Expérimentation et modélisation, la place du langage mathématique en physique-chimie

GRIESP[1]

[1] Groupe de Recherche et d'Innovation dans l'Enseignement de Sciences Physiques

Expérimentation et modélisation, la place du langage mathématique en physique-chimie

Introduction

En physique-chimie une large palette de langages scientifiques est activée, que ce soit au niveau de la démarche expérimentale avec les mesures et leurs exploitations graphiques, ou au niveau de la démarche de modélisation avec l'élaboration et l'utilisation de relations littérales entre des grandeurs physiques (scalaires, algébriques, vectorielles, différentielles). Or, en collège comme au lycée, l'utilisation de ces langages est source de difficultés pour les élèves : difficulté de maîtrise de certains concepts et outils mathématiques (proportionnalité, calcul littéral, unités et conversions, puissances de dix, vecteurs, projections, primitives, etc.), attente trop rapide des enseignants d'une maîtrise experte par l'élève ou coordination insuffisamment développée entre les différentes disciplines.

Ce document, rédigé par le GRIESP[2], a pour objectif de rendre compte d'un travail sur des obstacles rencontrés par les élèves lors de la construction ou l'exploitation de modèles en physique-chimie, en particulier lors de l'utilisation de relations littérales. Il propose des pistes pédagogiques qui prennent appui sur l'ensemble des langages à disposition en renforçant le passage de l'un à l'autre et en travaillant la progressivité des apprentissages dans le cadre d'une approche spiralaire.

Quatre axes de réflexion sont présentés : les activités d'expérimentation et de modélisation dans l'enseignement de la physique-chimie, les changements de registres et plus précisément le passage des représentations graphiques aux relations littérales, le calcul littéral et les apports des outils numériques.

Ce document fournit un ensemble de ressources pédagogiques, allant du cycle 3 à la classe de terminale. Ces ressources sont construites autour d'objectifs d'apprentissage des programmes de physique-chimie mettant en jeu, lors de la modélisation des phénomènes, un formalisme mathématique pouvant générer des difficultés pour les élèves. Les scénarios pédagogiques proposés passent par une analyse qualitative des phénomènes et un travail sur le sens à donner aux représentations graphiques afin de mieux comprendre et exploiter les relations littérales. Par ailleurs, des supports numériques, élaborés à partir d'un logiciel de géométrie dynamique[3] permettent d'exploiter les modèles élaborés et de renforcer encore la maîtrise des relations littérales associées aux modèles. Les activités incluent des aides ou des coups de pouce, ainsi que des approfondissements, à fournir aux élèves en fonction de leurs besoins, permettant ainsi d'opérer une différenciation pédagogique. Ces activités ont toutes été testées en classe et certaines d'entre elles contiennent des analyses d'extraits de copies d'élèves.

---

[2] Groupe de Recherche et d'Innovation dans l'Enseignement de sciences physiques : groupe national soutenu par la DGESCO, piloté par le groupe physique-chimie de l'Inspection générale, animé par deux IA-IPR et composé de 12 professeurs de collège, de lycée et de CPGE (annexe 3).

[3] Un logiciel possible, libre de droit, est GeoGebra. Une production du GRIESP intitulée *« L'utilisation d'un logiciel de géométrie dynamique, un atout pour l'enseignement de la physique-chimie »* est mise en ligne sur le portail national physique – chimie d'Eduscol.

1. L'expérimentation et la modélisation au collège et au lycée

a. Pourquoi et modéliser et expérimenter au collège et au lycée ?

La science se définit tout à la fois comme un ensemble cohérent de connaissances relatives à des faits, des objets ou des phénomènes obéissant à des lois et/ou vérifiés par les méthodes expérimentales et comme une activité qui consiste à étudier et à analyser les lois qui régissent des phénomènes, c'est-à-dire à modéliser le réel. Le préambule du programme de première S explicite le fonctionnement de la science : « *la science est un mode de pensée qui s'attache à comprendre et décrire la réalité du monde à l'aide de lois toujours plus universelles et efficientes, par allers et retours inductifs et déductifs entre modélisation théorique et vérification expérimentale.* »

À tous les niveaux d'enseignement en physique-chimie, les programmes proposent une présentation la plus authentique possible de la science et de ses méthodes, avec des activités proposées aux élèves qui visent à se rapprocher des pratiques des scientifiques. À ce titre, la pratique expérimentale et les activités de modélisation y tiennent une place centrale avec une entrée progressive dans l'abstraction, le langage mathématique utilisé étant de plus en plus complexe.

Ainsi lit-on dans le préambule du programme de physique-chimie du cycle 4 : *« Les sciences expérimentales et d'observation, dont font partie la physique et la chimie, explorent la nature pour en découvrir et expliciter les lois, […]. Les finalités de leur enseignement au cycle 4 sont de permettre à l'élève :*

- *d'accéder à des savoirs scientifiques enracinés dans l'histoire et actualisés, de les comprendre et de les utiliser pour formuler des raisonnements adéquats ;*
- *de saisir par une pratique concrète la complexité du réel en observant, en expérimentant, en mesurant, en modélisant ;*
- *de construire, à partir des faits, des idées sur le monde qui deviennent progressivement plus abstraites et puissantes ;*
- *... »*

De même, dans le préambule du programme de la classe de terminale S, est-il écrit :
« Le programme de physique-chimie de terminale S se situe dans le prolongement de celui de première S en approfondissant la formation à la démarche scientifique. […] Les supports d'informations proposés aux élèves seront multiples et diversifiés : textes de vulgarisation et textes scientifiques en français et éventuellement en langue étrangère, tableaux de données, constructions graphiques, vidéos, signaux délivrés par des capteurs, spectres, modèles moléculaires, expériences réalisées ou simulées, etc. L'exploitation sera conduite en passant par l'étape d'identification des grandeurs physiques ou chimiques pertinentes et par celle de modélisation. Cette formalisation pourra conduire à l'établissement des équations du modèle, puis à leur traitement mathématique, numérique ou graphique ».

Signalons qu'en mathématiques, six compétences majeures[4] de l'activité mathématique sont développées du cycle 4 aux CPGE[5]. Les attendus de fin de cycle 4 pour la compétence travaillée « modéliser » sont les suivants :

[4] Les six compétences à travailler dans les programmes de mathématiques sont : chercher, modéliser, représenter, raisonner, calculer, communiquer

[5] Dans le programme de mathématiques de première année de CPGE, trois de ces six compétences à développer sont *:*
– s'engager dans une recherche, mettre en œuvre des stratégies *: découvrir une problématique, l'analyser, la transformer ou la simplifier, expérimenter sur des exemples, formuler des hypothèses, identifier des particularités ou des analogies ;*

« *- Reconnaître des situations de proportionnalité et résoudre les problèmes correspondants.*
- Traduire en langage mathématique une situation réelle (par exemple, à l'aide d'équations, de fonctions, de configurations géométriques, d'outils statistiques).
- Comprendre et utiliser une simulation numérique ou géométrique.
- Valider ou invalider un modèle, comparer une situation à un modèle connu (par exemple un modèle aléatoire). »

Ces quelques extraits de programmes attestent de l'importance de la modélisation dans la formation scientifique dispensée au collège et au lycée et de l'intérêt à travailler en étroite collaboration avec le professeur de mathématiques tout au long du cursus pour favoriser l'acquisition par les élèves des savoir-faire liés à la modélisation et aux différents langages mathématiques. La connaissance, par le professeur de physique-chimie, des programmes de mathématiques des classes antérieures et des classes en responsabilité est essentielle ; une présentation synthétique des programmes de mathématiques, du cycle 4 aux classes de terminales scientifiques, est fournie en annexe 1. Par ailleurs, une progressivité dans la mise en œuvre d'un concept, harmonisée avec celle proposée en mathématiques, peut contribuer à en développer une meilleure maîtrise ; un exemple sur la proportionnalité figure en annexe 2.

b. Quelles modélisations dans les programmes au collège et au lycée ?

Les modèles en physique-chimie ne font pas toujours appel aux langages mathématiques[6] ; ce document se limite aux modèles les faisant intervenir.

Au collège sont développés les modèles proportionnels entre masse et volume pour les liquides et les solides, entre poids et masse, entre distance et durée pour les mouvements uniformes ou la propagation des signaux, entre tension et intensité pour certains dipôles, entre énergie et durée pour tous les dipôles (les programmes du cycle 4 étant limités aux systèmes fonctionnant à puissance constante). Il convient de montrer aussi qu'il existe des phénomènes qui ne peuvent être décrits par des relations de proportionnalité. Enfin, d'autres modèles plus complexes font intervenir des relations entre un plus grand nombre de grandeurs, comme celui de la gravitation universelle.

Au lycée, les situations de modélisations sont nombreuses avec les lois de la réfraction, les relations de conjugaison dans les lentilles, les trois lois de Newton, la conservation de l'énergie, la modélisation des transformations chimiques avec la stœchiométrie des réactions, les bilans de matière et la constante d'équilibre, etc.

c. Comment expérimenter et modéliser au collège et au lycée ?

Parvenir à des équations mathématiques pour rendre compte du réel n'interdit pas au professeur de « *faire appel à des exploitations qualitatives conduites avec rigueur. L'emploi de celles-ci s'avère particulièrement opportun dans le cas où elles permettent de dégager directement le sens de l'étude que pourrait masquer un développement calculatoire. Ainsi, l'analyse dimensionnelle, l'examen*

---

*– **modéliser** : extraire un problème de son contexte pour le traduire en langage mathématique, comparer un modèle à la réalité, le valider, le critiquer ;*
*– **représenter** : choisir le cadre (numérique, algébrique, géométrique ...) le mieux adapté pour traiter un problème ou représenter un objet mathématique, passer d'un mode de représentation à un autre, changer de registre ; … »*

[6] En chimie, les équations des réactions faisant intervenir les symboles des éléments modélisent les transformations chimiques ; en électricité, la représentation d'un circuit électrique sous forme de schéma avec des dipôles « idéaux » est aussi une forme de modélisation.

préalable des différents phénomènes en cause, la comparaison d'ordres de grandeur peuvent permettre une simplification efficace du cadre conceptuel de la situation et fournir une résolution élégante, rapide, à un problème a priori complexe. Familiariser ainsi l'élève à pratiquer des raisonnements qualitatifs, à savoir faire de la physique et de la chimie "avec les mains" »[7]

La démarche pédagogique prenant appui sur le tryptique - contextualisation - décontextualisation-recontextualisation - est particulièrement adaptée à l'enseignement de la physique chimie. Différents types d'activité peuvent être proposées.

