

Groupe de réflexion interassociations sur l'enseignement de la physique au lycée

Quelques propositions

par **Rémi BARBET-MASSIN** et **Yann BRUNEL**

Professeurs en CPGE - Lycée Henri IV - 75005 Paris
UPS et SFP

Patrick BOISSÉ

Professeur - Université Pierre et Marie Curie - 75005 Paris
SFP

Guy BOUYRIE

Professeur-arpenteur - 33400 Talence
UdPPC

Stéphane OLIVIER

Professeur en CPGE - Lycée Louis-le-Grand - 75005 Paris
UPS et UdPPC

Vincent PARBELLE

Professeur en CPGE - Lycée La Martinière Monplaisir - 69008 Lyon
Président de l'UdPPC

Jacques VINCE

Professeur-formateur - ESPE de Lyon - Lycée Ampère - 69003 Lyon
UdPPC

Ce groupe de réflexion s'est progressivement constitué dans le courant du premier semestre 2014, et a commencé ses travaux en juin de la même année. Sa constitution a été dès le départ interassociations pour que nous regroupions nos forces afin de faire évoluer l'enseignement de la physique et la formation scientifique au lycée, profondément affectés par la réforme du lycée général et technologique de 2010 (réforme dite « Chatel »).

Le groupe est ainsi composé d'enseignants de lycées, représentant l'Union des professeurs de physique et de chimie (UdPPC) et d'enseignants du supérieur (premier cycle universitaire, CPGE) représentant l'Union des professeurs de classes préparatoires scientifiques (UPS) et la Société française de physique (SFP). Le groupe a fait également appel à des enseignants du supérieur venant de l'École normale supérieure (ENS) et d'Unités de formation et de recherche de physique (UFR des Universités Paris 6 et Paris 7).

Ce travail a été mené indépendamment des programmes de collège récemment publiés. De même, il ne s'est attaché qu'à la partie "physique" des programmes de

physique-chimie ; bien entendu, il faudra être attentif à une bonne cohérence avec le programme correspondant de chimie et, à ce stade de nos réflexions, travailler conjointement avec la Société chimique de France (SCF).

1. CONSTATS ET PROPOSITIONS

La première partie de notre travail a consisté à élaborer un bilan de la réforme Chatel et des idées qui ont piloté sa mise en œuvre. Les constats présentés ci-dessous se sont appuyés sur les résultats des enquêtes menées par l'UdPPC, la SFP, mais aussi sur les réflexions d'autres acteurs comme le groupe SESAMES⁽¹⁾.

1.1. Un premier constat

Les programmes actuellement en vigueur en seconde et dans le cycle terminal scientifique ont été écrits dans l'urgence (environ six mois pour la seconde), et sans réflexion globale préalable, que ce soit entre les différentes années du cycle lycée (groupes de travail distincts) ou entre les différentes disciplines scientifiques. De plus, aucun bilan n'a été établi quant aux effets des programmes précédents (mis en place progressivement à partir de 2000). Afin, entre autres, de favoriser des changements de filière qui restent pourtant complètement marginaux, l'Institution a minimisé l'affichage scientifique de la filière S avant l'entrée en terminale, seule classe où les horaires ont été maintenus, alors qu'ils ont beaucoup diminué en première S, pour se limiter à une formation culturelle de « passeurs de sciences » et non de futurs scientifiques.

Ces programmes ont-ils d'abord été conçus pour « montrer » en quoi les sciences physiques et chimiques étaient utiles et ancrées dans le « réel », bien plus que pour doter les bacheliers S d'un solide bagage scientifique qui leur permettrait de poursuivre aisément des études scientifiques exigeantes.

Cette formation s'apparente en fait à un vernis superficiel, l'outil mathématique étant réduit à du calcul algébrique élémentaire. La démarche se limite alors, faute de bases conceptuelles solides, à un zapping permanent entre une multiplicité de domaines non reliés entre eux, et contribue ainsi à donner une image biaisée et très partielle de la physique, ramenée trop souvent à une leçon de choses descriptive. Par ailleurs, les connaissances, capacités et compétences n'y sont pas articulées de façon ordonnée. L'évaluation par compétences a été préconisée, sans formation préalable des enseignants, alors que les programmes n'avaient pas été élaborés en relation avec ces compétences : les conditions de la mise en œuvre de cette évaluation dans les classes et les conséquences qui en résultent n'ont pas été étudiées.

(1) Voir des références de documents publiés dans *Le Bup physique-chimie* édité par l'Union des professeurs de physique et de chimie en fin de cet article.

L'absence de construction de démarches pour le long terme ou de cohérence conceptuelle renforce l'image d'une physique déstructurée, souvent au service de situations courantes arbitrairement choisies et qui doivent, avant de pouvoir être traitées *en physique*, être épurées. Selon nous, les contextes courants ont toute leur place dans un enseignement de physique, mais ils ne doivent pas déterminer la structure des programmes. L'élaboration de ces derniers doit être pilotée par leur structure conceptuelle et cognitive. C'est à ce prix que les élèves pourront disposer d'outils pour mener à bien des résolutions de problèmes, qui peuvent constituer un objectif pertinent de fin de cycle terminal. S'il fallait mettre en exergue quelques grandes compétences, pourquoi, par exemple, la compétence « raisonner » n'a-t-elle pas été mise en avant ?

