

**CYCLES 3 ET 4, LYCEE 4**  
**PHYSIQUE-CHIMIE**  
**CATEGORIE : REUSSIR EN MECANIQUE DU CYCLE 3 A**  
**LA TERMINALE**

## Réussir en mécanique du cycle 3 au cycle terminal du lycée

### TABLE DES MATIÈRES

La problématique de la réussite des élèves en mécanique .....	2
Obstacles liés aux conceptions erronées des élèves en mécanique .....	3
Progressivité des apprentissages ; l'exemple de l'« adhérence force-vitesse »	4
Des pratiques pédagogiques et des outils didactiques pour travailler sur les conceptions .....	6
Annexe 1 - La mécanique dans les programmes d'enseignement, du cycle 3 au cycle terminal du lycée .....	8
Annexe 2 : Conception d'une évaluation diagnostique sous forme d'un « double QCM » .....	15
Annexe 3 - Diagrammes objets-interactions et schémas éclatés .....	17
Annexe 4 : Liste des difficultés étudiées .....	22
Annexe 5 : Membres du GRIESP en 2016-2017 .....	23
Éléments bibliographiques .....	24

Les ressources de la collection Réussir en mécanique du cycle 3 au cycle terminal du lycée ont été produites par le Groupe de Recherche et d'Innovation pour l'Enseignement des Sciences Physiques (GRIESP) en 2016-2017<sup>1</sup>. Elles prolongent celles élaborées en 2015-2016 sur la modélisation et la place du langage mathématique en physique-chimie. L'analyse des productions d'élèves dans les activités testées a en effet permis d'identifier des difficultés spécifiques en mécanique, non seulement lors de la mise en œuvre des objets mathématiques mais aussi lors de la mobilisation des concepts et des lois propres à ce domaine de la physique. Ce constat est également régulièrement posé lors de l'analyse des résultats des élèves français dans les différentes évaluations nationales et internationales (TIMSS<sup>2</sup> et PISA<sup>3</sup>), dans les examens nationaux comme le baccalauréat, ainsi que par les professeurs de physique-chimie de l'enseignement secondaire et de l'enseignement supérieur.

<sup>1</sup> Voir les autres ressources produites par le groupe sur [le portail disciplinaire éducol dédié à la physique-chimie](#)

<sup>2</sup> Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS) est une enquête internationale sur les acquis scolaires

<sup>3</sup> Le programme international pour le suivi des acquis des élèves (PISA) est un ensemble d'études conduites par l'OCDE

Depuis septembre 2016, la formation des élèves en mécanique débute désormais dès le cycle 3 à travers le thème « Matière, mouvement, énergie, information » et se poursuit au cycle 4 avec le thème « Mouvement et interactions ». En classe de seconde, la mécanique est abordée par les thèmes de « La pratique du sport » et de « L'Univers », puis dans la partie « Comprendre » du cycle terminal de la filière S (confer annexe 1 : la mécanique dans les programmes du cycle 3 à la terminale).

Cette série de ressources, à destination des formateurs et des enseignants ou futurs enseignants, permet de travailler sur quelques-uns des obstacles identifiés chez les élèves en mécanique, depuis une première sensibilisation au collège jusqu'à une maîtrise plus experte au lycée.

Ce document en particulier propose :

- une présentation de la problématique de l'enseignement de la mécanique des cycles 3 et 4 et au lycée ;
- une explicitation des principales conceptions erronées des élèves en mécanique ;
- une progressivité dans les apprentissages du cycle 3 aux cycles terminaux des lycées généraux et technologiques, illustrée sur un exemple de conception erronée appelée « adhérence force-vitesse », selon laquelle chaque mouvement implique l'action d'une force dans la direction et le sens du mouvement ;
- l'utilisation d'un ensemble de pratiques pédagogiques et d'outils didactiques pour favoriser les apprentissages en mécanique et de les illustrer par des activités dont la plupart ont été testées en classe.

Il s'agit d'apporter des éléments pour élaborer une progression pédagogique permettant de mieux faire réussir les élèves dans le domaine de la mécanique. La bibliographie fournie permettra de prolonger la réflexion afin d'approfondir l'ensemble des composantes théoriques, didactiques, historiques et épistémologiques relatives aux contenus enseignés et de trouver d'autres exemples utiles pour l'enseignement de la mécanique.

## La problématique de la réussite des élèves en mécanique

Les obstacles à la réussite des élèves en mécanique sont de plusieurs natures : certains sont propres à la mécanique elle-même et d'autres, plus transversaux, sont liés à l'environnement des apprentissages et portent notamment sur les langages.

La mécanique, avant de parvenir aux lois de la mécanique newtonienne dont la maîtrise est attendue à la fin de l'enseignement secondaire, a connu pendant plusieurs siècles des théories qui ont abouti à des impasses, comme la dynamique aristotélicienne<sup>4</sup> et la théorie médiévale de l'impetus<sup>5</sup>, puis pendant près d'un siècle les prémices galiléens du principe d'inertie. Cette longue élaboration historique des modèles en mécanique fait percevoir la difficulté conceptuelle des lois de Newton et montre à quel point il faut se méfier des raisonnements spontanés qui amènent insidieusement vers les pièges aristotéliciens où force et vitesse sont liées, par exemple. Les élèves ou étudiants commettent des erreurs qui se retrouvent chez la plupart des individus et s'enracinent dans l'expérience quotidienne, lors de la construction intuitive d'interprétations d'évènements vécus. Bachelard écrit : « *L'adolescent arrive en classe de physique avec des connaissances empiriques déjà constituées : il s'agit non pas de lui faire acquérir une culture expérimentale mais bien de changer de culture expérimentale, de renverser les obstacles déjà amoncelés par la vie quotidienne.* »<sup>6</sup> Ceci est particulièrement vrai en mécanique car les notions telles que mouvement,

<sup>4</sup> Dynamique aristotélicienne : Selon Aristote, il existe deux types de mouvements, le mouvement naturel ramenant les objets vers leurs lieux d'origine, et le mouvement violent, impulsé par un objet à un autre. D'autre part, tout objet pour être déplacé doit être mû par une action, l'arrêt de l'action entraînant l'arrêt de l'objet.

<sup>5</sup> Théorie de l'impetus : l'action initiale lors du lancement d'une pierre vers le haut communique à la pierre un impetus, et c'est cet impetus qui entretient le mouvement. L'impetus perd peu à peu de sa force à cause de la pénétration de la pierre dans le milieu aérien, et une fois cet impetus épuisé, la pierre prend son mouvement naturel et tombe.

<sup>6</sup> Bachelard (1930) *Formation à l'esprit scientifique*

force, vitesse, accélération font partie de la vie courante avant leur introduction dans le cours de physique. Ainsi des conceptions physiquement erronées, inhérentes à la mécanique, ont été identifiées dans les recherches en didactique ; les plus importantes sont explicitées au chapitre 2.

Connaître ces conceptions, obstacles aux apprentissages, est essentiel pour les « renverser ». Cependant les changements conceptuels chez les élèves ne se produisent ni naturellement, ni rapidement et les représentations initiales ont tendance à resurgir lors d'études de situations nouvelles. La simple mise en évidence ne suffit pas et il est recommandé d'effectuer un travail, suivi sur plusieurs années, pour parvenir à mettre en place, de manière efficace, un raisonnement nouveau.

La présence de la mécanique dans les programmes, du cycle 3 à la terminale, avec une progressivité dans l'apprentissage des concepts, favorise ce travail au long cours, comme cela est proposé au chapitre 3 sur une des conceptions les plus tenaces déjà évoquée précédemment : l'« adhérence force-vitesse ». Un travail en équipe est à encourager pour permettre une progressivité dans la complexité des situations proposées, à l'aide d'évaluations diagnostiques, et pour proposer des outils didactiques communs, spécifiques à la mécanique ; ces pratiques et outils sont décrits au chapitre 4.

D'autres difficultés existent en lien avec les langages, en mécanique comme dans d'autres domaines de la physique.

Le vocabulaire scientifique construit en mécanique peut entrer en conflit avec un usage quotidien quand le mot n'a pas la même signification dans la vie courante et en physique ; par exemple le mot « force », fréquemment utilisé dans le langage quotidien, évoque souvent la puissance et renvoie à des propriétés intrinsèques de personnes, de groupes ou d'objets. D'autres polysémies existent et il est nécessaire de bien expliciter les différences aux élèves quand elles interviennent aussi au sein d'autres disciplines.