- À partir d'une situation contextualisée, une problématique scientifique étant dégagée, on peut procéder à la reproduction du phénomène au laboratoire, à son analyse qualitative, à l'identification des grandeurs physiques qui le décrivent quantitativement, à la réalisation des mesures et à la recherche des relations qui lient ces grandeurs à partir de divers tracés graphiques. Ce travail permet la construction d'un modèle. La validation du modèle passe alors par la prévision de comportements et par leur confrontation au réel. Une analyse, même qualitative, des erreurs et des incertitudes associées participe de cette phase de validation.
- Dans certains cas, par exemple, mais pas uniquement, lorsque l'expérience n'est pas réalisable au laboratoire, il est possible de fournir un modèle aux élèves et de les questionner sur son universalité ou sur ses limites. Par exemple, on peut donner aux élèves le modèle proportionnel relatif à la loi d'Ohm, leur demander s'il peut s'appliquer à tous les dipôles, les laisser émettre des hypothèses et proposer des expériences pour les valider.
- Une exploitation des modèles peut être proposée au moyen d'outils numériques ou de simulation en indiquant bien aux élèves qu'il ne s'agit pas, au sens strict du terme, d'une expérience ; il est alors aisé avec ces outils de faire varier des grandeurs et de constater rapidement les effets sur d'autres grandeurs et de confronter au réel de manière qualitative ou quantitative.

2. Des représentations graphiques aux relations littérales

Comme précisé dans le paragraphe précédent, l'activité de modélisation est au cœur de la démarche scientifique. La construction d'un modèle débute souvent par le choix des grandeurs qui caractérisent un phénomène et par le choix d'hypothèses simplificatrices, l'objectif étant ensuite de construire une relation entre ces grandeurs permettant de décrire le phénomène étudié, puis de prévoir le comportement d'un système physique ou chimique. Le travail sur les relations entre grandeurs est donc un élément important contribuant à la bonne compréhension de la démarche de modélisation. Dans ce cadre, il est nécessaire d'activer une diversité de registres :

- le registre verbal qui permet de décrire le phénomène étudié ou l'expérience réalisée et de « mettre en mots » le graphique tracé ou la relation établie entre des grandeurs ;
- le registre graphique qui donne une représentation visuelle statique ou dynamique de la relation entre des grandeurs ;
- le registre conceptuel ou symbolique qui formalise une dépendance entre des grandeurs sous la forme d'une relation mathématique (expression littérale). C'est le registre qui exige les plus fortes capacités d'abstraction de la part des élèves, mais c'est aussi celui qui donne

[7] Extrait du préambule du programme de terminale S

une dimension prédictive et quantitative au modèle selon un principe de parcimonie et d'efficacité.

Ces trois registres ne se travaillent pas systématiquement de manière successive en commençant par le plus accessible (le verbal), pour terminer par le plus conceptuel. Si l'étude expérimentale d'un pendule pesant peut commencer par une description qualitative (quand la longueur L du fil augmente la période d'oscillation T augmente), puis s'affiner par le tracé d'une des grandeurs en fonction de l'autre pour ensuite arriver à la relation de proportionnalité entre T et $\sqrt{L}$. L'étude de la force gravitationnelle peut prendre le chemin inverse. « Faire parler » des relations littérales, que ce soit à l'aide de représentations graphiques ou à l'aide des mots de la langue française, est un changement de registre reconnu pour aider à la bonne maîtrise des relations mathématiques.

Le registre conceptuel ou symbolique fait fortement appel aux concepts mathématiques qui sont abordés à partir du cycle 4 ; il est celui qui est le plus difficile à mettre en œuvre par les élèves. Cela ne signifie pas pour autant qu'il faille repousser son apprentissage. Au contraire, c'est pour cette raison que l'approche se doit d'être progressive. Ainsi, le calcul d'une valeur de vitesse connaissant les valeurs de la distance parcourue et de la durée associée du parcours peut se faire en début de cycle 4 mais la capacité à exploiter littéralement la relation $d=v\times t$ est un attendu de fin de cycle. Pour une expression plus compliquée comme celle de la force de gravitation universelle, on attendra simplement que l'élève sache exploiter numériquement ou « faire parler » la relation : la valeur de la force augmente quand la distance diminue, les deux masses en interaction restant identiques. Au lycée, la place du registre conceptuel augmente en centrant progressivement les apprentissages sur l'évolution spatiale et temporelle des grandeurs et en introduisant les concepts de dérivée et de vecteurs.

La ressource « Super-Lune », présentée dans ce document, montre les obstacles que rencontrent les élèves de troisième face à une relation littérale qui donne l'expression de l'angle sous lequel on voit un astre situé à une certaine distance. En effet les écrits des élèves font apparaitre une difficulté à relier cette relation au phénomène d'éclipse étudié.

La place du langage mathématique dans le registre conceptuel joue ici un rôle essentiel et un travail en collaboration avec les professeurs de mathématiques est souhaitable pour identifier ce qui peut être travaillé en commun au bénéfice des élèves. Même s'il concerne principalement le lycée et les premières années de l'enseignement supérieur, le document[8] « Rapprochements didactiques entre trois disciplines scientifiques dans la continuité [bac-3 ; bac+3] » permet d'approfondir ce sujet.

Le registre graphique a une place particulière dans le domaine de la physique-chimie car il se situe souvent à l'interface entre le modèle et les données expérimentales : l'exploitation de résultats expérimentaux, que ce soit pour comparer les résultats à un modèle, chercher une relation de proportionnalité, construire ou utiliser une courbe étalon, passe régulièrement par le tracé d'un graphique. Dans le cadre de sa formation, l'élève est donc conduit à construire divers graphiques et à les analyser.

Les outils informatiques sont une aide incontestable pour construire les graphiques, mais la construction à la main et sur papier, sans être systématique, ne doit pas être négligée ; elle permet à l'élève de s'approprier progressivement les attendus en termes de construction d'un graphe

[8] http://cache.media.eduscol.education.fr/file/Mathematiques/29/9/Ressources_Math_Rapprochements_didactiques_Maths-PHCH-SI_359299.pdf

scientifique, sans perdre de vue le lien avec la problématique étudiée. La construction de graphiques n'est pas une spécificité de la physique-chimie, de nombreuses disciplines sont concernées par cette activité ; la difficulté pour l'élève réside souvent, entre autres, au fait que les attendus au niveau des graphes ne sont pas les mêmes d'une discipline à l'autre. S'il est important de donner de la cohérence entre les disciplines et d'avoir des exigences communes, cela ne peut être systématique tant la forme du graphique est liée au type d'information que l'on souhaite en extraire. Il convient que le professeur de physique-chimie prenne en considération les différences de pratiques disciplinaires et les raisons de ces différences afin d'identifier et de comprendre les difficultés des élèves pour y remédier.

La lecture des graphiques demande aussi à être abordée de manière progressive : le passage du repérage d'un point sur un graphique à l'analyse du comportement d'une grandeur sur ce même graphique n'est pas immédiat. Ainsi lorsque l'on représente le déplacement x (cas unidimensionnel) d'un objet en fonction du temps, avant de demander à l'élève comment évolue la vitesse de l'objet, il peut être utile de vérifier que l'élève lit correctement le graphique et est en mesure d'appréhender que lorsque « x diminue », l'objet « recule ». Cette approche progressive est nécessaire si l'on veut pouvoir atteindre des niveaux de complexité d'analyse graphique plus importants comme le présente l'activité sur la relativité restreinte.

Le registre graphique est régulièrement sollicité pour travailler sur les relations entre deux grandeurs. Parce que les graphiques permettent de donner des représentations visuelles des expressions littérales, ils constituent une aide à la maitrise de ces dernières, et des modèles de physique-chimie associés. Les allers-retours entre les représentations graphiques et les relations littérales aident les élèves à appréhender la nécessité et l'intérêt du calcul littéral. Les outils numériques de programmation et de visualisation permettent d'ajouter une dimension dynamique à la représentation visuelle d'un modèle et contribue à donner du sens aux relations littérales ; le document *« L'utilisation d'un logiciel de géométrie dynamique, un atout pour l'enseignement de la physique-chimie* » propose des pistes de travail sur ce thème.

3. Le calcul littéral

Au collège, puis au lycée, le calcul littéral occupe une place essentielle dans les activités des élèves, notamment pour modéliser à partir de données expérimentales, pour effectuer des prévisions quantitatives à partir d'un modèle connu ou, plus généralement, dans le cadre d'activités de résolution de problème.

Dès l'école obligatoire, l'apprentissage du langage de l'algèbre élémentaire est nécessaire pour « comprendre, s'exprimer en utilisant les langages mathématiques, scientifiques et informatiques" (domaine 1 du socle). Ce langage est dès lors un bien commun, qu'il convient de cultiver dans toutes les disciplines, et notamment en physique-chimie. Cela suppose une bonne connaissance de la progressivité de l'apprentissage mis en œuvre en mathématiques et surtout des obstacles qui apparaissent très tôt chez les élèves et peuvent entraîner des difficultés. La didactique de l'algèbre est bien développée et on peut trouver de nombreuses informations[9] à ce propos, en particulier sur le portail Eduscol dédié aux mathématiques pour le collège[10]. Le calcul littéral, par définition, utilise des outils algébriques (lettres, fonctions) dont l'usage est tellement familier aux

[9] Le passage de l'arithmétique, qui utilise des nombres, à l'algèbre, qui utilise des lettres, est source de conflit cognitif, d'autant que les lettres peuvent représenter des unités, des grandeurs physiques ou être simplement des abréviations.
[10] Portail national de ressources mathématiques : http://eduscol.education.fr/cid99696/ressources-maths-cycle.html

professeurs de physique-chimie que les obstacles évoqués en didactique des mathématiques ne sont pas toujours connus et donc pris en considération. La progressivité de l'apprentissage du calcul littéral doit donc être pensée afin de tenir compte de ces obstacles, en collaboration avec le professeur de mathématiques. Ainsi, les relations littérales présentes en physique-chimie, au cycle 4, font souvent apparaître des égalités où interviennent trois lettres désignant des grandeurs physiques de statuts divers ($v = d/t$, $m = \rho \times V$, $P = m \times g$, $P = U \times I$, $E_c = ½ \times m \times v^2$…)[11], situations rarement abordées en mathématiques.