Il en résulte que la formation fournie actuellement au lycée prépare très mal à une poursuite en sciences physiques dans l'enseignement supérieur, en particulier dans les filières générales de licence à l'Université ou en CPGE. Le fossé entre la terminale et le supérieur est devenu considérable, ce qui risque de provoquer l'échec de nombreux étudiants, ou une diminution de la valeur des diplômes. De plus, l'image inexacte des sciences physiques donnée aux élèves en lycée peut entraîner de nombreuses erreurs d'orientation.

1.2. Des propositions

Cet état des lieux ainsi dressé nous a conduits à formuler un certain nombre de préconisations préalables à la rédaction de tout futur programme :

- ◆ Une réflexion inscrite dans la durée (à la façon dont a travaillé la commission Lagarrigue dans les années 70), donc sur plusieurs années, d'où le travail entamé par notre groupe, dès maintenant, sans attendre la constitution d'un groupe technique ou « d'experts » travaillant ensuite dans l'urgence, comme cela s'est produit encore récemment pour le collège.
- ◆ Une mise en œuvre progressive des programmes, année par année, afin d'assurer une cohérence pédagogique, particulièrement pour la première cohorte d'élèves suivant ces programmes.
- ◆ Un enseignement « multicouches » où les notions difficiles sont clairement affichées et acquises progressivement, sur plusieurs années consécutives.
- ◆ Une formation aux démarches scientifiques, où l'acquisition des méthodes et concepts est au cœur des apprentissages sans que l'élève soit distrait et leurré par une contextualisation culturelle forcément éphémère.
- ◆ Plus particulièrement en physique, une formation à la démarche de modélisation ainsi qu'à la confrontation entre modèle et réalité, deux spécificités de notre discipline qui posent énormément de problèmes aux élèves.

De telles exigences nécessitent de mettre volontairement l'accent sur la formation progressive à la rigueur, à la formalisation qui accompagne la conceptualisation, et

au raisonnement. Il faudra pour cela introduire progressivement les bases et les outils nécessaires aux différents domaines de la physique. C'est cette démarche que nous avons essayé de suivre sur l'exemple de la mécanique.

Nous visons ainsi une formation qui permettrait à la fois de fournir des bases solides aux élèves qui vont poursuivre dans le supérieur un cursus scientifique et qui aurait également du sens pour ceux qui attendent une réelle initiation à la formation scientifique, même s'ils envisagent de s'inscrire dans des parcours autres que scientifiques.

2. UN NOYAU DUR STRUCTURANT

Même s'il y a évidemment des aspects positifs dans les programmes actuels qui peuvent susciter une plus grande spontanéité et curiosité de la part des élèves et qui mettent aussi en avant différents types de démarches d'investigation ou résolutions de problèmes, nous avons d'abord choisi de travailler sur ce qui ne fonctionne plus, en redéfinissant un noyau dur réellement structurant, comportant essentiellement trois grands axes :

- ◆ **Le premier axe vise à surmonter les difficultés de la formalisation**, ce qui doit conduire à une mise en place progressive des outils adéquats et à un apprentissage donnant sens aux concepts manipulés, nécessitant une consolidation pour chaque grand domaine abordé.

Chaque nouvel outil mis en place doit être repris sur plusieurs années, faisant ainsi appel à la mémoire de long terme, tant nécessaire à la structuration scientifique.

Le principal défaut actuel est la coupure quasi-totale avec l'outil mathématique. Pour consolider le lien entre mathématiques et physique, il convient d'introduire progressivement des outils tels que l'algébrisation, le lien entre discret et continu, la représentation et le calcul vectoriels et la description d'une évolution temporelle par le biais d'une équation différentielle d'évolution. Les mathématiques apportent à la physique des outils, mais inversement, la physique fournit aux mathématiques des problématiques et des exemples concrets facilitant l'assimilation de notions abstraites. En effet, les professeurs de mathématiques se plaignent de la disparition de cette contribution de la physique dans les programmes actuels.

- ◆ **Le second axe est celui de la transversalité**. Nous avons choisi, fin 2014, de mettre en place un sous-groupe maths / physique, avec des collègues de mathématiques de lycée et du supérieur, impliqués dans les Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques (IREM), pour développer la réflexion détaillée sur certains thèmes : distinction entre variable et paramètre, dérivée d'une fonction, vecteurs. Par exemple, l'introduction du produit scalaire à partir du travail d'une force dans le cours de physique de la première S peut faciliter ensuite, en fin d'année, une présentation en mathématiques plus complète et plus abstraite de la notion de vecteur avec le recul nécessaire.