L'expérimentation et la modélisation des situations relevant de la mécanique mobilisent de nombreux langages scientifiques, en partage avec les mathématiques notamment. La lecture de la production du GRIESP sur le sujet<sup>7</sup> apportera des éclairages utiles sur la mise en œuvre de pratiques pédagogiques donnant du sens au formalisme, abordant les phénomènes de manière qualitative en privilégiant le langage naturel pour les décrire avant d'introduire progressivement le quantitatif avec les grandeurs et leurs interrelations. L'activation d'une diversité de registres y est à encourager pour favoriser l'acquisition d'un concept de mécanique et la capacité à le mobiliser dans des situations variées.

## Obstacles liés aux conceptions erronées des élèves en mécanique

Les recherches en didactique de l'enseignement de la physique ont été nombreuses dans le domaine de la mécanique, pour tous les niveaux d'enseignement et dans de nombreux pays. Toutes montrent que les élèves (ou les étudiants) ont des « idées » préalables sur le monde qui les entoure et que ces idées, appelées préconceptions, demeurent vivaces après enseignement, même parfois chez les experts que sont les enseignants. Ces préconceptions sont souvent erronées.

La mécanique porte en effet sur l'étude de phénomènes souvent très courants, intégrés à la vie quotidienne des élèves de façon tellement forte que le besoin d'explication rationnelle n'apparaît pas forcément.

Parmi les conceptions erronées, plusieurs ont été repérées. Dans le domaine de la cinématique, le mouvement d'un objet est ainsi perçu comme indépendant du référentiel, et la nécessité même de la définition du référentiel ne se pose pas spontanément aux élèves. Cette conception erronée vaut aussi pour la vitesse et l'accélération. Le repos est donc perçu comme un concept différent du

---

<sup>7</sup> GRIESP (2015-2016) [Expérimentation et modélisation, la place du langage mathématique en physique-chimie](#)

mouvement, alors qu'il n'en est qu'une forme, ce qui s'oppose aux conceptions « naturelles » développées par Aristote.

La notion de force, introduite en dynamique pour « expliquer » le mouvement des objets, donne lieu également à de nombreuses conceptions erronées, puisque la « force » renvoie à des idées liées à la vie courante. Ainsi, les élèves pensent souvent (sans l'exprimer de façon explicite) qu'une force ne peut être exercée que par un être vivant. La force peut être aussi associée à la puissance ou à l'énergie, dans un mélange de concepts qui renvoie là encore à des conceptions erronées.

Quant à l'action exercée sur un objet, elle nécessiterait, toujours selon ces conceptions erronées, un corps vivant pour être exercée ; cela rend difficilement concevable alors l'existence d'une force telle que la tension exercée par d'un fil, puisque le fil n'est pas « vivant ». La notion clé de modélisation d'une action par une force est parfois difficile à appréhender, d'autant que les élèves considèrent souvent que la force est une propriété intrinsèque de l'objet, tout comme son mouvement.

Au-delà de la définition de la force comme modélisation d'une action (ce qui suppose déjà une certaine capacité d'abstraction), le lien entre le mouvement et les forces qui s'exercent sur un objet est aussi délicat à appréhender. En effet, les élèves pensent spontanément que si un objet se déplace, il y a forcément une force qui le « pousse » et que cette force est alors nécessairement dans le sens du mouvement. Ces conceptions résistent à l'enseignement des deux premières lois de Newton.

Quant à la troisième loi de Newton, elle est souvent mal comprise et l'obstacle principal est la confusion entre les deux actions réciproques et le bilan des actions extérieures s'exerçant sur un système (d'où la nécessité impérative de bien définir le système, alors même que cette nécessité n'apparaît pas comme évidente aux élèves).

Dans l'enseignement de la mécanique, on observe parfois une absence de liens entre l'approche scalaire (via l'énergie) et l'approche vectorielle (via les lois de Newton) ; une meilleure articulation entre ces deux approches permet de construire chez l'élève une vision plus riche des relations entre les différents concepts (force, énergie, mouvement, position, vitesse,...) et ainsi de dépasser certains obstacles.

Enfin, il est clair que l'obstacle souvent rencontré est aussi de nature mathématique, cette question a été traitée par le GRIESP en 2015-2016, notamment sur le cas du principe d'inertie étudié en classe de seconde. De nouveaux exemples traitant de cette difficulté liée à l'usage du langage mathématique sont abordés dans le présent document.

## **Progressivité des apprentissages ; l'exemple de l'« adhérence force-vitesse »**

L'idée que pour maintenir un objet en mouvement, il est nécessaire d'exercer en permanence une force est profondément ancrée dans les représentations des élèves, voire même des étudiants. Vaincre ces représentations n'est pas simple, cela passe par une bonne compréhension et assimilation du principe d'inertie qui exige de la part des élèves un certain niveau de conceptualisation et d'abstraction. Cela conduit aussi, sur le plan pédagogique, à proposer régulièrement aux élèves, au cours de la scolarité, des situations de mécanique permettant de faire le point sur cette problématique. L'objectif de la ressource intitulée « adhérence force-vitesse » est de proposer des pistes qui permettent l'aborder depuis le cycle 4 jusqu'à la classe de terminale en complexifiant progressivement le contexte de travail.

### **Dès le cycle 4**

Il peut paraître surprenant d'aborder ce problème d'« adhérence force vitesse » dès le cycle 4 alors que le principe d'inertie ne figure pas dans les attendus de fin de ce cycle. Les activités proposées dans la ressource traitant de ce sujet montrent que certains élèves ont des difficultés à identifier les actions s'exerçant sur un objet et les associent incorrectement au mouvement de cet objet. Ces confusions

apparaissent clairement dans une évaluation dans laquelle il est demandé aux élèves de décrire les actions subies par une balle en chute libre qui a été lancée : un élève écrit « action exercée par la main sur la balle (lancée) ». L'interaction entre la main et la balle semble continuer au cours du temps même lorsque la balle a quitté la main du lanceur. Il apparaît donc important, dans un premier temps, de distinguer explicitement la phase de description du mouvement au cours du temps, de celle de description des actions subies par l'objet étudié qui se fait à un instant donné. C'est sous cette forme que sont organisés les programmes de mécanique au collège : le cycle 3 n'aborde que le mouvement et le cycle 4 est structuré en deux parties, l'une autour du mouvement et l'autre sur les interactions (confer annexe 1).

## En seconde

En classe de seconde, l'objectif de formation est de rendre explicite le lien entre variation de vitesse ou modification de trajectoire et actions ou forces modélisant les actions, puis d'introduire le principe d'inertie. Ce travail ne peut se faire que si les élèves distinguent bien la description du mouvement et celle des actions. C'est pourquoi cette ressource propose de retravailler cette distinction en continuité avec ce qui a été fait au cycle 4, tout en complexifiant le contexte : l'analyse des actions exercées sur l'objet se fait à la fin des activités portant sur la relativité du mouvement. Sur le plan pédagogique, il semble encore nécessaire à ce niveau du cursus de bien distinguer 3 étapes : description du mouvement d'un objet, bilan des actions extérieures exercées sur l'objet, lien entre les deux.

## En première S

En classe de première S et dans le domaine de la mécanique, le programme est centré sur l'exploitation du principe de conservation de l'énergie dans des situations mettant en jeu différentes formes d'énergie. Dans une démarche de réactivation, il est bien entendu possible, au début de toute activité, lors de la phase d'appropriation du problème posé d'amener les élèves à décrire le mouvement et les actions s'exerçant sur le système étudié. Le principe de conservation de l'énergie permet aussi d'explicitier qualitativement la relation entre variation d'énergie cinétique, variation d'énergie mécanique et force agissant sur un système en particulier pour les systèmes non conservatifs. Ainsi, dans une des activités proposées faisant l'étude expérimentale de la chute d'un objet dans l'air en tenant compte des frottements, il est demandé aux élèves de discuter qualitativement de l'influence des frottements sur la valeur de la vitesse de l'objet. Un élève écrit : « Plus les forces de frottements sont grandes, moins la vitesse et l'énergie mécanique sont importantes ». Si la formulation manque de précision, il faut noter que l'élève associe encore variation de force et variation de vitesse. Il pourrait être donc pertinent de lui faire décrire explicitement le système étudié (mouvement d'une part et actions exercées d'autre part).

Aborder la mécanique sous l'aspect énergétique peut permettre de revenir sur l'action de la main au moment où elle lance la balle et d'aider l'élève à dépasser la représentation de conservation de l'action de la main tout au long du mouvement. Une analyse énergétique de cette phase du mouvement permet d'identifier un transfert d'énergie au moment du jet, énergie mécanique de la balle qui est conservée, convertie (conversion énergie cinétique-énergie potentielle) ou dissipée (frottement dans l'air) au cours du mouvement, c'est par cette analyse énergétique que peut s'interpréter la « mémoire de l'action de la main ».