Même si la définition de la masse volumique est étroitement associée à la relation $m = \rho \times V$, la construction de cette notion peut se faire de manière progressive sans exposer les élèves d'emblée à cette relation au début de l'apprentissage. Par exemple, la masse volumique peut d'abord être présentée comme un coefficient de proportionnalité entre la masse et le volume. Lors de l'étude expérimentale d'une huile alimentaire, la relation entre la masse et le volume mesurés peut être écrite, dans une première approche, sous la forme[12] $m = 900 \times V$ (ou $m = 0,9 \times V$), avec seulement deux lettres et un nombre, en l'accompagnant d'une « traduction » en langage courant : la valeur de la masse d'un matériau donné, exprimée en kilogramme, est égale à la valeur de son volume exprimé en mètre cube (en litre ou décimètre-cube), multipliée par 900 (0,9). L'étude expérimentale d'autres matériaux permet de montrer que ce coefficient change selon le matériau étudié, et on peut alors justifier l'intérêt d'introduire une nouvelle lettre (ρ), qui aura alors le statut de grandeur physique caractéristique d'une substance, grandeur intensive contrairement aux grandeurs masse et volume. Lors du passage de l'expression littérale à l'application numérique, il est recommandé de garder dans le calcul numérique posé, au moins dans un premier temps, les unités – qui sont également des lettres – dont le statut doit être explicité à ce niveau. Les questions essentielles de l'analyse dimensionnelle et du contrôle de l'homogénéité des formules seront prises en compte plus spécifiquement au lycée.

L'accompagnement personnalisé permet de s'assurer de la compréhension de chaque étape de cet apprentissage, en apportant les aides nécessaires ou en proposant des prolongements pour les élèves les plus avancés.

La manipulation des expressions littérales nécessite, elle aussi, une progressivité et n'est pas toujours un passage obligé pour déterminer une grandeur inconnue au collège ; par exemple, si l'on cherche l'intensité, exprimée en ampère, du courant parcourant une résistance de 500 ohms dont la tension aux bornes est de 12 volts, on peut accepter la résolution numérique $12\ \mathrm{V} = 500\ \Omega \times I$ sans exiger de passer par l'écriture de l'expression littérale $I = U/R$.

De même, le passage de l'expression $v = d/t$ à $d = v \times t$ ou à $t = d/v$ doit faire sens pour l'élève ; il doit à terme devenir un automatisme de manière à libérer l'esprit de l'élève pour aborder des tâches complexes. Il convient de parvenir à lui faire apprécier l'efficacité de ce langage algébrique afin qu'il puisse le mettre en œuvre pour résoudre des problèmes au lycée. Les allers et retours entre ce registre symbolique « expert » et le registre verbal sont essentiels pour que les élèves gardent le sens des opérations effectuées sur les expressions littérales ; à ce titre, certains moyens

[11] En mathématiques, figure souvent le signe $\times$ entre deux lettres pour indiquer l'opérateur multiplication entre les grandeurs en début d'apprentissage, l'objectif étant de s'en affranchir en fin de cycle 4.

[12] $m = 9.10^2 \times V$ est sans doute préférable sur le plan scientifique, mais elle ne peut être utilisée que si les élèves maitrisent les puissances de 10.

mnémotechniques font perdre le sens des opérations effectuées ; le « triangle magique »[13] en est un des exemples les plus caractéristiques. Ce n'est qu'en fin de cycle 4 que l'on peut attendre une certaine aisance dans la manipulation de ces expressions, et il sera sûrement nécessaire de consolider ces acquis en début de lycée.

Au lycée, le travail sur le calcul littéral sera poursuivi, en continuant de mettre l'accent sur le sens des expressions, grâce aux changements de registre précédemment évoqués. Ainsi, la concentration massique, vue en classe de seconde, est associée à une expression littérale, $C = m/V$; elle est identique formellement à l'expression définissant la masse volumique : un travail sur le sens est alors indispensable pour éviter les confusions entre ces deux grandeurs. C'est la raison pour laquelle la notion de concentration n'a pas lieu d'être introduite, avec son expression littérale, au cycle 4.

Par ailleurs, lors de l'étude du phénomène de la réfraction de la lumière en classe de seconde, sont utilisées des fonctions de grandeurs (sinus de l'angle d'incidence par exemple) pour passer du registre verbal lié à l'observation (si i_1 augmente, i_2 augmente) au registre conceptuel qui aboutit à la relation de Snell-Descartes, relation de proportionnalité entre deux fonctions de grandeurs physiques : ce passage est loin d'être aisé pour l'élève. L'usage des parenthèses est aussi à expliciter soigneusement, on note en effet $\sin(i_1)$ pour bien montrer qu'il s'agit de la valeur prise par la fonction sinus pour l'angle i_1, sans oublier d'indiquer que les parenthèses qui figurent parfois sur les axes d'un graphique n'ont pas le même statut : les notations I(mA) ou L(m) signifient « intensité du courant exprimée en milliampère » ou « longueur exprimée en mètre » et ne représentent pas une quelconque fonction. On peut suggérer, pour éliminer cet obstacle dans un premier temps, de noter I(en mA) ou L(en m).

4. Les apports des outils numériques

Les outils numériques, à travers les logiciels de simulation et notamment de géométrie dynamique, permettent de fournir aux élèves une visualisation rapide du comportement des modèles et des effets induits par des évolutions de différents paramètres. Ils ne peuvent pas se substituer à l'expérience, mais ils aident à confronter le modèle à l'expérience, et peuvent conduire à concevoir d'autres expériences.

Ils sont explicitement recommandés au cycle 4 en mathématique « *L'élève développe son intuition en passant d'un mode de représentation à un autre : numérique, graphique, algébrique, géométrique, etc. Ces changements de registre sont favorisés par l'usage de logiciels polyvalents tels que le tableur ou les logiciels de géométrie dynamique. L'utilisation du tableur et de la calculatrice est nécessaire pour gérer des données réelles...* »

Parmi les ressources, certaines proposent, au niveau du lycée, de prolonger le travail sur la modélisation par une activité mettant en œuvre le logiciel de géométrie dynamique GeoGebra avec pour objectif de favoriser tout à la fois l'aller-retour entre théorie et expérience, mais aussi le sens donné aux relations littérales entre les grandeurs physiques dans les lois. Par ailleurs, l'utilisation de ce même logiciel en physique-chimie et en mathématiques pourra concourir à donner de la cohérence aux deux enseignements.

[13] Voir par exemple le document « renouer avec le calcul », publié dans l'académie de Créteil : http://spcfa.ac-creteil.fr/spip.php?article927

5. Quelques ressources

Ces ressources comportent des descriptions de séquences et d'activités proposant une progressivité dans l'abstraction avec des allers-retours entre réalité et modèle et des passages féconds d'une forme de langage à une autre : langue française, tableaux, graphiques, schémas, relations littérales, applications numériques, etc.

5.1. Au niveau du collège

Cette activité vise, à travers la réalisation effective d'une recette de cuisine, à travailler d'une part la notion de proportionnalité et d'autre part à dégager les représentations des élèves sur la densité de diverses matières rencontrées dans la vie quotidienne afin de les conforter ou de les corriger par des mesures.

Cette activité a pour but de présenter et d'exploiter la notion de masse volumique d'un liquide puis d'un solide. Après une activité préparatoire concernant la flottaison d'un œuf dans de l'eau du robinet et dans de l'eau salée, les élèves commencent par mesurer la masse et le volume d'un liquide à leur disposition, puis mettent en commun leurs mesures lors du tracé d'un graphe afin de pouvoir comparer les liquides. La reconnaissance d'une situation de proportionnalité leur permet de déterminer le coefficient de proportionnalité que le professeur identifie à la masse volumique. Le retour à l'activité préparatoire permet de dégager le critère de flottaison, ce qui ouvre finalement à la détermination approchée de la masse volumique d'un solide et à celle indirecte de son volume.

Cette activité étudie le mouvement d'un avion à partir de sa trace sur un écran radar. La vitesse de cet avion est calculée à partir de la trace et le lien est fait entre la vitesse et le coefficient de proportionnalité entre la distance et la durée.

Au cours d'un exercice qui s'appuie sur des données expérimentales de mesures de tension et d'intensité, les élèves argumentent autour d'un protocole rédigé par un autre élève. Un graphique U(I) est tracé et les élèves sont amenés à reconnaître une situation de non-proportionnalité.

Cette activité permet d'étudier l'éclipse totale de la « super Lune » le 28 septembre 2015 à partir de l'analyse d'un article de journal décrivant cet évènement. L'objectif de cette activité est de conduire les élèves à s'interroger sur les informations données dans un article de presse : évolution du diamètre apparent de la Lune et non-respect de l'échelle sur un schéma de l'article. Pour atteindre ces objectifs, les élèves seront conduits d'une part à exploiter qualitativement une relation non linéaire entre deux grandeurs, et d'autre part à utiliser la proportionnalité à partir notamment de la relation liant vitesse, distance et durée.

5.2. Au niveau du lycée

La recette du gâteau au yaourt

Niveau : **Cycle 3 (6ème)**

Thème en sciences et technologie : Matière, mouvement, énergie et information.

Résumé de l'activité

Cette activité vise, à travers la réalisation effective d'une recette de cuisine, à travailler d'une part la notion de proportionnalité et d'autre part à dégager les représentations des élèves sur la densité de diverses matières rencontrées dans la vie quotidienne afin de les corriger ou de les conforter par des mesures.

Objectifs d'apprentissage

Les élèves travaillent des compétences expérimentales sur des mesures de masse ; ils rédigent un protocole qu'ils mettent en œuvre et en tirent une conclusion argumentée.

Programme de sciences et technologie

Connaissances et compétences associées	**Exemples de situations, d'activités et de ressources pour l'élève**
Décrire les états et la constitution de la matière à l'échelle macroscopique	
Identifier à partir de ressources documentaires les différents constituants d'un mélange.	
Quelques propriétés de la matière solide ou liquide (par exemple : densité, solubilité, élasticité...). La masse est une grandeur physique qui caractérise un échantillon de matière.	