- ◆ Le troisième axe est celui de la formation à la modélisation, et de la conceptualisation (souvent formelle) qui accompagne nécessairement cette démarche. La traduction mathématique des lois de la physique permet en retour la prévision de comportements ou d'évolutions avec les limites éventuelles induites par la modélisation envisagée. La démarche type est celle qui permet à partir d'un phénomène naturel de définir les grandeurs physiques nécessaires à sa description, de les relier entre elles pour modéliser les lois régissant le comportement du système d'étude choisi, de confronter la modélisation obtenue à la réalité, de tester le caractère prédictif du modèle choisi. Le choix des domaines abordés à un niveau donné doit se faire en fonction de la faisabilité d'une telle modélisation, *via* l'utilisation d'outils adéquats à ce niveau.

3. L'EXEMPLE DE LA MÉCANIQUE

Le choix de mettre en œuvre les propositions précédentes sur l'étude de la mécanique s'est fait pour les raisons suivantes :

- c'est un domaine où les phénomènes à étudier peuvent être concrets, et où l'interface entre mathématiques et physique peut se mettre en place de façon progressive sur les trois années du lycée ;
- les grandeurs physiques associées ont une signification plus intuitive que les grandeurs électriques par exemple ;
- les aspects expérimentaux peuvent être facilement abordés quantitativement avec les capteurs modernes actuels ;
- une introduction à la résolution numérique est abordable à travers la recherche de modélisation réaliste des frottements par exemple ;
- c'est également une école de formation à la rigueur pour les non scientifiques.

Les objectifs pour mettre en œuvre les propositions précédentes ont été :

- de répartir très progressivement les difficultés techniques sur les trois années (représentation vectorielle, dérivées premières et secondes, équation différentielle d'évolution) ;
- d'afficher clairement les difficultés conceptuelles (le principe d'inertie n'est pas intuitif et vient contredire des théories naïves répandues, l'accélération peut être non nulle pour un mouvement uniforme...) et de les introduire sur des situations bien choisies, explicitées dans le programme, afin d'unifier les démarches plutôt que de faire appel à la seule liberté pédagogique.

Les points clés de la démarche retenue sont finalement les suivants :

En classe de seconde

- ◆ Une approche par variations finies de la notion de vitesse, et du lien entre force et mouvement à travers les deux expressions et formules $\Delta \vec{OM} = \vec{v} \cdot \Delta t$ et $\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$

puis un passage progressif au taux de variation, pour aboutir plus tard aux relations exprimées à partir des dérivées.

- ◆ Des lois exprimées dès le départ sous leur forme générale vectorielle, mais une pratique par les élèves réduite ensuite à des situations à une dimension où l'accent est mis sur l'algébrisation (cette algébrisation, essentielle dans tous les bilans, est un outil de formation qui dépasse largement le cadre purement scientifique).

En classe de première S

- ◆ Une approche énergétique, s'élargissant au cadre thermodynamique, aux différentes formes d'énergie et de transferts.
- ◆ Un lien en fin d'année entre cette approche énergétique et la loi de la quantité de mouvement vue en seconde, consistant à établir que la dérivée du théorème de l'énergie cinétique redonne la projection de cette loi sur la direction du mouvement, introduisant ainsi une cohérence logique entre les deux années.
Comme mentionné plus haut, le produit scalaire est ici l'outil mathématique fondamental introduit, et l'algébrisation des transferts poursuit l'approche algébrique « unidimensionnelle » amorcée en seconde.

Ces choix opérés, comparés aux exigences actuelles de la classe de première S, peuvent surprendre : ils illustrent pourtant l'ambition que nous nous sommes fixée, qui mériterait d'être aussi celle de l'Institution.

En classe de terminale S

- ◆ La loi de la quantité de mouvement est reprise dans un cadre pleinement vectoriel.
- ◆ Cette loi est également étudiée selon une équation différentielle du premier ordre qui porte sur la variable vitesse.

Ces points clés ont permis d'ébaucher un exemple de partie de programme, encore en discussion, et destiné à susciter la discussion dans le futur.

4. DES PISTES POUR LA SUITE

Au-delà de ce travail sur la mécanique, le groupe a commencé à réfléchir aux autres thèmes qui devraient trouver leur place dans un programme de physique au lycée avec toujours les mêmes principes :

- ◆ La structuration doit se faire à partir des savoirs à enseigner et non pas à partir de situations de la vie courante choisies de façon souvent discutable ; elle ne peut pas non plus être organisée selon quelques attitudes réductrices du scientifique (par exemple *observer, comprendre, agir*).
- ◆ Les thèmes choisis doivent être abordés sur plusieurs années pour renforcer une acquisition sur le long terme.

Les principaux thèmes retenus à ce jour concernent l'électricité et, à travers elle, l'élargissement à la thermodynamique pour élaborer une réflexion sur l'énergie, concept abordé en mécanique en première S, la physique atomique et subatomique, la physique des ondes et l'optique.