## En terminale S

La classe de terminale S introduit explicitement les deuxième et troisième lois de Newton. Après la caractérisation du mouvement et des interactions introduite dès le cycle 4 et la construction d'un lien qualitatif entre ces deux notions en seconde et en première, le programme de terminale S explicite quantitativement cette relation entre variation de vitesse et force (résultante des forces) par l'intermédiaire de la deuxième loi de Newton. La distinction entre force (action) et vitesse (mouvement) doit être maîtrisée par les élèves pour expliciter convenablement les termes qui apparaissent de chaque côté du signe égal de l'expression du principe fondamental de la dynamique.

D'ailleurs les exercices et les activités proposés en terminale dans ce cadre passent de manière quasi-systématique par : le choix du référentiel, la définition du système et un bilan des actions extérieures avant d'écrire le principe fondamental de la dynamique. Il faut noter que certaines activités proposées en terminale, pourraient l'être dans les classes antérieures sans aucune difficulté en se limitant explicitement à la description du mouvement et des actions et/ou au lien qualitatif entre ces deux notions.

## Des pratiques pédagogiques et des outils didactiques pour travailler sur les conceptions

### Les évaluations diagnostiques

Pour bien distinguer l'évaluation diagnostique des autres types d'évaluation, il faut tout d'abord rappeler que l'évaluation diagnostique a pour objectif de connaître les acquis, représentations, conceptions et donc les besoins d'un élève ou d'une classe à différents moments afin de mettre en place des réponses pédagogiques et didactiques appropriées. L'objectif est d'aider le professeur dans la conception de ses séquences afin d'adapter au mieux son enseignement en tenant compte des difficultés ou, au contraire, des acquis des élèves et ainsi de rendre son enseignement plus efficace et motivant.

Cette évaluation, réalisée en amont d'une séquence ou au début d'une activité, doit être pensée pour être rapide à corriger, mais aussi facile à interpréter. Pour cela, des questions fermées et explicites sont à privilégier afin de ne pas induire de biais dû à une mauvaise interprétation de l'énoncé. Un point de vigilance est de mise lorsqu'il s'agit de repérer des conceptions erronées : les questions pouvant parfois être ressenties par les élèves comme cherchant à les « piéger », le risque est grand, en les enchaînant trop fréquemment, d'amener les élèves à sélectionner la réponse contraire à ce qu'ils pensent pour être sûrs d'avoir une réponse « juste ».

Notons aussi que, même si l'évaluation diagnostique se place en amont de la séquence, il peut être utile de proposer une première activité introductive permettant de réactiver la mémoire des élèves avant de leur proposer l'évaluation diagnostique. De plus, l'évaluation diagnostique peut ne pas être formalisée et se faire au cours d'une activité, en suivant individuellement l'avancement et les réponses des élèves à des questions ciblées.

Pour conduire ces évaluations, des applications associant rapidité et simplicité d'utilisation (Plickers, Socrative, Kahoot !, etc.) sont actuellement disponibles. Le travail du GRIESP s'est donc orienté vers la conception d'évaluations diagnostiques pouvant être réalisées via des questionnaires à choix multiples (QCM) bien adaptés à ce type d'applications. Une réponse n'étant éclairante que si elle est justifiée, un QCM double (avec réponse, puis justification) permet ainsi de mieux cerner les conceptions erronées sur les concepts. Un protocole a été adopté pour la construction de ces « doubles QCM » : partir des argumentations spontanées d'un groupe témoin pour l'élaboration de la deuxième partie (confer annexe 2).

### Les activités d'apprentissage / évaluations formatives

Une fois le diagnostic établi, il s'agit de s'appuyer sur ce dernier pour adapter l'enseignement. S'il n'est pas utile de revenir sur des notions ou concepts déjà assimilés pour certains élèves au risque de créer de la lassitude ou de l'ennui, au contraire, pour d'autres élèves, identifiés comme étant en difficulté sur une notion, il est indispensable de procéder à une remédiation avant de poursuivre plus avant le cours. La séance d'apprentissage peut alors être mise en œuvre de façon différenciée si l'évaluation diagnostique fait apparaître des profils d'élèves différents, ou adaptée si une majorité des élèves possède des lacunes sur des prérequis nécessaires. Rappelons l'importance, lors du processus d'apprentissage, de laisser du temps pour favoriser les échanges entre élèves. Ces derniers, en formalisant leur pensée, peuvent les aider à mieux construire certains concepts (voir par

exemple l'activité autour de la représentation des forces de la ressource [Grandeurs vectorielles en première S](#)).

À l'issue de l'activité, ou au cours de celle-ci, l'évaluation formative permet quant à elle de suivre la progression de l'apprentissage. Ce moment d'évaluation peut prendre la forme d'une simple question ou d'un exercice proposant un autre contexte pour la situation problème afin de tester la capacité de l'élève à transférer les apprentissages. Cette évaluation formative, lorsqu'elle est associée à une auto-évaluation de l'élève lui permet alors d'identifier ses réussites, ses échecs et ses leviers de progression, et ainsi, de l'inclure davantage dans le processus d'apprentissage en rendant plus lisible les objectifs visés. Une évaluation formative proposée à un niveau n peut devenir l'évaluation diagnostique du niveau n+1.

Si l'évaluation met en lumière des difficultés persistantes, une remédiation peut être pensée en adoptant une nouvelle stratégie d'apprentissage, sous un autre prisme, en passant par un autre langage (mathématique, graphique, écrit, oral, schémas, cartes mentales, numérique, etc.), en s'appuyant sur des explications entre pairs, etc.

### Quelques exemples de séances d'apprentissage et d'évaluations formatives associées

DIFFICULTÉ TRAVAILLÉE	NIVEAU	TITRE
<a href="#">La relativité du mouvement</a>	Cycle 4 / seconde	Séquence d'apprentissage « Vol d'un avion de ligne civil » suivie de l'évaluation formative « Le véhicule et le canon »
<a href="#">Troisième loi de Newton</a>	Cycle 4 / seconde	Séquence d'apprentissage « Sur les traces de Newton, à la découverte des forces d'interaction gravitationnelle » suivie de l'évaluation formative « Jupiter et ses satellites »
<a href="#">Troisième loi de Newton</a>	Terminale S	Séquence d'apprentissage autour de l'analyse de trois situations suivie d'une évaluation formative autour de forces exercées entre différents astres

### Quelques exemples didactiques propres à la mécanique

Comme dans tous les domaines de la physique, l'activation d'une diversité de registres permet de favoriser l'acquisition d'un concept de mécanique et la capacité à le mobiliser dans des situations variées.

Citons par exemple, une activité kinesthésique avec le planétaire élaboré par HOU<sup>8</sup>, sur lequel les élèves prennent le rôle des corps célestes et se déplacent en suivant les vitesses de révolution de ces corps autour du Soleil ; ce qui permet de faire vivre et d'illustrer la notion de vitesse, de mouvement, de mouvement relatif comme la rétrogradation de Mars, de période de révolution, de relation période - demi-grand axe de l'orbite (3<sup>ème</sup> loi de Kepler), etc.

Par ailleurs des outils didactiques spécifiques à la mécanique ont été élaborés pour lever quelques difficultés et peuvent être proposés aux élèves comme par exemple l'utilisation :

- du *diagramme objets-interactions* (annexe 3) pour effectuer un bilan complet des interactions afin de modéliser l'ensemble des forces s'exerçant sur un objet ;
- de *schémas éclatés* (annexe 3) pour répondre à une question posée nécessitant la prise en compte de plusieurs objets (systèmes fermés) en interaction ;
- de simulations permettant de visualiser simultanément les mouvements d'un objet et les forces exercées sur cet objet, les mouvements relatifs, etc.

