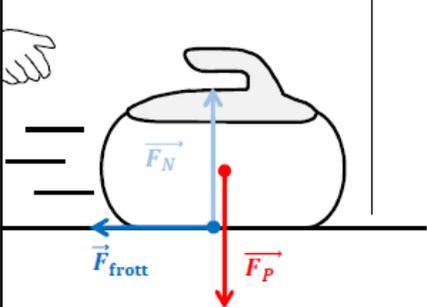
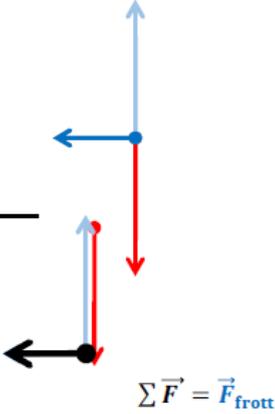
Etude du mouvement d'une pierre de curling



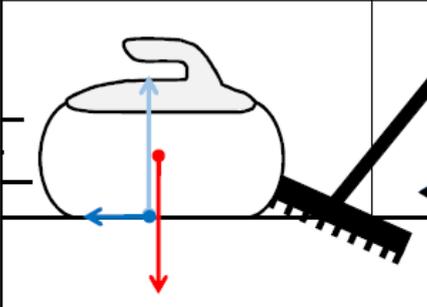
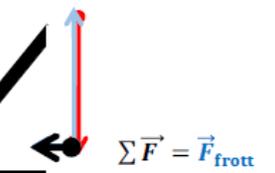
<b><u>Phase 1 : l'attente</u></b>			
Représentez les forces sur le schéma	Représentez la force résultante $\Sigma \vec{F}$	vitesse ?	trajectoire ?
		nulle $v=0$	aucune repos

<b><u>Phase 2 : la poussée</u></b>			
Représentez les forces sur le schéma	Représentez la force résultante $\Sigma \vec{F}$	vitesse ?	trajectoire ?
		augmente	rectiligne (dans le sens de $\Sigma \vec{F}$ )

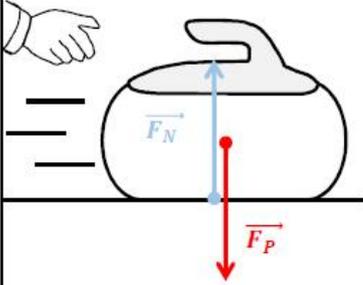
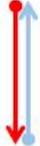
### Phase 3 : du lâcher jusqu'à l'arrêt

Représentez les forces sur le schéma	Représentez la force résultante $\Sigma \vec{F}$	vitesse ?	trajectoire ?
	 <p style="text-align: center;"><math>\Sigma \vec{F} = \vec{F}_{\text{frott}}</math></p>	diminue	rectiligne (dans le sens opposé de $\Sigma \vec{F}$ )

### Phase supplémentaire : le balayage

Représentez les forces sur le schéma	Représentez la force résultante $\Sigma \vec{F}$	vitesse ?	trajectoire ?
	 <p style="text-align: center;"><math>\Sigma \vec{F} = \vec{F}_{\text{frott}}</math></p>	diminue mais moins vite!	rectiligne (dans le sens opposé de $\Sigma \vec{F}$ )
Les frottements diminuent mais sont toujours là!			

## Que se passerait-il sans forces de frottement ?

forces	force résultante $\sum \vec{F}$	vitesse ?	trajectoire ?
	 $\sum \vec{F} = 0$	constante!	reste rectiligne

## QUIZZ

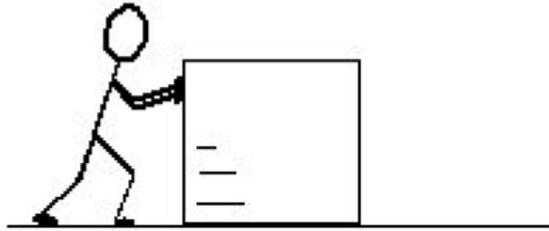
### Exercice n°1 : Vrai-Faux.

Indiquez si les affirmations suivantes vous semblent vraies (V) ou fausses (F).

- \_\_\_ 1. Pour maintenir un objet en mouvement, il faut nécessairement lui appliquer une force.
- \_\_\_ 2. Pour qu'un caddie, que l'on pousse dans les allées du magasin, roule de plus en plus vite, il faut le pousser de plus en plus fort.
- \_\_\_ 3. Une voiture est à l'arrêt parce qu'aucune force n'agit sur elle.
- \_\_\_ 4. Une fusée lancée dans l'espace où aucune force n'agit sur elle a besoin d'une force constante produite par son réacteur pour assurer son mouvement
- \_\_\_ 5. Sur une surface plane horizontale, sans forces extérieures, une bille en mouvement finira forcément par ralentir puis s'arrêter.
- \_\_\_ 6. Quand un joueur de tennis renvoie une balle à son adversaire, la force exercée par la raquette sur la balle lors de l'impact avec celle-ci, continue à agir sur la balle pour la maintenir en mouvement.