Programme de mathématiques associé

Connaissances et compétences associées	**Exemples de situations, d'activités et de ressources pour l'élève**
Thème : Nombres et calculs *Résoudre des problèmes en utilisant des fractions simples, les nombres décimaux et le calcul*	
Reconnaître et résoudre des problèmes relevant de la proportionnalité en utilisant une procédure adaptée.	

Compétences travaillées dans la partie I

Compétences	Principales capacités visées
S'approprier des outils et des méthodes *Domaine du socle : 2*	Utiliser les outils mathématiques adaptés.
Pratiquer des langages *Domaine du socle : 1*	Exploiter un document constitué de divers supports (texte, schéma, graphique, tableau, algorithme simple).

Compétences travaillées dans la partie II

Compétences	Principales capacités visées
S'approprier des outils et des méthodes *Domaine du socle : 2*	Choisir ou utiliser le matériel adapté pour mener une observation, effectuer une mesure ou réaliser une expérience. Faire le lien entre la mesure réalisée, les unités et l'outil utilisés.
Pratiquer des langages *Domaine du socle : 1*	Rendre compte des observations, expériences, hypothèses, conclusions en utilisant un vocabulaire précis.

Pratiquer des démarches scientifiques et technologiques *Domaine du socle : 4*	Interpréter un résultat expérimental, en tirer une conclusion.

Nature et origine des documents utilisés :

Tous les documents utilisés dans cette activité ont été créés par le GRIESP.

Déroulement de l'activité

Les professeurs partageant avec leur collègue de SVT l'enseignement de science et technologie de la classe de 6[eme] peuvent aligner cette activité sur la partie « Expliquer les besoins variables en aliments de l'être humain ; l'origine et les techniques mises en œuvre pour transformer et conserver les aliments. » prise en charge par leur collègue.

Cette activité peut être réalisée en classe entière ou en demi-groupe.

Elle a été testée à deux reprises avec des groupes d'EIST (18 et 19 élèves) dans un collège REP.

Durée de mise en œuvre de la ressource : environ 4 h. Suivant le niveau scolaire des élèves, la durée peut bien évidemment beaucoup varier. Si le professeur souhaite être plus directif que dans la proposition de déroulé ci-dessous, la durée de mise en œuvre peut être raccourcie à 2 h.

Phase 1 QCM : cette première phase d'appropriation dure environ 15 minutes Le joker n'a pas été nécessaire aux élèves.

Phase 2 : Le gâteau aura-t-il le même goût ? On pourra faire remarquer que la question concerne uniquement le goût et non pas le nombre de personnes.

Phase 3 : Compléter la recette (exemple de déroulement, à titre indicatif)
Après avoir réfléchi 5 min individuellement sur leur cahier d'expériences, les équipes de 3 à 4 élèves mettent en commun leurs idées. Au bout de 10 min, la mise en commun des idées doit être terminée et les membres de l'équipe doivent s'être mis d'accord sur l'idée qu'ils vont approfondir parmi toutes celles de l'équipe. Les équipes les plus rapides sont invitées à commencer à rédiger leur protocole et leur liste de matériel avant la fin des 10 min. Un « maître du temps » chronomètre les durées annoncées par le professeur et le prévient quand la phase de travail est terminée.

Après avoir consulté le professeur, les équipes sont autorisées à aller chercher le matériel. Seul le responsable du matériel de l'équipe a le droit de se déplacer pour prendre du matériel pour son équipe. Il n'est pas le seul à décider mais le seul à pouvoir se déplacer de l'ilot de travail vers la zone où est stockée le matériel. Les instruments de mesure ne sont pas sortis dans un premier temps mais cachés dans un placard. Les équipes sont donc censées y penser et les demander.

Si le groupe classe n'est pas encore assez autonome, le professeur peut choisir d'apporter le matériel à chaque équipe. Pour que les équipes ne perdent pas trop de temps, le professeur peut les aider à s'organiser dans un échange en grand groupe avant la distribution du matériel (exemple : schématiser l'expérience avant de la mener).

Après la phase d'expérimentation qui dure environ 1 h, les équipes n'auront pas forcément d'explication mais auront vérifié expérimentalement leurs hypothèses.

Un rapporteur par groupe prend la parole pour 2 min (chronométrées). Il explique ce qui a été tenté par son équipe au reste de la classe. Quand il a fini sa restitution, il donne la parole aux élèves qui souhaitent poser des questions ou faire des commentaires sur le travail de l'équipe. Le professeur prend en note ce qui est dit par les équipes. Ces notes seront la base du bilan écrit de la séance.

Phase 4 : Conclusion.

Le professeur reprend les mesures des différentes équipes sous la forme d'un tableau.

Une fois le tableau de mesures complété, les élèves devraient se rendre compte que la masse d'un pot rempli de farine est très différente de celle d'un pot de rempli de yaourt ou de sucre.

Avec l'aide éventuelle du professeur, les élèves concluent que, pour un même volume, la masse des différents ingrédients n'est pas du tout la même.

Remarques :

- Il est nécessaire de prévoir des pots de yaourts identiques et en quantité suffisante.
- Pour raccourcir le temps de mise en œuvre de l'activité, il est possible d'être directif et de demander aux élèves de fabriquer leur pâte à gâteau (avec leur quantité en gramme) pour la comparer à une pâte réalisée préalablement par le professeur avec les quantités correctes afin de les comparer.
- De même, il est possible de demander aux élèves de fabriquer une pâte à gâteau avec les quantités en gramme (qu'ils ont déterminées) et une seconde avec les quantités en pot.

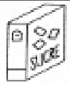
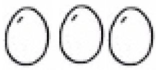
Les deux types de pâtes réalisées par les élèves.

Activité élève

Activité préparatoire : la recette du gâteau au yaourt

1. Tu souhaites préparer un gâteau facile et rapide pour l'anniversaire d'un ami. Après quelques recherches, tu as trouvé cette recette :

Le gâteau au yaourt pour 6 personnes

		1 yaourt
		2 pots de yaourt remplis de sucre
		3 œufs
		4 pots de yaourt remplis de farine
		1 sachet de levure
		½ pot de yaourt rempli d'huile

Préchauffer le four thermostat 8.
Vider le yaourt dans un grand bol puis conservez le pot.
Utiliser le pot pour verser tous les ingrédients dans un grand bol.
Mélanger pendant 3 min plus rapidement.
Beurrer un moule rond à bords hauts et verser la préparation.
Faire cuire à thermostat 8 pendant 45 min.

Questions

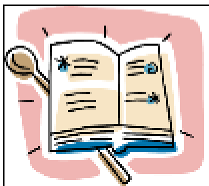
Cocher la case correspondant à la bonne réponse.

a) D'après la recette, il faut verser en premier :
☐ Le sucre ☐ La farine ☐ Le yaourt ☐ L'huile

b) Pour réaliser la recette, il faut remplir le pot de yaourt avec de la farine :
☐ Deux fois ☐ Trois fois ☐ Quatre fois

c) Pour réaliser la recette, il faut remplir le pot de yaourt avec du sucre :
☐ Une fois ☐ Deux fois ☐ Trois fois

2. Les invités ont apprécié le gâteau. Un ami a donc voulu réaliser le même et a trouvé la recette ci-dessous.



Liste des ingrédients :

- 2 yaourts
- 4 pots de yaourt remplis de sucre
- 8 pots de yaourt remplis de farine
- 1 pot de yaourt rempli d'huile
- 2 sachets de levure
- 6 œufs

Question : le gâteau obtenu aura-t-il le même goût que le tien? Expliquer la réponse.

Activité expérimentale : la recette du gâteau au yaourt (partie II)

Un ami souhaite refaire le gâteau au yaourt pour six personnes en respectant ta recette. Malheureusement, il a jeté le pot de yaourt, mais il possède une balance. Pour l'aider, tu as commencé à rédiger la recette différemment…

<u>Ma recette du gâteau au yaourt</u>
<u>pour 6 personnes</u>

120 g de yaourt
55 g d'huile
1 sachet de levure
3 œufs
…….
……..

Le coin du chercheur 	**1. Compléter la recette.** Rédiger un texte court pour expliquer la méthode et rendre compte de tes expériences.

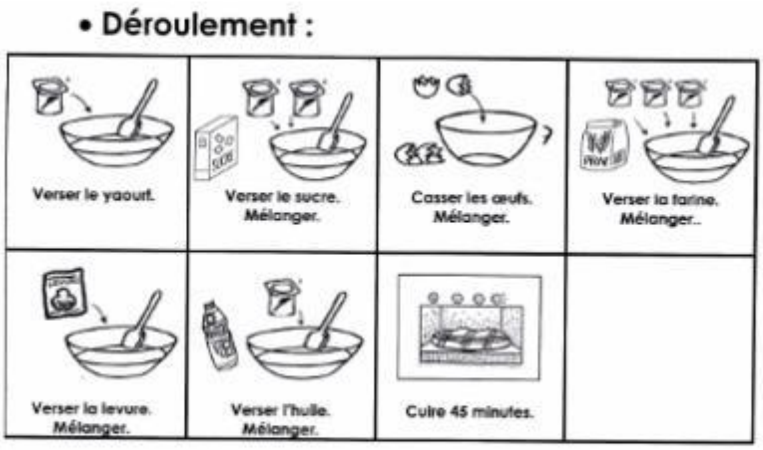
2. Conclusion

Comparer la masse d'un pot de yaourt rempli de farine à celle d'un pot de yaourt rempli de sucre.

Aides

Les aides suivantes peuvent être apportées si l’élève est en difficulté.

__Joker n°1 : pour la partie I__



__Joker n°2 : pour la partie II__

Tu disposes du matériel suivant : un pot de yaourt, d’un saladier, d’une balance, d’une bouteille d’huile, de sucre, de farine, d’un verre doseur, etc.