<sup>8</sup> Hands-On Universe dans le cadre d'un projet européen EU-HOU : <http://www.fr.euhou.net/>

# Annexe 1 - La mécanique dans les programmes d'enseignement, du cycle 3 au cycle terminal du lycée

## Cycle 3

### Matière, mouvement, énergie, information

CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES ASSOCIÉES	EXEMPLES DE SITUATIONS, D'ACTIVITÉS ET D'OUTILS POUR L'ÉLÈVE
Observer et décrire différents types de mouvement	
<p>Décrire un mouvement et identifier les différences entre mouvements circulaire ou rectiligne.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>» Mouvement d'un objet (trajectoire et vitesse : unités et ordres de grandeur).</li> <li>» Exemples de mouvements simples : rectiligne, circulaire.</li> </ul> <p>Élaborer et mettre en œuvre un protocole pour appréhender la notion de mouvement et de mesure de la valeur de la vitesse d'un objet.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>» Mouvements dont la valeur de la vitesse (module) est constante ou variable (accélération, décélération) dans un mouvement rectiligne.</li> </ul>	<p>L'élève part d'une situation où il est acteur qui observe (en courant, faisant du vélo, passager d'un train ou d'un avion), à celles où il n'est qu'observateur (des observations faites dans la cour de récréation ou lors d'une expérimentation en classe, jusqu'à l'observation du ciel : mouvement des planètes et des satellites artificiels à partir de données fournies par des logiciels de simulation).</p>
Identifier différentes sources et connaître quelques conversions d'énergie	
<p>Identifier des sources d'énergie et des formes.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>» L'énergie existe sous différentes formes (énergie associée à un objet en mouvement, énergie thermique, électrique...).</li> </ul> <p>Prendre conscience que l'être humain a besoin d'énergie pour vivre, se chauffer, se déplacer, s'éclairer... Reconnaître les situations où l'énergie est stockée, transformée, utilisée. La fabrication et le fonctionnement d'un objet technique nécessitent de l'énergie.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>» Exemples de sources d'énergie utilisées par les êtres humains : charbon, pétrole, bois, uranium, aliments, vent, Soleil, eau et barrage, pile...</li> <li>» Notion d'énergie renouvelable.</li> <li>» Identifier quelques éléments d'une chaîne d'énergie domestique simple.</li> <li>» Quelques dispositifs visant à économiser la consommation d'énergie.</li> </ul>	<p>L'énergie associée à un objet en mouvement apparaît comme une forme d'énergie facile à percevoir par l'élève, et comme pouvant se convertir en énergie thermique. Le professeur peut privilégier la mise en œuvre de dispositifs expérimentaux analysés sous leurs aspects énergétiques : éolienne, circuit électrique simple, dispositif de freinage, moulin à eau, objet technique... On prend appui sur des exemples simples (vélo qui freine, objets du quotidien, l'être humain en introduisant les formes d'énergie mobilisées et les différentes consommations (par exemple : énergie thermique, énergie associée au mouvement d'un objet, énergie électrique, énergie associée à une réaction chimique, énergie lumineuse...). Exemples de consommation domestique (chauffage, lumière, ordinateur, transports).</p>

## Cycle 4

CONNAISSANCES ET COMPÉTENCES ASSOCIÉES	EXEMPLES DE SITUATIONS, D'ACTIVITÉS ET D'OUTILS POUR L'ÉLÈVE
<b>Mouvement et interactions</b>	
Caractériser un mouvement	
<p>Caractériser le mouvement d'un objet.</p> <p>Utiliser la relation liant vitesse, distance et durée dans le cas d'un mouvement uniforme.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>» Vitesse : direction, sens et valeur.</li> <li>» Mouvements rectilignes et circulaires.</li> <li>» Mouvements uniformes et mouvements dont la vitesse varie au cours du temps en direction ou en valeur.</li> <li>» Relativité du mouvement dans des cas simples.</li> </ul>	<p>L'ensemble des notions de cette partie peut être abordé à partir d'expériences simples réalisables en classe, de la vie courante ou de documents numériques.</p> <p>Utiliser des animations des trajectoires des planètes, qu'on peut considérer dans un premier modèle simplifié comme circulaires et parcourues à vitesse constante.</p> <p>Comprendre la relativité des mouvements dans des cas simples (train qui démarre le long d'un quai) et appréhender la notion d'observateur immobile ou en mouvement.</p>
Modéliser une interaction par une force caractérisée par un point d'application, une direction, un sens et une valeur	
<p>Identifier les interactions mises en jeu (de contact ou à distance) et les modéliser par des forces.</p> <p>Associer la notion d'interaction à la notion de force.</p> <p>Exploiter l'expression littérale scalaire de la loi de gravitation universelle, la loi étant fournie.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>» Action de contact et action à distance.</li> <li>» Force : point d'application, direction, sens et valeur.</li> <li>» Force de pesanteur et son expression <math>P = mg</math>.</li> </ul>	<p>L'étude mécanique d'un système peut être l'occasion d'utiliser les diagrammes objet-interaction.</p> <p>Expérimenter des situations d'équilibre statique (balance, ressort, force musculaire).</p> <p>Expérimenter la persistance du mouvement rectiligne uniforme en l'absence d'interaction (frottement).</p> <p>Expérimenter des actions produisant un mouvement (fusée, moteur à réaction).</p> <p>Pesanteur sur Terre et sur la Lune, différence entre poids et masse (unités). L'impesanteur n'est abordée que qualitativement</p>
<b>L'énergie et conversions</b>	
Identifier les sources, les transferts, les conversions et les formes d'énergie - Utiliser la conservation de l'énergie	
<p>Identifier les différentes formes d'énergie.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>» Cinétique (relation <math>E_c = \frac{1}{2} mv^2</math>), potentielle (dépendant de la position), thermique, électrique, chimique, nucléaire, lumineuse.</li> </ul> <p>Identifier les sources, les transferts et les conversions d'énergie.</p> <p>Établir un bilan énergétique pour un système simple.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>» Sources.</li> <li>» Transferts.</li> <li>» Conversion d'un type d'énergie en un autre</li> <li>» Conservation de l'énergie.</li> <li>» Unités d'énergie.</li> </ul> <p>Utiliser la relation liant puissance, énergie et durée.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>» Notion de puissance</li> </ul>	<p>Les supports d'enseignement gagnent à relever de systèmes ou de situations de la vie courante</p> <p>Les activités proposées permettent de souligner que toutes les formes d'énergie ne sont pas équivalentes ni également utilisables.</p> <p>Ce thème permet d'aborder un vocabulaire scientifique visant à clarifier les termes souvent rencontrés dans la vie courante : chaleur, production, pertes, consommation, gaspillage, économie d'énergie, énergies renouvelables.</p>

## Seconde

### La pratique du sport

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES ATTENDUES
<p><b>L'étude du mouvement</b> : l'observation, l'analyse de mouvements et le chronométrage constituent une aide à l'activité sportive. Des lois de la physique permettent d'appréhender la nature des mouvements effectués dans ce cadre.</p>	
<p>Relativité du mouvement. Référentiel. Trajectoire.</p> <p>Mesure d'une durée ; chronométrage.</p>	<p>Comprendre que la nature du mouvement observé dépend du référentiel choisi.</p> <p><i>Réaliser et exploiter des enregistrements vidéo pour analyser des mouvements.</i></p> <p>Porter un regard critique sur un protocole de mesure d'une durée en fonction de la précision attendue</p>
<p>Actions mécaniques, modélisation par une force. Effets d'une force sur le mouvement d'un corps : modification de la vitesse, modification de la trajectoire. Rôle de la masse du corps. Principe d'inertie.</p> <p>Effet d'une force sur l'énergie cinétique d'un corps</p>	<p>Savoir qu'une force s'exerçant sur un corps modifie la valeur de sa vitesse et/ou la direction de son mouvement et que cette modification dépend de la masse du corps.</p> <p>Utiliser le principe d'inertie pour interpréter des mouvements simples en termes de forces.</p> <p><i>Réaliser et exploiter des enregistrements vidéo pour analyser des mouvements.</i></p>
<p><b>La pression</b> : la pression est une grandeur physique qui permet de comprendre l'influence de l'altitude sur les performances sportives et les effets physiologiques ressentis en plongée subaquatique.</p>	
<p>Pression d'un gaz, pression dans un liquide. Force pressante exercée sur une surface, perpendiculairement à cette surface. Pression dans un liquide au repos, influence de la profondeur.</p>	<p>Savoir que dans les liquides et dans les gaz la matière est constituée de molécules en mouvement.</p> <p>Utiliser la relation <math>P = F/S</math>, <math>F</math> étant la force pressante exercée sur une surface <math>S</math>, perpendiculairement à cette surface.</p> <p>Savoir que la différence de pression entre deux points d'un liquide dépend de la différence de profondeur.</p>

### L'Univers

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES ATTENDUES
<p><b>Le système solaire</b> : l'attraction universelle (la gravitation universelle) assure la cohésion du système solaire. Les satellites et les sondes permettent l'observation de la Terre et des planètes.</p>	
<p>Relativité du mouvement. Référentiel. Trajectoire.</p>	<p>Comprendre que la nature du mouvement observé dépend du référentiel choisi.</p>
<p>La gravitation universelle. L'interaction gravitationnelle entre deux corps. La force de pesanteur</p>	<p>Calculer la force d'attraction gravitationnelle qui s'exerce entre deux corps à répartition sphérique de masse.</p> <p>Savoir que la force de pesanteur terrestre résulte de l'attraction terrestre.</p> <p>Comparer le poids d'un même corps sur la Terre et sur la Lune.</p>
<p>Actions mécaniques, modélisation par une force. Effets d'une force sur le mouvement d'un corps : modification de la vitesse, modification de la trajectoire. Rôle de la masse du corps. Principe d'inertie. Mouvements de la Terre et des planètes</p>	<p>Savoir qu'une force s'exerçant sur un corps modifie la valeur de sa vitesse et/ou la direction de son mouvement et que cette modification dépend de la masse du corps.</p> <p>Utiliser le principe d'inertie pour interpréter des mouvements simples en termes de forces.</p> <p><i>Mettre en œuvre une démarche d'expérimentation utilisant des techniques d'enregistrement pour comprendre la nature des mouvements observés dans le système solaire.</i></p> <p>Analyser des documents scientifiques portant sur l'observation du système solaire.</p>

## Première S

### Cohésion et transformations de la matière

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES ATTENDUES	REPÈRES ASSOCIÉS
Interactions fondamentales : interactions forte et faible, électromagnétique, gravitationnelle.	Associer, à chaque édifice organisé, la ou les interactions fondamentales prédominantes.	
Lois de conservation dans les réactions nucléaires.  Défaut de masse, énergie libérée.	Utiliser les lois de conservation pour écrire l'équation d'une réaction nucléaire.	