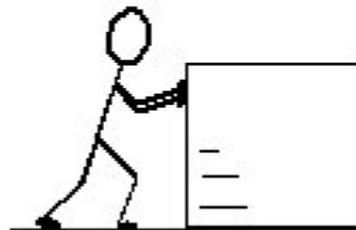
Un homme pousse une caisse. La résultante des forces qui s'exercent sur la caisse est nulle. Que peut-on dire de la vitesse de la caisse?

- elle est nulle
- elle augmente
- elle est constante
- elle diminue
- elle est soit nulle, soit constante, on ne sait pas



Un homme pousse une caisse. La caisse accélère. Que peut-on dire des forces qui s'exercent sur la caisse?

- elles se compensent
- elle ne se compensent pas
- l'intensité de la force de poussée est égale à celle de la force de frottement
- l'intensité de la force de poussée est supérieure à celle de la force de frottement



## 6.5. Evaluation sommative

**Exercice 1** Pour les différentes situations décrites ci-dessous, indiquez si les forces se compensent (entourez la réponse correcte : oui ou non) et justifiez votre réponse (en appliquant le principe d'inertie).

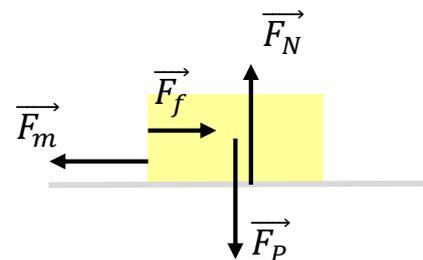
Situation	Les forces se compensent-elles ?	Justification :
<i>Un glaçon qui glisse sur une surface plane suivant un mouvement rectiligne uniforme.</i>	oui non	
<i>Un vélo qui prend un virage à vitesse constante.</i>	oui non	
<i>Une fusée qui décolle à la verticale.</i>	oui non	
<i>Un skieur qui descend une pente en ligne droite et en accélérant.</i>	oui non	
<i>Un hélicoptère qui s'élève verticalement en ligne droite à vitesse constante.</i>	oui non	

### **Exercice 3 (4pts) Vrai/Faux : Attention une mauvaise réponse annule une bonne réponse**

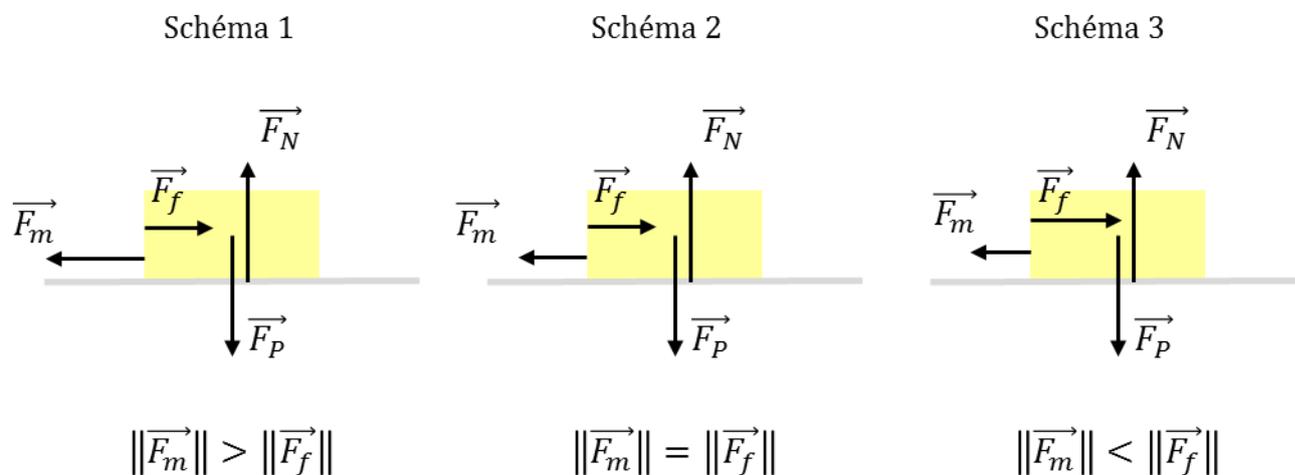
Le conducteur d'un véhicule roule en ligne droite sur une autoroute horizontale à vitesse constante

$v = 100 \text{ km/h}$ . A un moment donné, il débraye c'est à dire que le moteur n'entraîne plus les roues motrices (le véhicule est alors en 'roues libres'). Il constate alors que sa vitesse diminue. Pour comprendre cette diminution de vitesse, il dessine le schéma suivant dans lequel la voiture est représentée par un rectangle coloré et précise que :

- $\vec{F}_m$  ; la force motrice (exercée par le sol sur les roues motrices)
- $\vec{F}_f$  ; la force de frottement totale
- $\vec{F}_N$  ; la force normale (exercée par le sol sur les roues)
- $\vec{F}_P$  ; le poids de la voiture



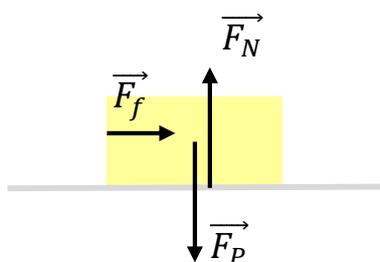
a) Sur les schémas 1, 2 et 3 ci-dessous, on considère trois valeurs différentes de la force motrice.