Exemple de correction

ACTIVITE 1

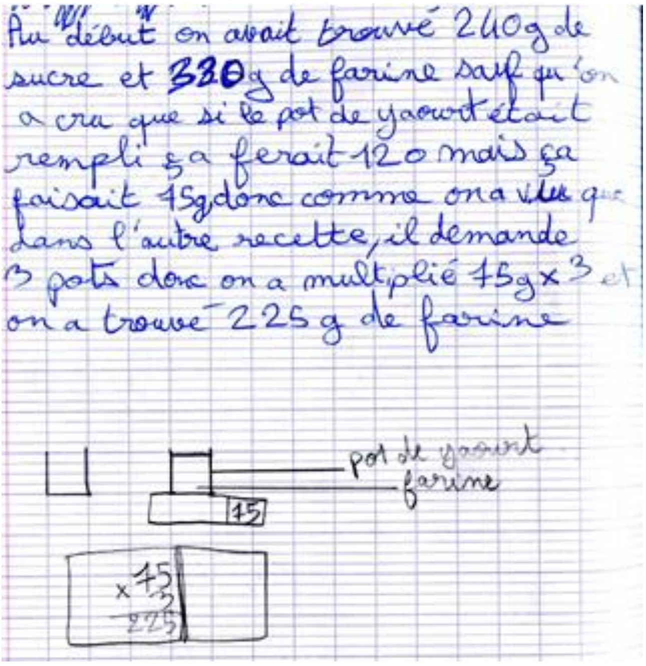
Pratiquer des langages *Domaine du socle : 1.* Exploiter un document constitué de divers supports (texte, schéma, graphique, tableau, algorithme simple).	1. a) D'après la recette, il faut verser en premier : ☐ Le sucre ☐ La farine ☒ Le yaourt ☐ L'huile b) Pour réaliser la recette, il faut remplir le pot de yaourt avec de la farine : ☐ Deux fois ☐ Trois fois ☒ Quatre fois c) Pour réaliser la recette, il faut remplir le pot de yaourt avec du sucre : ☐ Une fois ☒ Deux fois ☐ Trois fois
S'approprier des outils et des méthodes *Domaine du socle : 2* Utiliser les outils mathématiques adaptés.	2. Ce gâteau aura le même goût car toutes les quantités ont été multipliées par 2. Il s'agit du même gâteau mais pour 12 personnes.

ACTIVITE 2

S'approprier des outils et des méthodes *Domaine du socle : 2* Choisir ou utiliser le matériel adapté pour mener une observation, effectuer une mesure ou réaliser une expérience. Faire le lien entre la mesure réalisée, les unités et l'outil utilisés.	3. - Remplir un pot de yaourt vide de farine. - Mesurer sa masse à l'aide d'une balance. - Multiplier la masse d'un pot rempli de farine par 4 et noter le résultat dans la recette. - Puis remplir un pot de yaourt vide de sucre. - Mesurer sa masse à l'aide d'une balance. - Multiplier la masse d'un pot rempli de sucre par 2 et noter le résultat dans la recette. OU - Remplir 4 pots de yaourt vide de farine. - Mesurer la masse de l'ensemble à l'aide d'une balance. - Noter le résultat dans la recette. - Puis remplir 2 pots de yaourt vide de sucre. - Mesurer la masse de l'ensemble à l'aide d'une balance. - Noter le résultat dans la recette La masse de 4 pots de yaourt remplis de farine est de 340 g La masse de 2 pots de yaourt remplis de sucre est de 220 g. Le problème de la masse du pot de yaourt vide n'est pas abordé ici de manière à ne pas cumuler les problématiques. Si la question est soulevée par un élève, il devient nécessaire de traiter le problème, l'utilisation de balance avec une tare peut alors simplifier les choses.
Pratiquer des démarches scientifiques et technologiques *Domaine du socle : 4* Interpréter un résultat expérimental, en tirer une conclusion.	4. - Il y a 2 fois plus de pots de farine que de pots de sucre. - La masse de farine nécessaire pour faire la recette ne correspond pas au double de la masse de sucre. - La masse d'un pot de farine est différente de la masse d'un pot de sucre donc pour un même volume la masse des ingrédients est différente. La masse est une caractéristique de la matière, pour un volume donné.

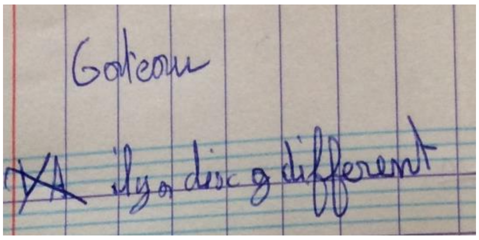
Exemples de productions d'élèves et commentaires

Les écrits sont issus des cahiers de laboratoire (appelés aussi cahiers de recherche) qui permettent aux élèves d'exprimer leurs réflexions, de rendre compte de leurs expériences et interprétations de façon libre et non évaluée.

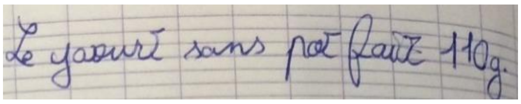


Des équipes d'élèves ont multiplié la masse du pot contenant du yaourt en utilisant les coefficients des pots pour compléter la recette et ont souhaité faire les deux recettes pour vérifier qu'il s'agissait bien du même gâteau.

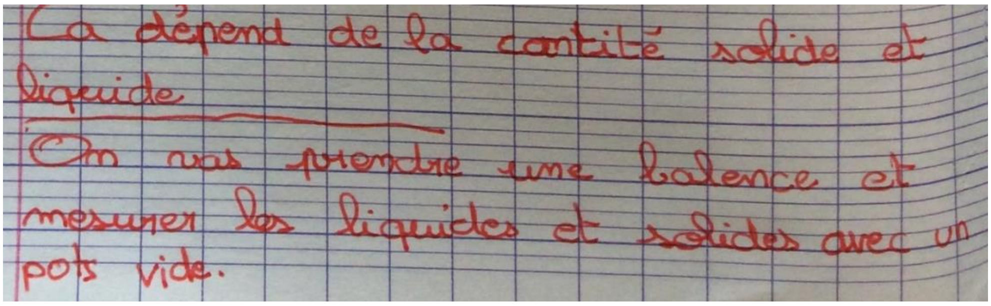
D'autres équipes ont été en désaccord lors de leurs échanges (en interne) sur la référence à prendre pour la multiplication avec les coefficients : le pot rempli de yaourt (120 g) ou le pot rempli d'huile (110 g).

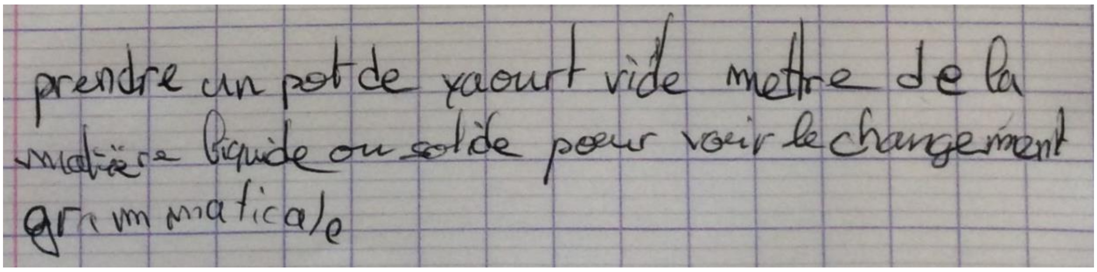


Le professeur leur a demandé de trouver une raison pour cette différence (en leur précisant qu'il n'y avait pas d'erreur de frappe). Voici l'explication proposée par deux équipes :



Pour cette équipe, c'est parce qu'on n'a pas fait la tare lors de la mesure de la masse de yaourt contenue dans un pot alors qu'elle a été faite lors de la mesure de la masse de l'huile contenue dans un pot.


Ca dépend de la contité solide et liquide
On vas prendre une balence et mesurer les liquides et solides avec un pots vide.


prendre un pot de yaourt vide mettre de la matière liquide ou solide pour voir le changement grammaticale

Pour cette seconde équipe, c'est l'état de la matière qui compte, l'état solide pesant plus que l'état liquide.

Après échange avec l'équipe autour du cahier d'expériences ci-dessus, « le changement grammaticale » signifie pour l'élève et son équipe « le changement de grammes » soit la différence de masse entre le pot de solide (le yaourt) et le pot de liquide (l'huile).

Il peut être intéressant de faire remarquer aux élèves les différences de résultats entre les équipes et d'échanger sur les explications possibles. Le cas de la farine étant extrême puisqu'il s'agit d'un solide pulvérulent et suivant que les élèves tassent ou non la farine dans le pot, les résultats diffèrent énormément. De plus, on pourra évoquer les incertitudes dues à l'outil de mesure et les erreurs dues à la manipulation.

Lien entre le volume et la masse – la masse volumique

Niveau : **Cycle 4**
Thème en physique-chimie : Organisation et transformation de la matière

Résumé de l'activité

Cette activité a pour but de présenter et d'exploiter la notion de masse volumique d'un liquide puis d'un solide. Elle est conçue pour être proposée aux élèves sur plusieurs séances, non nécessairement lors de la même année, et tire profit de la tenue d'un cahier de laboratoire. Après une activité préparatoire concernant la flottaison d'un œuf dans de l'eau du robinet et dans de l'eau salée, les élèves commencent par mesurer la masse et le volume d'un liquide à leur disposition, puis mettent en commun leurs mesures lors du tracé d'un graphe afin de pouvoir comparer les liquides. La reconnaissance d'une situation de proportionnalité leur permet de déterminer le coefficient de proportionnalité que le professeur identifie à la masse volumique. Le retour à l'activité préparatoire permet de dégager le critère de flottaison, ce qui ouvre finalement à la détermination approchée de la masse volumique d'un solide et à celle indirecte de son volume.

Objectifs d'apprentissage

Les élèves travaillent la notion de masse volumique, par l'intermédiaire du tracé d'un graphe et de son exploitation. Ils perçoivent l'intérêt d'une grandeur ramenée à une même "taille de système" pour pouvoir effectuer des comparaisons.

Programme de physique-chimie

Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d'activités et d'outils pour l'élève
Proposer et mettre en œuvre un protocole expérimental pour déterminer une masse volumique d'un liquide ou d'un solide. Exploiter des mesures de masse volumique pour différencier des espèces chimiques. Masse volumique : Relation $m = \rho.V$	L'intérêt de la masse volumique est présenté pour mesurer un volume ou une masse quand on connaît l'autre grandeur mais aussi pour distinguer différents matériaux. Un travail avec les mathématiques sur les relations de proportionnalité et les grandeurs-quotients peut être proposé.