L'électricité

Elle serait abordée sur les trois années du cycle, prolongeant ainsi l'initiation du collège, vu son importance tant dans le domaine expérimental (incontournable en particulier dans toute démarche scientifique au niveau de la prise de mesures et de son conditionnement avant traitement), que théorique (c'est un domaine qui se prête bien à la modélisation, et à la formalisation mathématique associée) :

- ◆ **En seconde**, l'étude serait centrée sur les effets thermiques du courant continu, l'effet Joule, et le rôle des conducteurs ohmiques comme capteurs ou convertisseurs courant / tension.
- ◆ **En première S**, on aborderait le fonctionnement des piles, l'électrolyse et la conductimétrie en lien avec la chimie, mais aussi le fonctionnement de photodétecteurs (photodiode), des sources de lumière telles les DEL, pour en dresser les bilans d'énergie associés.
- ◆ **En terminale S**, on aborderait l'étude des régimes variables, autour du circuit RC, avec comme support mathématique l'équation différentielle d'évolution, évoquée aussi en mécanique, en complétant là encore cette étude par les aspects énergétiques associés.

La physique atomique et subatomique

Elle ferait l'objet de deux parties essentielles :

- ◆ L'une **en première S** qui porte sur les niveaux d'énergie dans les atomes, complétée par une introduction à la spectroscopie, en lien avec la chimie ; pour illustrer le propos, on analysera des spectres optiques d'émission, continus ou de raies, d'une étoile aux sources de lumière de la vie courante (DEL, lasers, lampes fluocompactes...) et des spectres d'absorption, dans le visible et l'infrarouge.
- ◆ L'autre **en terminale S**, autour de la décroissance radioactive avec, comme dans les autres domaines abordés à ce niveau, le support mathématique de l'équation différentielle du premier ordre associée, complétée ici par une application de l'approche probabiliste présente dans le programme de mathématiques.

L'optique

- ◆ **En première S**, l'optique géométrique serait abordée, avec l'étude des lois de Descartes, du miroir plan, des lentilles convergentes.
- ◆ **En terminale S**, l'apport de la pratique expérimentale de l'optique géométrique

acquise en première S permettra une ouverture à l'optique ondulatoire par l'étude de phénomènes qui en sont la marque (interférences, diffraction de la lumière).

La physique des ondes

- ◆ **En première S**, on recense différents types d'ondes mécaniques pour étudier ensuite la notion d'onde progressive (notions de célérité et de retard de propagation), d'onde progressive périodique (période spatiale ou longueur d'onde, et période temporelle).
- ◆ **En terminale S**, on abordera les notions d'interférences et diffraction, dans différents domaines de la physique (acoustique, optique) et on évoquera quelques phénomènes liés aux ondes, tel l'effet Doppler non relativiste.

Une ouverture vers des thématiques communes avec les Sciences de la vie et de la Terre (SVT), dans le domaine de la géophysique (du géomagnétisme à la tectonique des plaques par exemple), est envisagée, mais la réflexion à ce sujet n'a pu encore être suffisamment développée à ce stade.

Bien sûr, il conviendra également de développer autant que possible une bonne synergie avec l'enseignement de la chimie, qui n'est pas abordé dans ce document.

Quelques enquêtes et constats publiés dans *Le Bup physique-chimie* (édité par l'Union des professeurs de physique et de chimie)

- ◆ *Programme de terminale S : nos constats, nos difficultés, nos inquiétudes...*
Groupe Sesames-Physique : H. Bastard, A. Martinache, A. M. Miguet, S. Perrey, V. Piel, T. Rondepierre et J. Vince
Le Bup n° 951 (février 2013, p. 227-231).
- ◆ *Résultats de l'enquête sur le programme de première S*
UdPPC Bureau national
Le Bup n° 952 (mars 2013, p. 265-278).
- ◆ *Résultats de l'enquête sur le programme de terminale S*
UdPPC Bureau national
Le Bup n° 962 (mars 2014, p. 399-421).
- ◆ *Résultats de l'enquête sur l'impact des programmes de lycée en première année d'enseignement supérieur*
N. Lebrun, R. Barbet-Massin, S. Magnier et D. Dumora
Le Bup n° 972 (mars 2015, p. 319-348).

Annexe

Exemple de programme de mécanique au lycée

De toutes les branches de la physique, la mécanique est sans doute celle qui offre l'expérience sensorielle quotidienne la plus riche et la plus immédiate. C'est aussi un domaine de la physique qui permet d'illustrer l'intérêt de démarches classiques utilisées en physique pour décrire les phénomènes.

Pour l'apprentissage, les deux caractéristiques précédentes sont un indéniable atout, mais également un défi : c'est parce que les observations que le physicien identifie comme des « situations de mécanique » sont omniprésentes et que le besoin d'explication est naturel, que tout un chacun a pu construire dès le plus jeune âge des « théories naïves » robustes, des raisonnements spontanés souvent opératoires pour expliquer un large panel de situations. Pour aller vers la maîtrise des lois de la mécanique, il est nécessaire de « déconstruire » ces théories, en limitant l'arbitraire, et de se doter d'un vocabulaire scientifique en justifiant sa valeur ajoutée par rapport au vocabulaire courant. Ceci induit de rendre explicite, dans les programmes et pour les élèves, l'abandon de certains raisonnements spontanés et la redéfinition, en physique, de certains termes d'usage courant.