### Champs et forces

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES ATTENDUES	REPÈRES ASSOCIÉS
Champ de pesanteur local : $\vec{g} = \frac{\vec{P}}{m}$	Connaître les caractéristiques : - des lignes de champ vectoriel ; - d'un champ uniforme ; - du champ magnétique terrestre ; - du champ électrostatique dans un condensateur plan ; - du champ de pesanteur local.	Les élèves doivent connaître les relations $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ et $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ sous forme vectorielle, elles seront réinvesties en classe de terminale S. .
Loi de la gravitation ; champ de gravitation.  Lien entre le champ de gravitation et le champ de pesanteur.	Identifier localement le champ de pesanteur au champ de gravitation, en première approximation.	Les connaissances acquises sur ce sujet en seconde seront réinvesties ici avec profit. On se limite à la présentation du champ de pesanteur comme une approximation du champ de gravitation. L'explicitation de cette approximation est réservée à l'enseignement supérieur.  Dans la suite du programme de seconde et dans la perspective de la classe de terminale S, la formule de la loi de la gravitation doit être connue.

### Formes et principe de conservation de l'énergie

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES ATTENDUES	REPÈRES ASSOCIÉS
Énergie d'un point matériel en mouvement dans le champ de pesanteur uniforme : énergie cinétique, énergie potentielle de pesanteur, conservation ou non conservation de l'énergie mécanique.  Frottements ; transferts thermiques ; dissipation d'énergie.	Connaître et utiliser l'expression de l'énergie cinétique d'un solide en translation et de l'énergie potentielle de pesanteur d'un solide au voisinage de la Terre.  <i>Réaliser et exploiter un enregistrement pour étudier l'évolution de l'énergie cinétique, de l'énergie potentielle et de l'énergie mécanique d'un système au cours d'un mouvement.</i>	Cette partie sera largement réinvestie en classe de terminale S où la notion de travail sera introduite. Les expressions des énergies cinétique et potentielle de pesanteur sont exigibles dès la classe de première.
Formes d'énergie	Connaître diverses formes d'énergie.	Sur ce thème, les notions d'énergies cinétique, potentielle (pesanteur et élastique), mécanique, chimique, nucléaire, lumineuse peuvent être introduites. La notion d'énergie interne avec son interprétation microscopique sera introduite en terminale.

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES ATTENDUES	REPÈRES ASSOCIÉS
Principe de conservation de l'énergie. Application à la découverte du neutrino dans la désintégration $\beta$ .	Exploiter le principe de conservation de l'énergie dans des situations mettant en jeu différentes formes d'énergie.	

## Terminale S

### Temps, mouvement et évolution

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES EXIGIBLES	REPÈRES ASSOCIÉS
Temps, cinématique et dynamique newtoniennes.  Description du mouvement d'un point au cours du temps : vecteurs position, vitesse et accélération.	Extraire et exploiter des informations relatives à la mesure du temps pour justifier l'évolution de la définition de la seconde.  Choisir un référentiel d'étude.  Définir et reconnaître des mouvements (rectiligne uniforme, rectiligne uniformément varié, circulaire uniforme, circulaire non uniforme) et donner dans chaque cas les caractéristiques du vecteur accélération.	Reconnaître ces mouvements nécessite de donner les caractéristiques des vecteurs position, vitesse et accélération et de donner un sens qualitatif aux liens entre ces vecteurs.
Référentiel galiléen.  Lois de Newton : principe d'inertie, $\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ et principe des actions réciproques.	Définir la quantité de mouvement d'un point matériel.  Connaître et exploiter les trois lois de Newton ; les mettre en œuvre pour étudier des mouvements dans des champs de pesanteur et électrostatique uniformes.  <i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour étudier un mouvement.</i>	Cette partie du programme renforce la compétence attendue en classe de seconde : « Savoir qu'une force s'exerçant sur un corps modifie la valeur de sa vitesse et/ou la direction de son mouvement et que cette modification dépend de la masse du corps. Utiliser le principe d'inertie pour interpréter des mouvements simples en termes de forces ».  Les situations nécessitant la projection de trois vecteurs-forces ou plus relèvent plutôt de l'enseignement supérieur.  Les relations $\vec{F} = q\vec{E}$ et $\vec{P} = m\vec{g}$ , présentées en classe de première S, doivent être connues des élèves en classe de terminale S.  On attend de l'élève qu'il sache établir les équations paramétriques, leur connaissance suffit à la description du mouvement dans les champs de pesanteur et électrostatique uniformes. (Le principe d'une équation paramétrique, dans le cas de la droite, est vu en cours de mathématiques en classe de terminale S).
Conservation de la quantité de mouvement d'un système isolé.	<i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour interpréter un mode de propulsion par réaction à l'aide d'un bilan qualitatif de quantité de mouvement.</i>	L'approche qualitative des phénomènes doit être maîtrisée. L'approche quantitative, limitée aux mouvements à une dimension, serait considérée comme une tâche complexe.
Mouvement d'un satellite.	Démontrer que, dans l'approximation des trajectoires circulaires, le	Dans le prolongement des compétences attendues des classes

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES EXIGIBLES	REPÈRES ASSOCIÉS
Révolution de la Terre autour du Soleil.	mouvement d'un satellite, d'une planète, est uniforme. Établir l'expression de sa vitesse et de sa période.	de seconde et de première S, la loi de la gravitation universelle doit être connue.  On n'attend pas de l'élève qu'il connaisse et utilise la base de Frénet.
Lois de Kepler.	Connaître les trois lois de Kepler ; exploiter la troisième dans le cas d'un mouvement circulaire.	

### Mesure du temps et oscillateur, amortissement

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES EXIGIBLES	REPÈRES ASSOCIÉS
Mesure du temps et oscillateur, amortissement	<i>Pratiquer une démarche expérimentale pour mettre en évidence :</i>  - les différents paramètres influençant la période d'un oscillateur mécanique ;  - son amortissement.	
Travail d'une force. Force conservative ; énergie potentielle.	Établir et exploiter les expressions du travail d'une force constante (force de pesanteur, force électrique dans le cas d'un champ uniforme).	Le produit scalaire est abordé dans le programme de mathématiques de la classe de terminale S.  La compétence attendue en première S : « Connaître et utiliser l'expression de l'énergie cinétique d'un solide en translation et de l'énergie potentielle de pesanteur d'un solide au voisinage de la Terre » est ici réinvestie. Toute autre expression de l'énergie potentielle ne sera exigible que dans l'enseignement supérieur.
Forces non conservatives : exemple des frottements.	Établir l'expression du travail d'une force de frottement d'intensité constante dans le cas d'une trajectoire rectiligne.	La compétence attendue en première S : « Exploiter le principe de conservation de l'énergie dans des situations mettant en jeu différentes formes d'énergie » est ici réinvestie dans des situations plus variées.
Énergie mécanique.	Analyser les transferts énergétiques au cours d'un mouvement d'un point matériel.	
Étude énergétique des oscillations libres d'un système mécanique. Dissipation d'énergie.	<i>Pratiquer une démarche expérimentale pour mettre en évidence l'amortissement d'un oscillateur mécanique.</i>  <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour étudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique d'un oscillateur.</i>  Extraire et exploiter des informations sur l'influence des phénomènes dissipatifs sur la problématique de la mesure du temps et la définition de la seconde.	La maîtrise de la compétence exigible suppose que soit connu le sens du terme « phénomènes dissipatifs ». En terminale, l'évolution de la période d'un oscillateur amorti est constatée. La notion de pseudo période peut être utilisée en classe mais ne sera définie que dans l'enseignement supérieur.
Définition du temps atomique.	Extraire et exploiter des informations pour justifier l'utilisation des horloges atomiques dans la mesure du temps.	