**Vrai ou Faux :**

- Pour rouler à vitesse constante, la valeur de la force motrice doit être supérieure à la valeur de la force de frottement.
- Le schéma 2 correspond au véhicule qui avance à vitesse constante.
- Les schémas 1, 2 et 3 correspondent au véhicule en mouvement dont le moteur est débrayé.
- la seule force qui tend à empêcher le mouvement est  $\vec{F}_f$ .

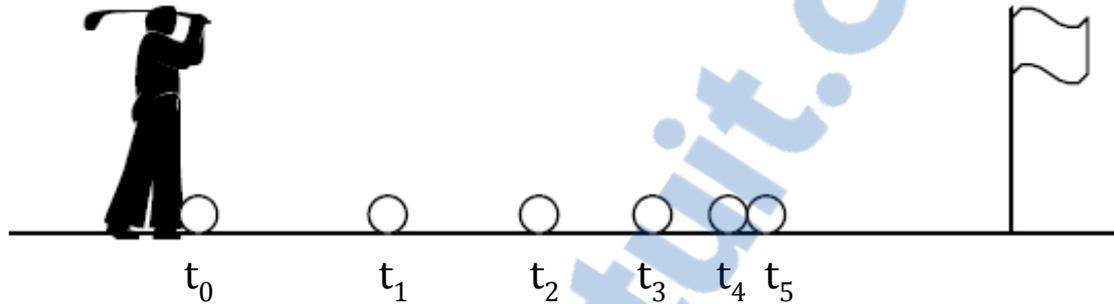
b) On considère le schéma suivant. **Vrai ou Faux:**



- le schéma correspond au véhicule à l'arrêt.
- le schéma correspond au véhicule qui roule à vitesse constante.
- le schéma correspond au véhicule qui ralentit
- le schéma correspond au véhicule en mouvement dont le moteur est débrayé

**Exercice 4 (6pts).**

Voici la photographie d'un tir de golf (les cercles représentent la position de la balle de golf à intervalles de temps réguliers)



Le golfeur a manqué son coup. Aidez-le à comprendre pourquoi la balle s'est arrêtée juste avant le trou.

- Examinez le schéma et déduisez-en la nature du mouvement de la balle de golf ?
- Comment varie la vitesse de la balle ?
- La balle est-elle soumise à des forces qui se compensent ? Pourquoi ?
- Quelles sont les forces qui s'appliquent sur la balle de golf ? Représentez-les sur le schéma (pour la position  $t_1$ )





## Résumé

Toutes les études montrent que les savoirs enseignés n'arrivent pas dans des cerveaux vides, mais se construisent sur ce que l'on sait déjà. Bien souvent, ces préconceptions diffèrent des concepts scientifiques et constituent en cela un obstacle majeur à l'apprentissage. L'enseignant doit donc être conscient des préconceptions de ses élèves et en tenir compte dans son enseignement afin de les dépasser. Ces préconceptions touchent toutes les disciplines, et en particulier, toutes les branches de la Physique.

Dans le cadre de ce travail, nous avons construit une séquence sur le principe d'inertie avec comme objectif de renverser les préconceptions les plus communes de nos élèves sur la mécanique newtonienne. Une première étape a consisté à prendre connaissance des préconceptions les plus répandues grâce à une recherche bibliographique. Une fois ce savoir acquis, nous nous sommes efforcés de mettre en évidence ces préconceptions chez nos élèves en leur soumettant un questionnaire à visée diagnostique. Afin de tenter de modifier ces conceptions, nous avons élaboré une séquence d'enseignement utilisant une situation mobilisante autour du curling à même de motiver les élèves et les amener sur le principe de l'inertie. Les élèves les moins intéressés par la Physique étaient bel et bien présents et ont participé plus assidûment que d'ordinaire. L'usage de plusieurs moyens didactiques (vidéo, présentation powerpoint, tableau noir) d'une part et le fait de rendre les élèves acteurs de la leçon d'autre part, ont permis de maintenir l'intérêt des élèves. Le principe d'inertie et son application à des cas simples semblent avoir été acquis par les élèves. En revanche, nous doutons qu'un véritable changement de conception ait eu lieu. Pour cela, il aurait été sans doute nécessaire d'y consacrer un temps plus conséquent et de réinvestir ces premiers acquis lors d'activités supplémentaires (démonstration en classe séance de TP avec mobiles autoporteurs).

**Préconceptions – Physique – situation-problème – principe d'inertie – forces – mouvement**