L'enseignement de la mécanique au lycée est construit avec le souci d'une cohérence interne entre les contenus des classes de seconde, première S et terminale S et interagit naturellement avec d'autres rubriques de la physique.

Il est aussi construit avec le souci d'une cohérence externe avec les enseignements de mathématiques et de sciences de la vie et de la terre. Un autre message essentiel, porté particulièrement dans l'enseignement de la mécanique, est que le formalisme mathématique est un outil incontournable qui, au lieu d'être un obstacle, doit permettre de comprendre. Ceci suppose que les savoirs et savoir-faire mathématiques soient disponibles.

En seconde

On introduit les concepts de vitesse, de quantité de mouvement et de force et on énonce les principes de la dynamique en s'appuyant sur l'observation. Pour ne pas renforcer les associations spontanées entre force et vitesse par exemple, la force est présentée d'abord indépendamment des mouvements comme la modélisation d'une action d'un système sur le système d'étude. Le diagramme système-interaction est en ce sens un outil utile. La description intuitive d'une action qu'un élève peut exercer sur un objet permet de légitimer l'usage du vecteur. La première mise en lien

entre mouvement du système et forces subies, cœur de l'apprentissage de la classe de seconde, est formalisée par le théorème de la quantité de mouvement, comme un bilan de quantité de mouvement $\vec{\Delta p} = \vec{F} \cdot \Delta t$. On ne travaille qu'avec des variations ou éventuellement des taux de variation, préparant ainsi l'introduction de la dérivée dans le cours de mathématiques de première. Par ailleurs, l'aspect vectoriel est introduit et illustré dans le cours, mais les capacités exigibles des élèves se limitent à des situations unidimensionnelles, avec trois forces au maximum ; en revanche la manipulation de grandeurs scalaires algébriques conduit à affronter, dans un domaine où l'observation est un guide précieux, les questions d'algébrisation. Enfin, une approche expérimentale permet d'illustrer la complexité du mouvement général d'un solide, de faire prendre conscience de la perte d'informations générée par le choix d'un point pour l'étude du mouvement, d'introduire la notion de centre d'inertie et de réduire finalement l'étude d'un solide en translation à celle d'un unique point, sans que le système devienne ce point (le système garde sa forme, sa masse...).

Cette rubrique du programme de seconde doit à la fois contribuer à la formation générale de tous les élèves (notion de système, de bilan, maîtrise d'outils mathématiques et numériques...) et les aider à s'orienter vers les filières de première en leur donnant une image la plus précise possible de ce que sera l'apprentissage de la physique en filière scientifique.

Le programme de mécanique de première

Il s'inscrit dans une approche globale de l'énergie, en posant sa propriété de conservation comme définissant le concept lui-même. On introduit les concepts d'énergie cinétique et de travail (comme quantificateur d'un transfert d'énergie) et on formule le théorème de l'énergie cinétique comme un bilan d'énergie cinétique $\Delta E_c = W$. On introduit le concept d'énergie potentielle sur le cas particulier du poids, ce qui conduit à une loi de conservation de l'énergie mécanique (dans une rubrique « thermodynamique » du programme, on montrera que cette loi de conservation doit être « étendue »). La construction possible de l'énergie potentielle, illustrée par le cas du poids, est soumise à une condition sur le travail de la force associée : ceci permet d'introduire un critère adapté à la classe de première pour distinguer forces conservatives et forces non conservatives et pour justifier le choix de cet adjectif. Une fois que la dérivée a été introduite dans le cours de mathématiques, on fait sans développements techniques le lien entre la conservation de l'énergie mécanique et le théorème de la quantité de mouvement sur le cas particulier d'un mouvement rectiligne dans le champ de pesanteur.

Le programme de mécanique de la classe de terminale

Il prolonge les programmes de seconde et de première en sortant du cadre scalaire

associé aux trajectoires rectilignes. Le contexte reste celui de systèmes dont on étudie le mouvement du centre d'inertie ou de solides en translation. L'étude quantitative du solide en rotation n'est pas abordée dans le programme de physique : elle relève des géosciences ou des sciences industrielles.

CLASSE DE SECONDE

Afin d'aider les élèves à structurer leurs connaissances, il convient d'aboutir autant que possible dans chaque rubrique à une loi quantitative en précisant les savoir-faire (en physique et en mathématiques) associés qui seront mis en œuvre sur des situations simples. En parallèle, on s'attachera à faire le lien entre les thèmes abordés et des situations de la vie courante. La mécanique offre également de nombreuses opportunités d'aborder quelques traits saillants de l'épistémologie et de l'histoire de la discipline. Les ouvertures vers d'autres disciplines doivent être valorisées : par exemple, la poursuite de deux mobiles est analogue à l'évolution du PIB (Produit intérieur brut) de deux pays ayant des taux de croissance différents. Il est crucial d'adopter un vocabulaire précis, nécessairement commun avec les autres disciplines : variation de $G = \Delta G = G_{\text{final}} - G_{\text{initial}}$; taux de variation de G qui vaut $\Delta G / \Delta t$. Ces définitions seront utiles y compris aux élèves qui ne poursuivront pas d'études scientifiques.