## Temps et relativité restreinte

<p>Temps et relativité restreinte</p> <p>Invariance de la vitesse de la lumière et caractère relatif du temps.</p>		
<p>Postulat d'Einstein. Tests expérimentaux de l'invariance de la vitesse de la lumière.</p>	<p>Savoir que la vitesse de la lumière dans le vide ne dépend ni du mouvement de la source ni de celui de l'observateur.</p>	
<p>Notion d'événement. Temps propre.</p> <p>Dilatation des durées.</p> <p>Preuves expérimentales.</p>	<p>Définir la notion de temps propre.</p> <p>Exploiter la relation entre durée propre et durée mesurée.</p> <p>Extraire et exploiter des informations relatives à une situation concrète où le caractère relatif du temps est à prendre en compte.</p>	<p>L'utilisation de l'invariance de la vitesse de la lumière, des notions d'évènement et de temps propre permet de démontrer qualitativement et quantitativement le phénomène de dilatation des durées.</p>

## Annexe 2 : Conception d'une évaluation diagnostique sous forme d'un « double QCM »

### Principe de la méthodologie adoptée pour la conception de l'évaluation diagnostique

Le QCM a l'avantage d'être rapide à corriger, ce qui s'avère être une caractéristique pertinente pour une évaluation diagnostique. Néanmoins, lorsque le QCM ne propose qu'une seule réponse à cocher parmi plusieurs, on peut parfois en conclure seulement que les élèves « semblent » avoir compris. On ne peut véritablement conclure qu'ils ont réellement compris qu'en proposant des justifications relatives aux choix de la réponse ; ce double QCM permet d'obtenir des résultats plus éclairants sur les acquis ou les conceptions des élèves.

Deux possibilités s'offrent à justification, une fois établies les quatre<sup>9</sup> premières propositions de réponses :

- les élèves proposent une justification « libre » ; cette possibilité amène une grande richesse des propositions, mais induit une durée de correction et d'exploitation plus importante ;
- les élèves choisissent une proposition de justification parmi quatre propositions, mais cette possibilité risque d'enfermer les élèves dans des propositions restreintes qui ne correspondent pas forcément à ce qu'ils envisagent.

Afin de construire un double QCM avec des propositions de justification s'appuyant sur de véritables réponses d'élèves, un premier QCM avec justifications « libres » a été proposé à un échantillon d'élèves. Quatre justifications issues des propositions d'élèves sont alors dégagées afin de constituer un double QCM avec des propositions de justifications pertinentes.

### Illustration sur l'exemple : « Difficultés à accepter le principe des actions réciproques »

Le questionnaire suivant a été posé à une classe de 31 élèves de terminale S au début de la séance sur la troisième loi de Newton :

La Terre exerce sur la Lune une attraction gravitationnelle dont la valeur est  $1,98 \cdot 10^{20}$  N.

La masse de la Lune est environ 100 fois plus petite que la masse la Terre.

Choisir parmi les réponses suivantes la bonne réponse **en justifiant le choix**.

- a. La lune exerce sur la Terre une force dont la valeur est cent fois plus petite que  $1,98 \cdot 10^{20}$  N soit  $1,98 \cdot 10^{18}$  N.
- b. La Lune exerce sur la Terre une force de valeur  $1,98 \cdot 10^{20}$  N.
- c. La Lune n'exerce pas de force sur la Terre.
- d. La Lune exerce sur la Terre une force dont la valeur est cent fois plus grande que  $1,98 \cdot 10^{20}$  N soit  $1,98 \cdot 10^{22}$  N.

Le tableau, reproduit ci-après, comporte les occurrences dans les réponses et justifications libres des élèves soumis à ce QCM.

---

<sup>9</sup> Le nombre de 4 a été choisi par le groupe pour permettre une utilisation de l'évaluation sur de nombreuses applications numériques d'évaluation.

RÉPONSE	JUSTIFICATION	OCCURRENCE DE LA JUSTIFICATION
(a) 18 fois	Car la masse de la Lune est cent fois plus petite	14
	Car on sait que la Lune tourne autour de la Terre donc on peut en déduire que la Terre effectue une force plus importante que celle de la Lune vu qu'elle est immobile	1
	Car c'est pour ça que la Lune est attirée par la Terre (et pas la Terre par la Lune)	1
(b) 11 fois	Car je pense que la masse n'a pas d'influence sur l'attraction gravitationnelle	3
	Car l'attraction gravitationnelle fait appel aux deux masses des deux systèmes	1
	Car si l'une des deux planètes exerce une force plus grande que l'autre, la planète qui exerce moins de force se rapprocherait voire s'écraserait sur la planète qui exerce la plus grande force	3
(c) 0 fois		
(d) 2 fois	Car il faut plus de force pour attirer une masse plus grande (comme quand on laisse tomber une balle de golf et une balle de ping-pong)	1
	Car la Lune tourne autour de la Terre, son mouvement n'est pas rectiligne uniforme	1

L'analyse de ces résultats et notamment des conceptions erronées des élèves a permis l'élaboration d'un double QCM (présenté dans la ressource [Troisième loi de Newton en terminale S](#)).

Choisir la réponse juste parmi les quatre premières propositions (1, 2, 3, 4), puis parmi les quatre autres propositions (a, b, c, d).

La Terre exerce sur la Lune une attraction gravitationnelle dont la valeur est  $1,98 \times 10^{20}$  N.

La valeur de la masse de la Lune est environ 100 fois plus petite que celle de la Terre.

La Lune exerce sur la Terre une force :

1. Cent fois plus grande.
2. Identique.
3. Nulle.
4. Cent fois plus petite.

En effet :

- a. La Lune a une masse cent fois plus petite que celle de la Terre.
- b. La force d'attraction gravitationnelle ne dépend pas de la masse.
- c. La Lune et la Terre sont toutes les deux en interaction gravitationnelle.
- d. Sinon, la Lune et la Terre se rapprocheraient l'une de l'autre.

## Annexe 3 - Diagrammes objet-interaction et schémas éclatés

### 1. Les diagrammes objet-interaction (DOI)<sup>10</sup>

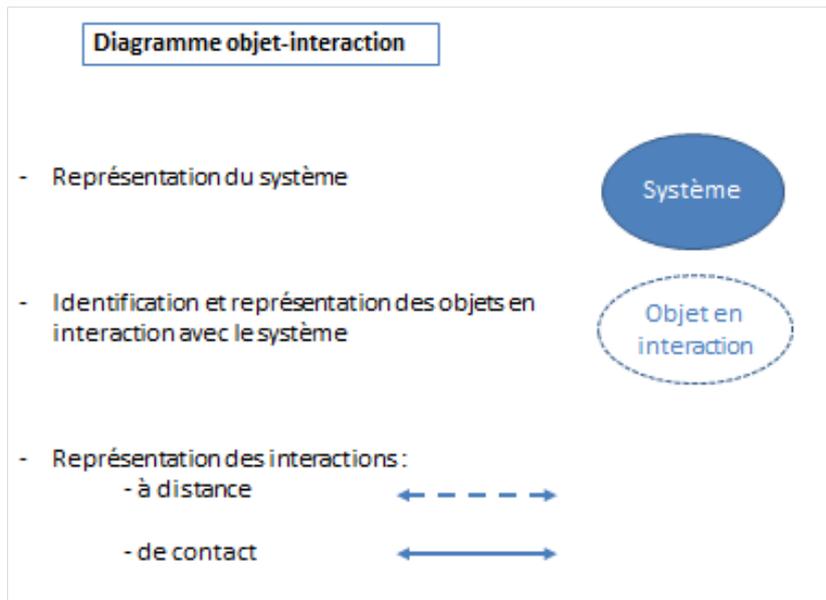
Ces diagrammes permettent de passer de la notion d'interaction entre deux corps à celle de force modélisant une action sur un système.

Ils permettent :

- de construire une représentation physique d'une situation, qui facilitera ensuite le choix d'un système et l'analyse des forces tant intérieures qu'extérieures au système ;
- d'aider les élèves à comprendre la notion d'interaction et sa modélisation en termes de forces ;
- d'amener les élèves à conditionner l'existence d'une force à celle d'une interaction ; par exemple lors du lancer d'une balle, il n'y a pas à considérer de force associée au lancement après que l'objet a quitté la main du lanceur : la force cesse dès que l'interaction disparaît ; de même, cela permet de distinguer l'action du sol sur un objet et l'interaction gravitationnelle de la Terre sur cet objet (même si le sol appartient à la Terre).