Programme de mathématiques associé

Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d'activités et d'outils pour l'élève
Thème B - Organisation et gestion de données, fonctions : *Résoudre des problèmes de proportionnalité*	
Reconnaitre une situation de proportionnalité ou de non-proportionnalité.	Étudier des relations entre deux grandeurs mesurables pour identifier si elles sont proportionnelles ou non.
Thème C : grandeurs et mesures : *Calculer avec des grandeurs mesurables ; exprimer les résultats dans les unités adaptées.*	
Mener des calculs impliquant des grandeurs mesurables, notamment des grandeurs composées, en conservant les unités. Vérifier la cohérence des résultats du point de vue des unités. Notion de grandeur produit et de grandeur quotient.	Identifier des grandeurs composées rencontrées en mathématiques ou dans d'autres disciplines (par exemple, aire, volume, vitesse, allure, débit, masse volumique, concentration, quantité d'information, densité de population, rendement d'un terrain).

Compétences travaillées (d’après le volet 2 du programme de physique-chimie)

Compétences	Principales capacités visées
Pratiquer des démarches scientifiques *Domaine du socle : 4*	Mesurer des grandeurs physiques de manière directe ou indirecte. Développer des modèles simples pour expliquer des faits d’observations et mettre en œuvre des démarches propres aux sciences.
Pratiquer des langages *Domaine du socle : 1*	Passer d’une forme de langage scientifique à une autre.

Déroulement de l'activité

Les trois activités, d'une durée d'une heure chacune, peuvent être présentées successivement ou réparties le long du cycle (les deux premières sont conçues être traitées successivement, la troisième peut être exploitée plus tard dans l'optique de réinvestissement des acquis). Il est à noter qu'elles s'appuient sur certaines compétences mathématiques (proportionnalité, représentation graphique) qui doivent avoir été traitées. L'ensemble de ces activités est prévu pour des élèves de cycle 4.

Activité préparatoire. Le professeur présente les deux liquides (eau du robinet et eau très salée) et les deux récipients aux élèves. Il met initialement le même niveau de liquide dans chacun des deux béchers (qui sont identiques), puis il y plonge l'œuf cru successivement. S'ensuit alors une discussion avec les élèves sur ce qui semple important ou non pour la flottaison de l'œuf. Le professeur réalise alors différentes expériences suivant les propositions des élèves : ajouter ou retirer du liquide, changer de forme du récipient, diluer etc... Le but est de faire émerger la notion de masse de sel dans le liquide, puis de masse d'un volume de liquide.

Activité 1. Les élèves travaillent en autonomie en début de séance pour proposer un protocole de mesure de la masse et du volume d'une certaine quantité de liquide qu'ils ont à disposition (chaque groupe a un volume différent, la moitié de la classe ayant de l'eau du robinet et l'autre de l'eau salée, les volumes ont été mesurés au préalable par le professeur). Les résultats sont notés au tableau puis le professeur fait travailler les élèves sur la possibilité de comparer certaines de ces valeurs et fait émerger la différence de masse pour un même volume de liquide.

Activité 2. Les élèves mettent leurs résultats en commun lors du tracé d'un graphe et doivent reconnaître une situation de proportionnalité. Il n'est pas gênant de mettre le volume en abscisse et la masse en ordonnée ou l'inverse, mais cela peut causer des difficultés au moment de la détermination du coefficient directeur. La détermination du coefficient de proportionnalité est alors réalisée puis le professeur l'identifie à la masse volumique. Après un travail sur l'unité de la masse volumique, l'activité se conclue alors sur la masse volumique des deux liquides.

Activité 3. L'activité débute par un retour sur l'activité préparatoire mise en œuvre au début de la séquence par le professeur, aboutissant sur l'importance de la masse volumique du liquide sur la flottaison de l'œuf. Une activité ouverte est alors proposée afin de trouver un encadrement de la masse volumique d'un solide inconnu sur la base du critère "flotte ou ne flotte pas" : le professeur présente sur son bureau un ensemble de récipients contenant des liquides de masses volumiques connues, indiquées sur une étiquette (des solutions salines de concentrations différentes par exemple) et les élèves y plongent successivement un solide de masse volumique inconnue d'eux (mais comprise entre les deux valeurs extrêmes du panel proposé). Par comparaison, il leur est possible d'encadrer la masse volumique du solide. En complément, l'élève peut imaginer et mettre en œuvre un moyen de déterminer le volume du solide par l'intermédiaire de la mesure de sa masse.

Activité élève

Activité préparatoire

Le professeur dispose sur son bureau d'un œuf cru, de deux liquides (de l'eau du robinet et de l'eau fortement salée) et de différents contenants. Il réalise différentes expériences en mettant l'œuf entier et intact dans l'eau.

Indiquer ce qui semble important ou non sur le fait que l'œuf flotte.

Ce qui semble important	Ce qui ne semble pas important

Activité 1 : Lien entre la masse et le volume d'un liquide

On dispose d'un récipient contenant un certain volume de liquide (eau du robinet ou eau salée).

Rédiger un protocole expérimental permettant de mesurer séparément la masse et le volume du liquide choisi et écrire la liste du matériel nécessaire.

Protocole expérimental :

Liste du matériel nécessaire :

Réaliser la manipulation et noter les résultats dans le tableau ci-dessous.

	Masse	**Volume**
Eau		

Noter dans le tableau ci-dessous les valeurs obtenues par les autres groupes de la classe.

Eau du robinet						
Masse	0 g					
Volume	0 mL					

Eau salée						
Masse	0 g					
Volume	0 mL					

Question :

Quelles grandeurs peut-on directement comparer ? Quelle différence peut-on remarquer entre l'eau salée et l'eau du robinet ?

Demander au professeur le joker 1 en cas de difficulté

Activité 2 : un lien plus précis encore…

But de l'activité 2 : Trouver le lien entre la masse et le volume en utilisant les mesures de chaque groupe et définir la masse volumique.

Question :

Expliquer comment faire pour obtenir le lien entre le volume et la masse d'une manière plus précise, c'est-à-dire en mettant en commun toutes les mesures effectuées dans la classe, plutôt que celles d'un groupe uniquement.

Demander au professeur le joker 2 en cas de difficulté.

Exploitation :

1. Peut-on tracer une droite qui passe par un grand nombre de points ? Si oui, la tracer.

2. Quel nom donne-t-on en mathématiques lorsque ce type de graphique est observé ?

3. Comparer le graphique obtenu avec celui d'un groupe ayant travaillé avec l'autre liquide. Quelle différence remarque-t-on ?

4. Vu l'allure du graphique, on peut écrire mathématiquement le lien entre le volume d'un liquide (noté V) et sa masse (notée m) de la manière suivante ; k est un nombre appelé **masse volumique.**

$$\boxed{m = k \times V}$$

Noter dans le tableau ci-dessous quelques valeurs de masses et de volumes pour des points appartenant à la droite tracée (en veillant à ne pas reprendre de valeur mesurée), et en déduire une valeur de la masse volumique k.

***m* (en g)**					
***V* (en mL)**					

Noter la valeur du nombre k :

k =

Demander au professeur le joker 3 en cas de difficulté.

Questions :

1. Indiquer l'unité de la masse volumique.

Demander au professeur le joker 4 en cas de difficulté.

2. Noter dans le tableau ci-dessous les valeurs des masses volumiques des deux liquides :

	Eau du robinet	**Eau salée**
Masse volumique		

But de l'activité 3 :

Exploiter la notion de masse volumique et mesurer la masse volumique d'un solide.

Retour sur l'activité préparatoire :

Sachant que la masse volumique de l'œuf est de 1,04 g/mL, conclure alors sur la condition permettant de prévoir si l'œuf flotte ou coule dans un liquide donné.

Application jeu :

Le professeur a placé sur son bureau plusieurs récipients contenant des liquides de masses volumiques différentes, indiquées sur les étiquettes. Un solide de masse et de volume inconnus est à disposition.

Trouver un moyen de trouver une valeur approchée de la masse volumique de ce solide sans faire aucune mesure :

Demander au professeur le joker 5 en cas de difficulté.

Noter la valeur de la masse volumique k du solide :

k =

Complément :

Proposer un protocole permettant de déterminer le volume du solide puis le mettre en œuvre.

Noter la valeur du volume V du solide :

V =

Demander au professeur le joker 6 en cas de difficulté.

Aides possibles

Joker 1 : comparer des valeurs ayant un point commun (le volume ou la masse).

Joker 2 : pour illustrer le lien entre le volume et la masse de l'eau, on peut utiliser tous les résultats en plaçant un point pour les valeurs de chaque groupe dans un graphique représentant la masse en fonction du volume.

Joker 3 : repérer une situation de proportionnalité.

Joker 4 : il a déjà été vu en mathématiques la relation liant la vitesse avec la distance et le temps :$V = \frac{d}{t}$ dans cette relation, la distance est en km, le temps en h pour trouver une vitesse en km/h.

Joker 5 : si le paramètre important est la masse volumique, alors trouver la frontière entre l'objet qui coule et l'objet qui flotte permet d'encadrer sa masse volumique.

Joker 6 : mesurer la masse du solide et utiliser la masse volumique.

Vitesse d'un avion de ligne

Niveau : **Cycle 4**
Thème en physique-chimie : Mouvement et interaction

Résumé de l'activité

Cette activité étudie le mouvement d'un avion à partir de sa trace sur un écran radar. La vitesse de cet avion est calculée à partir de la trace et le lien est fait entre la vitesse et le coefficient de proportionnalité entre la distance et la durée.

Programme de physique-chimie

Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d'activités et d'outils pour l'élève
Utiliser la relation liant vitesse, distance et durée dans le cas d'un mouvement uniforme.	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.

Programme de mathématiques associé

Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d'activités et d'outils pour l'élève
Thème B - Organisation et gestion de données, fonctions : *Résoudre des problèmes de proportionnalité*	
• Reconnaitre une situation de proportionnalité ou de non-proportionnalité.	• Étudier des relations entre deux grandeurs mesurables pour identifier si elles sont proportionnelles ou non : ces relations peuvent être exprimées par : >> des formules. >> des représentations graphiques (nuages de points ou courbes). >> un tableau.
Thème C : Grandeurs et mesures : *Calculer avec des grandeurs mesurables ; exprimer les résultats dans les unités adaptées.*	
• Mener des calculs impliquant des grandeurs mesurables en conservant les unités. • Vérifier la cohérence des résultats du point de vue des unités. >> Notion de grandeur quotient.	• Identifier les grandeurs composées.