La mécanique se prête bien à un enrichissement mutuel des mathématiques et de la physique : il faut faire réfléchir les élèves au statut (variable, fonction, paramètre, constante) des grandeurs utilisées selon le contexte, leur apprendre à « raisonner avec des lettres », à mettre un problème simple en équations (équation du premier degré), à transposer un problème formulé en langage usuel vers le langage mathématique (c'est utile pour tous), à visualiser graphiquement les relations mises en jeu, à repérer le domaine de variation pertinent pour une grandeur.

Dans le programme de seconde, les aspects vectoriels sont présentés par le professeur, mais les capacités exigibles des élèves se limitent aux situations unidimensionnelles (mouvements rectilignes). Le professeur est libre de ne présenter les aspects vectoriels qu'après avoir traité le cas unidimensionnel.

CLASSES DE SECONDE

Contenus	Exemples - supports	Objectifs de formation	Remarques
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Repérage d'un point d'un mobile dans l'espace et le temps ; notion de référentiel. ◆ Introduction expérimentale du vecteur-vitesse défini par la relation $\vec{v} \cdot \Delta t = \overrightarrow{\Delta OM}$. ◆ Lien avec le calcul courant d'une vitesse moyenne (rubrique suivante). 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Pointage avec une caméra numérique. ◆ Utiliser la caméra comme approche intuitive du concept de référentiel. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Comprendre le rôle de la discrétisation, le rôle du choix du pas Δt. ◆ Comprendre le caractère vectoriel du déplacement et du vecteur-vitesse. ◆ Faire le lien entre la relation $\vec{v} \cdot \Delta t = \overrightarrow{\Delta OM}$ et l'addition de vecteurs. ◆ Comprendre que tous les points d'un solide n'ont en général pas le même mouvement et que le choix du point induit <i>a priori</i> de la perte d'information ; définir un solide en translation. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ On a ici l'occasion d'interagir avec les sciences du numérique. ◆ On se limite aux mouvements plans. ◆ L'aspect vectoriel s'appuie sur l'expérience et ne donne lieu à aucune capacité exigible.
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Mouvement rectiligne uniforme vitesse $v = \Delta x / \Delta t$. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Modélisation locale d'un mouvement réel. ◆ Croisement de deux mobiles en mouvement sur une même droite. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Manipuler un taux d'accroissement. ◆ Manipuler une grandeur algébrique ($v > 0$ ou $v < 0$). ◆ Lier espace et temps. ◆ Résoudre une équation du premier degré avec un paramètre. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ On prépare l'introduction de la dérivée en mathématiques. Il convient de ne pas sous-estimer les difficultés liées aux différences de notations : la variable est souvent notée x en mathématiques. ◆ On prépare l'étude du cas où v n'est pas constante en première et en terminale. ◆ L'étude du croisement de deux mobiles en mouvement sur une même droite est une bonne occasion pour traiter le problème graphiquement (croisement de droites dans un plan (t, x)) en parallèle du travail algébrique.

CLASSES DE SECONDE			
Contenus	Exemples - supports	Objectifs de formation	Remarques
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Composition des vitesses «à une dimension». 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Approche expérimentale à l'aide d'une caméra mobile. Déplacement dans un train. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Prendre conscience du caractère relatif du mouvement. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Cette rubrique permet de rendre quantitatif le caractère relatif du mouvement. ◆ Cette rubrique sera réinvestie dans l'étude de la propulsion par réaction. ◆ On se restreint aux cas les plus simples (vitesse d'entraînement positive).
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Exemples de forces : poids et attraction gravitationnelle (et lien avec le poids). ◆ Poussée d'Archimède, forces de contact entre deux solides ou exercée par un opérateur, ressort... ◆ Principe des actions réciproques. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Lancer avec les mains d'un système vers le haut puis chute puis réception. ◆ Mouvements d'un parachutiste. ◆ Montgolfière. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Faire l'inventaire des forces subies par un système. ◆ Distinguer forces de contact et force à distance (étude illustrée par des exemples) (ce sont des rappels de troisième). ◆ Distinguer le poids d'un objet posé et l'action de contact exercée par cet objet sur le support. ◆ Souligner que les actions réciproques envisagées le sont au même instant (par opposition au sens courant de « réaction »). 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Les lois de force sont fournies. ◆ À ce stade, on affirme que le poids est confondu avec l'action gravitationnelle de la Terre. ◆ On représente les forces par des vecteurs, mais on se restreint aux situations unidimensionnelles. ◆ Souligner que la poussée d'Archimède a elle aussi une réciproque (par exemple avec l'expérience de la « balance d'Archimède »). ◆ On pourra introduire ici les « schémas éclatés » faisant figurer les différents partenaires des interactions en les séparant de façon à éviter les bilans sur les points de contact et en faisant systématiquement figurer les deux actions réciproques. Ces schémas sont un bon moyen de séparer poids d'un objet posé et action de contact. ◆ La force de traînée permet de ne pas se limiter à la statique.