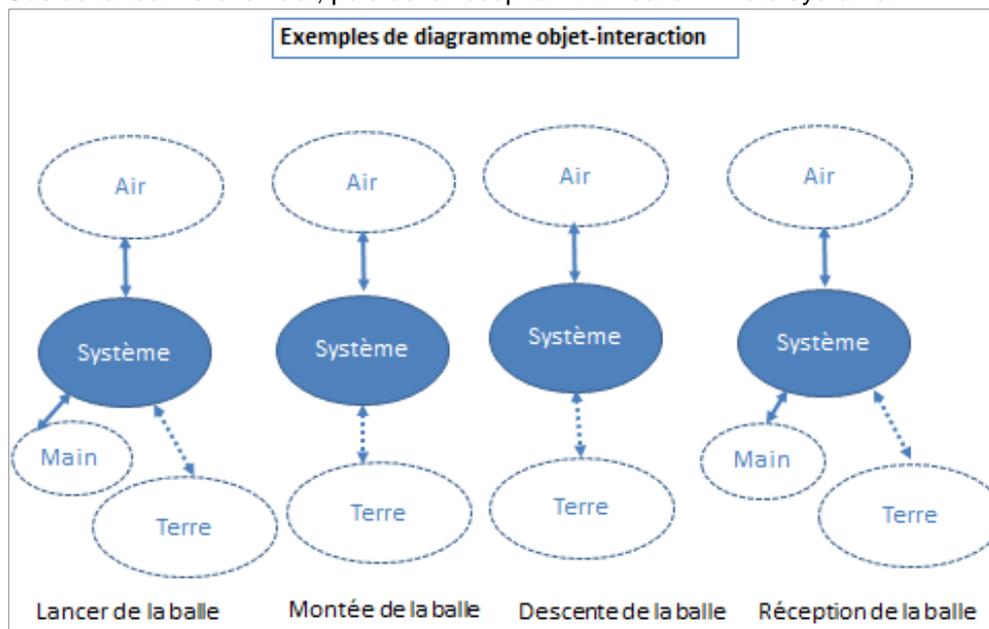
#### Tracé des diagrammes

Légende du diagramme objet-interaction

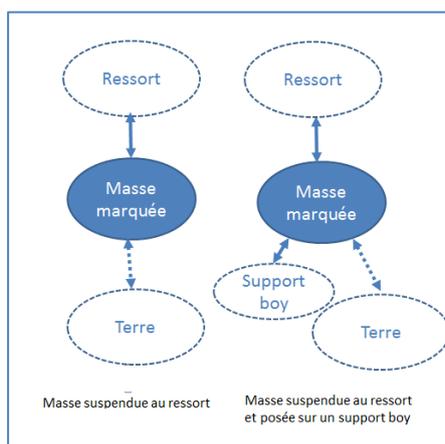


<sup>10</sup> René TORRA: "L'apport du diagramme objets-interactions dans la résolution des problèmes de mécanique en première S", BUP n° 838 (1), Vol. 95 - Novembre 2001, pp. 1635-1642

Cas du lancer vers le haut, puis de la réception d'un ballon<sup>11</sup> noté système.

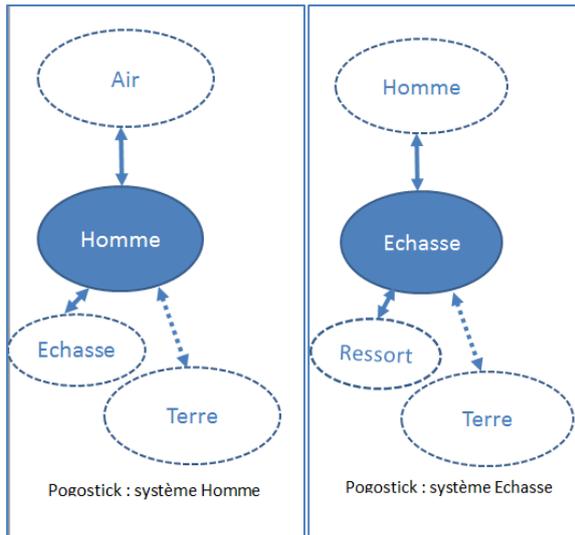


Cas de l'objet suspendu à un ressort (confer « notion de système », seconde)



<sup>11</sup> [Ressource d'accompagnement du programme de physique de première S applicable à la rentrée 2001](#) : « F1 : Comment faire l'inventaire des forces responsables du mouvement d'un objet ? » (p26)

## Cas du pogostick (confer difficulté « notion de système » terminale S)



Ensuite, il s'agit d'explicitier comment on passe de ce diagramme objet-interaction aux tracés des vecteurs force ; ces tracés peuvent se faire sans souci d'échelle. Pour un tracé des vecteurs force à l'échelle, il conviendra de déterminer la valeur de ces forces si leur expression est connue (cas du poids, de la tension d'un ressort par exemple) et de choisir une échelle ; on peut aussi faire un tracé qualitatif en utilisant les lois de Newton (première loi ou principe d'inertie (les forces se compensent si le mouvement du système est rectiligne uniforme ou si le système est au repos), deuxième loi (la résultante des forces est colinéaire et de même sens que l'accélération), troisième loi (les forces représentant les interactions ont même valeur, même direction et des sens opposés)).

### Modélisation d'une action par une force et lois de Newton

L'interaction d'un objet A avec un objet S, système étudié, comporte toujours deux actions : celle de A sur S et celle de S sur A.

Si on s'intéresse au système S, on modélise uniquement l'action de A sur S par un vecteur appelé « force de A sur S » et noté  $\vec{F}_{A/S}$ .

L'objet S sur lequel s'exerce la force est représenté par un point ●.

On représente graphiquement la force en construisant à partir du point ● une flèche dont la direction et le sens sont donnés par les caractéristiques de l'action correspondante et dont la longueur est proportionnelle à la valeur de la force  $\vec{F}_{A/S}$ , exprimée en N, si le tracé est à l'échelle.

### Lois de Newton

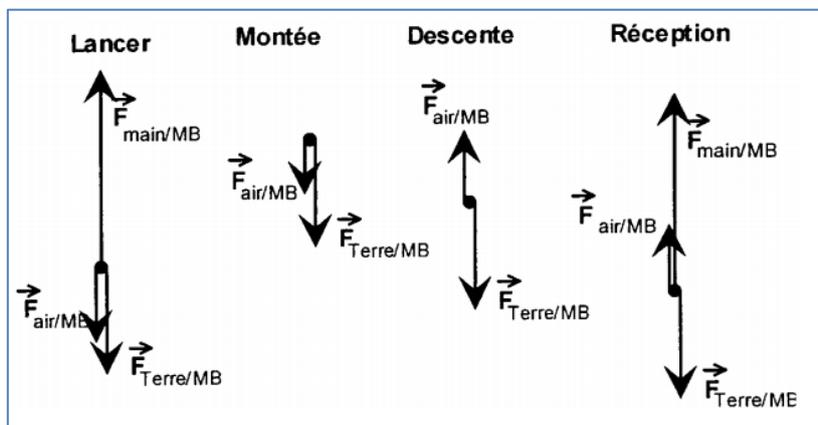
*Première loi* : Dans un référentiel galiléen, si le vecteur vitesse du système S étudié ne varie pas, la somme vectorielle des forces qui s'exercent sur l'objet est nulle et réciproquement.

*Deuxième loi* : Dans un référentiel galiléen, si le vecteur vitesse du système S étudié varie, la somme vectorielle des forces qui s'exercent sur l'objet n'est pas nulle ; la direction et le sens de la résultante des forces sont ceux de la variation de la vitesse entre deux instants proches (ceux de l'accélération).

*Troisième loi* : Les deux forces modélisant une même interaction ont toujours une valeur égale, une même droite d'action et des sens opposés,  $\vec{F}_{A/S} = - \vec{F}_{S/A}$ .

## Exemples du lancer vertical d'un ballon de sa réception

Pour la représentation, on pourra faire remarquer aux élèves, par exemple au moment du lancer du ballon, que la valeur de la force exercée par la main est supérieure à la somme de celles exercées par la Terre et l'air car le ballon (MB) va se déplacer vers le haut avec une vitesse croissante jusqu'à ce qu'il quitte la main.



## 2. Les schémas éclatés

Ces schémas permettent d'éviter les erreurs conceptuelles récurrentes comme par exemple de considérer que lorsque l'on enfonce un clou dans un plafond avec un marteau, la force exercée par le clou sur le plafond a une valeur plus grande que la force exercée par le plafond sur le clou<sup>12</sup> (confer difficulté « notion de système », terminale S, évaluation formative). Il y a en fait adhérence entre la deuxième loi de Newton s'appliquant à un système (objet) et de la troisième loi de Newton s'appliquant à deux objets en interaction. Pour effectuer plus aisément le raisonnement mécanique, il est recommandé de séparer les différents objets en interaction afin de faire le bilan des différentes interactions et de les tracer pour les différents objets ; on obtient ainsi un schéma éclaté de la situation.