Compétences travaillées (d'après le volet 2 du programme de physique-chimie)

Compétences	Principales capacités visées
Pratiquer des démarches scientifiques *Domaine du socle : 4*	• Mesurer des grandeurs physiques de manière directe ou indirecte. • Développer des modèles simples pour expliquer des faits d'observations et mettre en œuvre des démarches propres aux sciences.
Pratiquer des langages *Domaine du socle : 1*	• Lire et comprendre des documents scientifiques. • Passer d'une forme de langage scientifique à une autre.

Nature et origine des documents utilisés :

Tous les documents utilisés dans cette activité ont été créés par le GRIESP.

Déroulement de l'activité :

Les élèves peuvent réaliser cette activité individuellement, en groupe, en classe ou à la maison.

Durée indicative : 1h

Pour un déroulé de l'activité en classe :
L'organisation de la séance est fonction des objectifs du professeur.

- Lors d'une phase d'apprentissage cette activité peut ne pas être distribuée en intégralité aux élèves dès le début de la séance. L'activité préparatoire est alors travaillée individuellement pour permettre une appropriation du sujet par les élèves, les activités 1 et 2 qui correspondent aux objectifs d'apprentissage sont travaillées en groupe. Suivant le degré d'apprentissage, il peut être prévu un temps de travail collectif ou de mise en commun à l'issue de l'activité 1. Ce temps permet de stabiliser les connaissances sur la notion de vitesse mais aussi de s'interroger sur les conditions qui permettent l'étude menée dans l'activité 2 (la vitesse de l'avion est constante, ce qui peut se voir sans mener aucun calcul). Ce travail piloté par le professeur permet de donner du sens à l'activité 2 que les élèves réalisent en binômes.
- Cette séquence peut être utilisée en fin de séquence d'apprentissage et prend la forme d'une évaluation, elle est alors distribuée dans son intégralité aux élèves qui peuvent travailler individuellement ou en binômes. Des aides peuvent fournies aux élèves en fonction des obstacles rencontrés, des exemples d'aide sont proposés dans ce document.
- En fonction des acquis des élèves, d'autres organisations peuvent être envisagées.

Deux versions de cette activité sont proposées, la deuxième, étant moins guidée, donne plus d'autonomie à l'élève. Un prolongement pour des élèves plus rapides pourrait être de contrôler la vraisemblance de la vitesse de l'avion.

Traces écrites des élèves :

Cette activité a été testée avec des élèves de 5ème et de 4ème : des copies d'élèves se trouvent à la fin du document. Chaque copie est accompagnée de commentaire et d'une évaluation de chacune des compétences travaillées par un niveau A, B, C ou D.
Une analyse de ces traces écrites conduit à quelques remarques :

- Le tableau est bien rempli mais il est peu exploité dans cette première activité. Pour calculer la vitesse les élèves exploitent directement la définition de la vitesse ou utilisent le fait qu'il suffit de multiplier par 10 les 6 minutes pour avoir une heure et que la distance parcourue en une heure est dix fois celle parcourue en 6 minutes. La notion de proportionnalité est utilisée sans être explicitement énoncée. Dans le cas où la définition de la vitesse est directement utilisée, il semble que permettre aux élèves d'utiliser les unités dans l'écriture du rapport de la distance au temps soit une aide pour eux.
- Dans la deuxième activité, il est explicitement demandé aux élèves de vérifier la relation de proportionnalité en prenant appui sur le tableau. Les élèves exploitent explicitement le rapport distance sur temps (rapport des lignes) et montrent qu'il est constant. Il est intéressant de noter que ce n'est pas démarche spontanée utilisée dans la première activité qui utilise plus un rapport de colonnes (quand je multiplie le temps par λ, la distance est multipliée par λ). Dans la situation proposée, travailler en « rapport de colonnes » était plus simple que de travailler en « rapport de lignes », les calculs étant immédiats.

Remarques :
L'utilisation avec les élèves de ces activités a conduit parfois à modifier les questions de l'activité, c'est pourquoi les fiches activités élèves de ce document ne correspondent pas obligatoirement à celles utilisées par les élèves.
Lors de cette activité, il semble important de projeter au tableau (ou de joindre au cahier de texte numérique en cas de travail à faire à la maison) l'image radar du document 2 afin que les élèves distinguent bien les différents points relevés, les photocopies réalisées n'étant pas toujours de qualité suffisante.

Activité élève

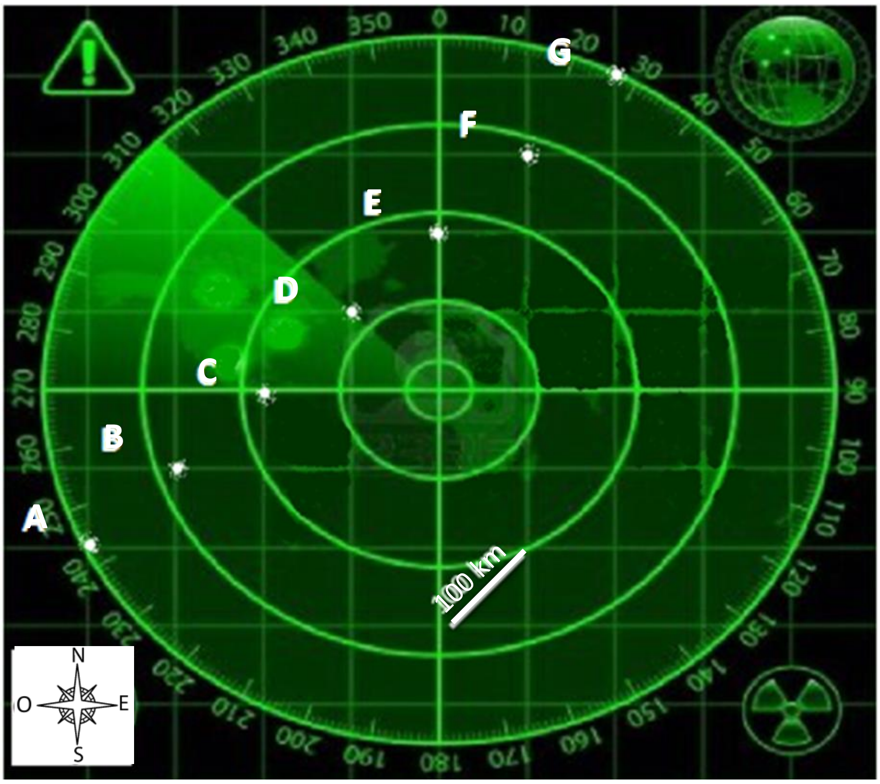
VITESSE D'UN AVION DE LIGNE CIVIL

Contrôle aérien

Les avions de ligne peuvent être civils ou militaires. Ils permettent de transporter des passagers d'un point à un autre du globe. Ce moyen de transport offre aux usagers la possibilité de parcourir des distances importantes en des temps très courts. Le pilotage d'un avion n'est pas soumis à une limitation de vitesse comme pour une voiture, cependant il est sujet à beaucoup de contrôle. De nombreuses bases aériennes suivent les trajectoires des avions de ligne qui sont dans le champ de leurs radars. L'analyse des trajectoires permet de coordonner les vols et d'éviter les collisions. Les personnes en charge de cette sécurité dans les tours de contrôle s'appellent les aiguilleurs du ciel.

Détection d'un Airbus A380

Un radar suit la position et la trajectoire d'un Airbus A380. Cet avion arrive du sud-ouest et se dirige vers le nord-est. Sa position, repérée toutes les 6 minutes, apparait sur l'écran du radar (points A à G). L'avion reste toujours à la même altitude, c'est-à-dire qu'il ne monte pas et ne descend pas.



PROBLEME

Vous passez votre diplôme d'aiguilleur du ciel. On vous demande d'estimer la vitesse d'un Airbus A380 grâce aux documents ci-dessus. Plusieurs pistes de résolution sont possibles…

Version 1

Activité préparatoire : (Cocher une bonne réponse par question)

1.1. On s'intéresse au mouvement :

 du contrôleur aérien de l'avion du pilote de ligne

1.2. La vitesse d'un avion est estimée par rapport :

 Au pilote de ligne Au Soleil A un point fixe sur Terre

1.3. Dans le problème présent, le mouvement de l'Airbus A380 est :

 rectiligne circulaire quelconque

1.4. La direction de la trajectoire est :

 la direction nord/sud la direction ouest/est la direction sud-ouest / nord-est

1.5. Le sens de la trajectoire est :

 du sud au nord du sud-ouest au nord-est du nord-est au sud-ouest

Activité 1 : Calcul de la vitesse de l'Airbus A380 : une première méthode (Calculatrice interdite)

2.1. Remplir le tableau ci-dessous :

Point sur l'écran du radar	A	B	C	D	E	F	G
Durée *t (en min)*	0	6					
Distance parcourue *d (en km)*	0						

2.2. Rappeler la définition de la vitesse *v* d'un objet :

……

2.3. Déterminer la valeur de la vitesse v de l'Airbus A380 en km/h et expliquer la méthode choisie :

……

……

Activité 2 : Calcul du coefficient de proportionnalité : une deuxième méthode (Calculatrice autorisée)

3.1. Proposer une méthode pour montrer que le tableau est un tableau de proportionnalité et la mettre en œuvre que le tableau de l'activité 1 est un tableau de proportionnalité.

3.2. Calculer le coefficient de proportionnalité de ce tableau et lui attribuer l'unité correspondante.

……

……

3.3. Écrire, sous la forme d'une phrase, ce que signifie ce coefficient de proportionnalité.

……

3.4. En déduire la valeur de la vitesse en km/h.

……

3.5. Trouver la grandeur physique à laquelle correspond le coefficient de proportionnalité entre une distance parcourue et la durée du parcours.

Aides possibles

Les aides suivantes, comme d'autres à l'initiative du professeur, peuvent être apportées si nécessaire.