CLASSES DE SECONDE			
Contenus	Exemples - supports	Objectifs de formation	Remarques
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Quantité de mouvement d'un point choisi pour décrire le mouvement et auquel on a affecté la masse du système, d'un système de points, d'un solide en translation. ◆ Notion de système isolé ou pseudo-isolé. ◆ Principe de l'inertie. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Vitesse de recul d'un canon : propulsion par réaction. ◆ Voile solaire. ◆ Chocs de plein fouet. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Expliciter, pour les déconstruire, les raisonnements spontanés associant force et vitesse. ◆ Comprendre qu'un système peut être en mouvement sans subir aucune force. ◆ Savoir définir le système considéré et éventuellement ses sous-systèmes. ◆ Exploiter une loi de conservation. ◆ Traduire la condition nécessaire sur les forces pour qu'un solide soit en translation rectiligne uniforme. ◆ Ne pas confondre « équilibre » et « égalité des actions réciproques » (égalité qui s'applique aussi bien en situation d'accélération). 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Ouverture qualitative vers la nécessité des vecteurs (une explosion est rarement unidimensionnelle !). ◆ Pour les chocs, on ne s'intéresse pas à ce qui se passe au moment du choc (discontinuité de vitesse), mais seulement au bilan entre un instant antérieur et un instant ultérieur quand les deux particules n'interagissent pas. ◆ <u>Remarque</u> : cela peut ici être une occasion de faire remarquer que savoir que le centre de masse se déplace à vitesse constante n'implique pas que le solide soit en mouvement de translation rectiligne uniforme (il peut y avoir rotation)...
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Approche expérimentale du mouvement du centre d'inertie d'un système (ensemble de deux points matériels, solide) soumis à des forces extérieures de résultante nulle. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Approche expérimentale du centre d'inertie : exploiter le mouvement des deux composantes d'une étoile double. ◆ Filmer le mouvement du centre d'inertie d'un solide et d'un autre point. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Étendre le principe de l'inertie au mouvement du centre d'inertie d'un système. ◆ Comprendre que cela suffit à décrire le mouvement d'un solide en translation. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Il s'agit de montrer la complexité du mouvement général d'un solide (lien avec les géosciences et les sciences industrielles) et de montrer qu'un solide en translation peut être modélisé par un unique point confondu avec son centre d'inertie sans perte d'information sur le mouvement du solide.
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Système non isolé. Notion de force et loi de la quantité de mouvement. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Explosion d'un système isolé en deux sous-systèmes. ◆ Chocs. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Comprendre qu'un mouvement dans un sens donné peut se faire sans aucune force dans ce sens. ◆ Distinguer les forces intérieures et extérieures. ◆ Comprendre pourquoi la quantité de mouvement globale se conserve alors que celles des sous-systèmes varient. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ La loi de la quantité de mouvement est écrite sous la forme $\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$.

CLASSE DE PREMIÈRE S

Le programme de mécanique de la classe de première S prolonge le programme de seconde par un questionnement autour de l'énergie en mécanique : formes d'énergie, bilans d'énergie, échanges d'énergie, conservation éventuelle d'une énergie.

Comme en classe de seconde, les capacités exigibles des élèves concernent uniquement des situations unidimensionnelles. Le programme est rédigé dans le cas de points matériels. On admet sa transposition pour des solides en translation.

S'agissant de l'outil mathématique, les élèves sont désormais confrontés à une grandeur quadratique qui peut conduire à extraire une racine carrée, voire à résoudre une équation du second degré.

Une rubrique modeste, qui doit être traitée après l'introduction de la dérivée en mathématiques, permet de formuler la loi de la quantité de mouvement avec une dérivée au lieu d'un taux d'accroissement : on prépare ainsi le cours de terminale S, sans qu'il soit question à ce stade d'écrire une dérivée seconde ou d'intégrer une fonction.