MÉTHODE DE TRACE DU SCHÉMA ÉCLATÉ	APPLICATION À LA MASSE SUSPENDUE À UN RESSORT ET POSÉE SUR UN SUPPORT ÉLÉVATEUR
Lister les objets (systèmes fermés) pertinents pour la question posée, et les interactions « externes » (concernant deux objets/systèmes différents) qui les impliquent	On s'intéresse à l'indication du ressort (dynamomètre), donc à la force exercée par la masse sur le ressort.  On prend les objets en interaction : ressort, masse marquée, support élévateur, Terre
Choisir Une couleur par interaction, <b>deux</b> forces opposées de même couleur ( <i>toujours</i> de même valeur)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interaction masse-Terre : rouge</li> <li>- Interaction ressort-masse : vert</li> <li>- Interaction support –masse : violet</li> <li>- Interaction ressort –plafond : bleu</li> </ul>
Pour <b>un</b> objet/système choisi: toutes les forces s'exerçant sur lui ont une couleur différente.	La masse est soumise à la force exercée par la Terre (rouge), la force exercée par le support (violette) et la force exercée par le ressort (verte)
S'arrêter quand le bilan recherché est complet	On s'arrête car en faisant le bilan sur le système masse marquée au repos, on peut avoir des informations sur la force exercée par la masse sur le ressort (en vert) qui est recherchée.
Ajuster les valeurs relatives des forces compte tenu de la situation dynamique particulière (équilibre, accélération)	On ajuste les valeurs relatives des forces exercées sur la masse en utilisant la première ou la deuxième loi de Newton (masse marquée au repos)

<sup>12</sup> exemple développé par Laurence Viennot dans "Raisonnement en physique. La part du sens commun". De Boeck université Paris Bruxelles (1996).

MÉTHODE DE TRACE DU SCHÉMA ÉCLATÉ	APPLICATION À LA MASSE SUSPENDUE À UN RESSORT ET POSÉE SUR UN SUPPORT ÉLEVATEUR
	$\vec{F}_{T/M} + \vec{F}_{S/M} + \vec{F}_{R/M} = \vec{0}$ <p>Donc <math>\vec{F}_{T/M} = -\vec{F}_{S/M} - \vec{F}_{R/M}</math></p>
Répéter l'opération bilan pour d'autres objets si nécessaire	<p>On en déduit</p> $\vec{F}_{M/R} = -\vec{F}_{R/M} \text{ inférieure à } \vec{F}_{T/M} = \vec{P}_M$ <p>Le ressort indique une valeur plus faible que le poids</p>

Ces schémas éclatés sont représentés ci-dessous pour deux situations proposées dans les activités ressources (confer difficulté « notion de système », seconde, séance d'apprentissage) : masse marquée suspendue à un ressort et masse marquée suspendue à un ressort et posée sur un support élévateur. Ils sont tracés à partir du diagramme objet-interaction de ces situations.

MASSE MARQUÉE SUSPENDUE À UN RESSORT	MASSE MARQUÉE SUSPENDUE À UN RESSORT ET POSÉE SUR UN SUPPORT ÉLEVATEUR
<p>Diagramme objet-interaction : Plafond ↔ Ressort ↔ Masse marquée ↔ Terre</p> <p>Système éclaté : Plafond (force <math>\vec{F}_{R/Pla}</math> vers le bas), Ressort (force <math>\vec{F}_{Pla/R}</math> vers le haut, <math>\vec{F}_{M/R}</math> vers le bas), Masse marquée (force <math>\vec{F}_{R/M}</math> vers le haut, <math>\vec{F}_{T/M} = \vec{P}_M</math> vers le bas), Terre (force <math>\vec{F}_{M/T}</math> vers le haut)</p>	<p>Diagramme objet-interaction : Plafond ↔ Ressort ↔ Masse marquée ↔ Support élévateur ↔ Terre</p> <p>Système éclaté : Plafond (force <math>\vec{F}_{R/Pla}</math> vers le bas), Ressort (force <math>\vec{F}_{Pla/R}</math> vers le haut, <math>\vec{F}_{M/R}</math> vers le bas), Masse marquée (force <math>\vec{F}_{R/M}</math> vers le haut, <math>\vec{F}_{Sup/M}</math> vers le haut, <math>\vec{F}_{T/M} = \vec{P}_M</math> vers le bas), Support élévateur (force <math>\vec{F}_{M/Sup}</math> vers le haut, <math>\vec{F}_{M/T}</math> vers le bas), Terre (force <math>\vec{F}_{M/T}</math> vers le haut)</p>
<p>L'ajustement des valeurs relatives des forces à partir de la deuxième loi et de la troisième loi de Newton montre que la force exercée par la masse sur le ressort a la même valeur que le poids de la masse marquée.</p>	<p>L'ajustement des valeurs relatives des forces à partir de la deuxième loi et de la troisième loi de Newton montre que la force exercée par la masse marquée sur le ressort a une valeur inférieure au poids de la masse marquée.</p> <p>NB : le schéma est complet pour la masse marquée et le ressort mais ne l'est pas pour le support élévateur et le plafond car le raisonnement s'appuie sur le ressort et la masse marquée dont les forces doivent être bien ajustées.</p>

## **Annexe 4 : Liste des difficultés étudiées**

- Relativité du mouvement (cycle 3 à la seconde)
- Grandeurs vectorielles (cycle 4, première et terminale)
- Adhérence force-vitesse (du cycle 4 à la terminale)
- Troisième loi de Newton (cycle 4 à la terminale)
- Notion de système (de la seconde à la terminale)
- Présentations scalaire et vectorielle de la mécanique (première et terminale)

## Annexe 5 : Membres du GRIESP en 2016-2017

<b>Pilotes</b>	
Mélanie PERRIN	IA-IPR, académie Orléans-Tours
Michel VIGNERON	IA-IPR, académie de Paris
<b>Professeurs</b>	
Marie BONNIN	Professeure en collège
Stéphane BARDELLI	Professeur en collège
Grégory LEY	Professeur en collège
Fatima RAHMOUN	Professeure en collège
Nicolas COPPENS	Professeur en lycée
Sylvain DARDENNE	Professeur en lycée
Adeline FON	Professeure en lycée
Murielle MASSOTTE	Professeure en lycée
Arnaud SOULAS	Professeur en lycée
Sylvain THIBULT	Professeur en lycée
Antoine ELOI	Professeur en CPGE
Alain LE RILLE	Professeur en CPGE

## Éléments bibliographiques

### Conceptions erronées en mécanique

SALTIEL, E. & MALGRANGE, J.P. (1979). Les raisonnements naturels en cinématique élémentaire. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°616, pp. 1325-1355.

VIENNOT, L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Paris, Hermann.

VIENNOT, L. (1982). L'action et la Réaction sont-elles bien (égales et) opposées? *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°640, pp.479-488.

VIENNOT, L. (1989). Bilans des forces et loi des actions réciproques : analyse des difficultés des élèves et enjeux didactiques. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°716, pp.951-971.

VIENNOT, L. (1996). *Raisonnement en Physique, la part du sens commun*. Bruxelles, DeBoeck.

CALDAS, H. & SALTIEL, E. (1995). Le frottement cinétique : analyse des raisonnements des étudiants. *Didaskalia*, n 6, pp. 55-71.

COPPENS, N. (2007) [Le suivi des conceptions des lycéens en mécanique : développement et usages d'exercices informatisés](#)

CHAMPAGNE, A. B., KLOPFER, L. E. & ANDERSON, J. H. (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics*, vol. 48 (12), pp. 1074-1079.

CLEMENT, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, vol. 50 (1), pp. 66-71.

HALLOUN, I. A. & HESTENES, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53 (11), pp. 1056-1065.

HESTENES, D., WELLS, M. & SWACKHAMER, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, pp. 14

### Ressources d'accompagnement des anciens programmes de physique-chimie

- [Classe de seconde](#)
- [Classe de première S](#) (p 21-31)

### Histoire de la physique

BALIBAR, F. (2000). Mouvement. In *Encyclopædia Universalis*, Paris.

BARTHELEMY, G. (1992). *Newton mécanicien du cosmos*. Paris, Librairie philosophique J.Vrin.

LECOURT, D. (sous la direction de) (1999). *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*. Paris, PUF, 1<sup>ère</sup> édition Quadrige (2003).

SOUTIF, M. (2003). *Naissance de la physique. De la Sicile à la Chine*. Grenoble, EDP Sciences.

LINDEMANN, E. *Mécanique, une introduction par l'histoire de l'astronomie*, De Boeck Université (1999)