CLASSE DE PREMIÈRE S			
Contenus	Exemples – supports	Objectifs de formation	Remarques
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Énergie cinétique d'un point matériel. ◆ Travail d'une force constante lors d'un mouvement rectiligne ($W > 0$ ou < 0) ; force perpendiculaire au mouvement, force parallèle au mouvement ; cas général par superposition. ◆ Théorème de l'énergie cinétique pour un point matériel. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Poids. ◆ Force électrique dans un champ uniforme. ◆ Solide glissant sur un plan horizontal, avec frottement solide. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Une force perpendiculaire au mouvement ne travaille pas. ◆ Exploiter un bilan énergétique pour déterminer le point d'arrêt d'un mouvement. ◆ Par différents choix de définition du système, mettre en évidence le travail des forces inétrieures. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Le théorème de l'énergie cinétique est présenté comme un bilan. ◆ L'expression générale du travail $W = F \times d \cos \alpha$ permet de motiver l'introduction du produit scalaire en mathématiques en première S. ◆ On met ici en évidence le fait que des forces dont la somme est nulle peuvent avoir des effets énergétiques importants.
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Énergie potentielle de pesanteur. ◆ Énergie mécanique. ◆ Exemple simple de force non conservative. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Mouvement vertical dans le champ de pesanteur uniforme. ◆ Approche qualitative du pendule simple. ◆ Frottement solide sur plan horizontal. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Associer un travail indépendant du chemin suivi (on se limite aux trajectoires rectilignes) et une énergie potentielle. ◆ Construire et exploiter une nouvelle grandeur conservative. ◆ Discuter qualitativement la nature du mouvement et ses bornes éventuelles sur le graphique de l'énergie potentielle. ◆ Mettre en évidence la décroissance de l'énergie mécanique et l'échauffement associé. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Calculer le travail sur un chemin faisant un aller-retour illustre la nécessité d'algébriser le travail. ◆ Cette rubrique illustre l'intérêt d'une représentation graphique et permet de discuter l'influence d'un paramètre. ◆ Cette rubrique illustre la nécessité d'extension de la notion d'énergie au-delà du seul domaine mécanique, en lien avec l'introduction en seconde de l'énergie interne.
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bilans d'énergie et de quantité de mouvement lors d'interactions. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Choc de plein fouet (une dimension) de deux points matériels : choc mou, choc élastique. ◆ Le problème du neutrino dans la radioactivité bêta (à placer dans la rubrique radioactivité si celle-ci est traitée en terminale S). 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Exploiter la conservation de la quantité de mouvement globale. ◆ Faire apparaître une dissipation d'énergie cinétique dans le cas du choc mou. ◆ Montrer qu'en l'absence du neutrino, l'énergie ne peut pas se conserver. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Cette rubrique vient consolider les bilans de quantité de mouvement abordés en seconde. ◆ Le problème du neutrino illustre l'universalité d'échelle de la mécanique. ◆ Pour les chocs, il ne s'agit pas de traiter le cas général : le choc mou conduit à des calculs simples ; pour les chocs élastiques, on fait le bilan sur des chocs observés, mais on ne fait pas le calcul des vitesses finales à partir des lois de conservation.

CLASSE DE PREMIÈRE S			
Contenus	Exemples - supports	Objectifs de formation	Remarques
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Introduction à la formulation différentielle des lois de la mécanique. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Chute libre. ◆ Frottement solide sur un plan horizontal. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Passer des taux de variation aux dérivées dans la formulation des lois de la mécanique. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Il s'agit de préparer le cours de terminale S : en dérivant l'expression du théorème de l'énergie cinétique on retrouve la loi de la quantité de mouvement sous une forme différentielle, dont on affirme la généralité. ◆ On souligne le caractère plus complet de cette dernière de par son caractère vectoriel.

CLASSE DE TERMINALES (ébauche en cours de modification)			Remarques
Contenus	Exemples - supports	Objets de formation	
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Compléments de cinématique : vecteur-vitesse, vecteur accélération. ◆ Trajectoire. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Mouvement à accélération nulle. ◆ Mouvement circulaire uniforme. ◆ Mouvement à accélération constante. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Passer du cadre scalaire à un cadre vectoriel. ◆ Dévier d'une trajectoire rectiligne (même à vitesse constante), c'est accélérer. ◆ Gérer une situation où la trajectoire est inconnue. 	
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Deuxième loi de Newton : $\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum \vec{F}$. 		<ul style="list-style-type: none"> ◆ Dépasser quantitativement sur des exemples le cadre du principe de l'inertie. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Comme pour la troisième loi (2nd), souligner que les termes de gauche et de droite sont pris au même instant.
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Force gravitationnelle. Mouvement sur une trajectoire circulaire. ◆ Énergie potentielle de gravitation (admise). 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Satellites ; 3^e loi de Kepler sur la période. ◆ Modèle planétaire d'atome. ◆ Vitesses de libération. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Passer du cadre scalaire à un cadre vectoriel. Exploiter le théorème de l'énergie cinétique pour justifier que la vitesse est constante. ◆ Exploiter la deuxième loi de Newton pour établir la 3^e loi de Kepler. ◆ Universalité d'échelle de la mécanique. 	
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Mouvement plan dans un champ de forces uniforme. ◆ Conservation (constante) de l'énergie mécanique en utilisant l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur vue en première. ◆ Évolution de la vitesse en présence d'une force de frottement dépendant linéairement de la vitesse. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme. ◆ Mouvement d'une particule chargée dans un champ \vec{E} uniforme. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Projeter la deuxième loi de Newton sur deux axes. Obtenir l'équation de la trajectoire. ◆ Choisir entre un raisonnement énergétique et un raisonnement dynamique selon la question posée. ◆ Introduire la notion d'équation différentielle du premier ordre : $\tau \frac{dv}{dt} + v = 0$. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Premier exemple (difficile) dans lequel la trajectoire n'est pas donnée <i>a priori</i>. ◆ Lien avec l'équation différentielle en radioactivité.