Numéro de la question		AIDES POSSIBLES
2.1	Aide 1	Les positions de l'avion de A à G, sont repérées toutes les 6 min.
	Aide 2	L'échelle sur l'image radar permet d'estimer une distance entre 2 points égale à environ 100 km.
2.2 et 3.4	Aide 3	La vitesse d'un objet est la grandeur physique représentant le rapport entre la distance parcourue par cet objet et la durée de parcours.
2.3	Aide 4	La relation mathématique existant entre v, d et t est la suivante : $v = \frac{d}{t}$ Dans cette relation, d est le plus souvent en km, t en h et v est alors en km/h.
3.1	Aide 5	Il suffit de prouver que le coefficient multiplicatif qui permet de passer d'une ligne à l'autre pour chaque couple de valeurs est le même.

Exemples d'attendus (Version 1)

Pratiquer des langages
Domaine du socle : 1
Lire et comprendre des documents scientifiques. Passer d'une forme de langage scientifique à une autre.

1.1. On s'intéresse au mouvement :
- ☐ Du contrôleur aérien ☐ De l'avion ☐ Du pilote de ligne

1.2. La vitesse d'un avion est estimée par rapport :
- ☐ Au pilote de ligne ☐ Au Soleil ☐ A un point fixe sur Terre

1.3. Dans le problème présent, le mouvement de l'Airbus A380 est :
- ☐ rectiligne ☐ circulaire ☐ quelconque

1.4. La direction de la trajectoire est :
- ☐ la direction nord/sud ☐ la direction ouest/est ☐ la direction sud-ouest / nord-est

1.5. Le sens de la trajectoire est :
- ☐ du sud au nord ☐ du sud-ouest au nord-est ☐ du nord-est au sud-ouest

2.2. La définition de la vitesse est la suivante : la vitesse est la grandeur physique qui mesure le rapport de la distance parcourue à la durée de parcours.

2.3 Calcul de la vitesse v de l'Airbus : $v = \frac{d}{t}$

A.N avec les valeurs mesurées au point F : $v = \frac{500km}{30min}$; *le professeur pourra accepter que l'élève fasse apparaître les unités dans l'A.N.*

v = 16,7 km/min

3.3. Le coefficient 16,7 km/min correspond à la distance que parcourt l'Airbus en 1 minute.

3.5. D'après le calcul effectué, le coefficient de proportionnalité calculé correspond au rapport de la distance parcourue sur la durée de parcours : il s'agit donc de la vitesse de l'avion. Ainsi il parcourt 1002 km en 1h.

Pratiquer des démarches scientifiques
Domaine du socle : 4
Mesurer des grandeurs physiques de manière directe ou indirecte.

Développer des modèles simples pour expliquer des faits d'observations et mettre en œuvre des démarches propres aux sciences.

2.1 Remplissage du tableau :

Point sur l'écran du radar	A	B	C	D	E	F	G
Durée *t (en min)*	0	6	12	18	24	30	36
Distance parcourue *d (en km)*	0	100	200	300	400	500	600

3.1. On cherche à établir un lien d'une colonne à l'autre ou bien d'une ligne à l'autre :

Point sur l'écran du radar	A	B	C	D	E	F	G
Durée *t (en min)*	0	6	12	18	24	30	36
Distance parcourue *d (en km)*	0	100	200	300	400	500	600

$\times \frac{50}{3}$

$\times 2$

On constate que chaque valeur de la première ligne multipliée par 50/3 donne pour résultat la valeur de la seconde ligne : il s'agit donc d'un tableau de proportionnalité.

3.2. Le coefficient de proportionnalité (que l'on notera k) a été calculé à la question 3.1. k = 50/3 soit 16,7. L'unité correspondante est le km/min donc k = 16,7 km/min

3.4. Conversions :
Utilisation d'un tableau de proportionnalité :

Distance	Temps
16,7 km	1 min
?	1h = 60 min

$$k = \frac{16,7 \times 60}{1} = 1002\ km/h$$

Version 2

Version moins guidée que la version 1 ; les documents sont identiques à la première version.

Activité préparatoire :

1.1. Préciser l'objet dont on décrit de mouvement

………..

1.2. La vitesse d'un avion est estimée par rapport :

☐ au pilote de ligne ☐ au Soleil ☐ à un point fixe sur Terre

1.3. Préciser l'allure de la trajectoire de l'avion

………..

1.4. Indiquer l'adjectif qualifiant ce type de mouvement.

………..

1.5. Rappeler la définition de la vitesse d'un objet.

………..

………..

Activité 1 : Calcul de la vitesse de l'Airbus A380 : une première méthode

(Cette activité se fait sans calculatrice)

2.1. Compléter le tableau ci-dessous :

Point sur l'écran du radar	A	B	C	D	E	F	G
Durée *t (en h)*	0						
Distance parcourue *d (en km)*	0						

2.3. Déterminer la vitesse v de l'Airbus A380 et expliquer la méthode choisie :

……

……

Activité 2 : Calcul du coefficient de proportionnalité : une deuxième méthode

(La calculatrice est autorisée)

3.1. Vérifier que le tableau précédent est un tableau de proportionnalité.

3.2. Calculer le coefficient de proportionnalité de ce tableau et lui attribuer l'unité correspondante

……

……

3.3. Trouver la grandeur physique à laquelle correspond le coefficient de proportionnalité entre une distance parcourue et une durée de parcours.

……

Exemple d'attendus (Version 2)

Correction

(les niveaux de réussite dépendent aussi du nombre d'aides éventuellement données si l'activité est réalisée en classe)

Pratiquer des langages

Domaine du socle : 1

Lire et comprendre des documents scientifiques.
Passer d'une forme de langage scientifique à une autre.

Réponses aux questions préliminaires :

1.1 On souhaite étudier l'avion.

1.2 La vitesse d'un avion est estimée par rapport :

☐ Au pilote de ligne ☐ Au Soleil ☐ A un point fixe sur Terre

1.3 La trajectoire de l'avion est une droite.

1.4 Le mouvement est dit rectiligne.

1.5. La vitesse est le rapport de la distance parcourue par l'objet sur la durée du parcours.

2.2. La définition de la vitesse est la suivante : la vitesse est la grandeur physique qui mesure le rapport de la distance parcourue à la durée de parcours.

2.3 Calcul de la vitesse v de l'Airbus : $v = \frac{d}{t}$

A.N avec les valeurs mesurées au point F : $v = \frac{500\text{km}}{30\text{min}}$; *le professeur pourra accepter que l'élève fasse apparaître les unités dans l'A.N.*

<u>v = 1000 km/h</u>

3.3. La grandeur physique qui correspond au coefficient de proportionnalité calculé est la vitesse de l'avion.

Pratiquer des démarches scientifiques

Domaine du socle : 4

Mesurer des grandeurs physiques de manière directe ou indirecte.

Développer des modèles simples pour expliquer des faits d'observations et mettre en œuvre des démarches propres aux sciences.

2.1 Remplissage du tableau :

Point sur l'écran du radar	A	B	C	D	E	F	G
Durée *t (en h)*	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Distance parcourue *d (en km)*	0	100	200	300	400	500	600

3.1. On cherche à établir un lien d'une colonne à l'autre ou bien d'une ligne à l'autre :

Point sur l'écran du radar	A	B	C	D	E	F	G
Durée *t (en min)*	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Distance parcourue *d (en km)*	0	100	200	300	400	500	600

× 1000

× 2

On constate que chaque valeur de la première ligne multipliée par 100 donne pour résultat la valeur de la seconde ligne : il s'agit donc d'un tableau de proportionnalité.

3.2. Le coefficient de proportionnalité (que l'on notera k) a été calculé à la question 3.1. k = 1000. L'unité correspondante est le km/h donc k = 1000 km/h

Exemples de productions d'élèves et d'attribution de niveaux de réussite

Copie 1 (Version 1 de l'activité)

1ère partie : Questions préliminaires (Cocher une bonne réponse par question)

1.1. On s'intéresse au mouvement :

☐ du contrôleur aérien ☒ de l'avion ☐ du pilote de ligne

1.2. La vitesse d'un avion est estimée par rapport :

☐ Au pilote de ligne ☐ Au Soleil ☒ A un point fixe sur Terre

1.3. Dans le problème présent, le mouvement de l'Airbus A380 est :

☒ rectiligne ☐ circulaire ☐ quelconque

1.4. La direction de la trajectoire est :

☐ la direction nord/sud ☐ la direction ouest/est ☒ la direction sud-ouest / nord-est

1.5. Le sens de la trajectoire est :

☐ du sud au nord ☒ du sud-ouest au nord-est ☐ du nord-est au sud-ouest

2ème partie : Calcul de la vitesse de l'Airbus A380 : une première méthode

(Calculatrice interdite)

2.1. Remplir le tableau ci-dessous :

Points sur l'écran du radar	A	B	C	D	E	F	G
Durée *t (en min)*	0	6	12	18	24	30	36
Distance parcourue *d (en km)*	0	100	200	300	400	500	600

÷ 16,66

2.2. Rappeler la définition de la vitesse *v* :

La vitesse est la distance par rapport au temps.

2.3. D'après les questions précédentes, déterminer la vitesse v de l'Airbus A380 en km/h et expliquer la méthode choisie :

La vitesse de l'Airbus A380 est 1000 km/h. La méthode choisie est de divisé la distance parcouru par la durée (après avoir convertit les minutes en heure).

3.1. Vérifier que le tableau de la partie précédente est un tableau de proportionnalité comme en mathématiques.

Le tableau de la partie précédente est un tableau de proportionnalité car pour passer d'une ligne à l'autre on divise toujours la distance parcourue par 16,66 ce qui nous donne la durée.

3.2. Calculer le coefficient de proportionnalité de ce tableau et lui attribuer l'unité correspondante.

Le coefficient de proportionnalité de ce tableau est 16,66. Son unité correspondante est hm / min.

3.3. Convertir ce coefficient de proportionnalité en km/h.

16, 66 hm / min = 1041,25 hm / h.

3.4. Trouver la grandeur physique à laquelle correspond le coefficient de proportionnalité entre une distance parcourue et la durée du parcours.

La grandeur physique à laquelle correspond le coefficient de proportionnalité entre une distance parcourue et la durée du parcours est la vitesse.

GRIESP

BILAN

Ce binôme a répondu avec précision et justesse à l'ensemble des questions de l'activité.

Les 2 compétences ont donc été validées au niveau très satisfaisant A. La définition de la vitesse reste fragile.

Compétences	A	B	C	C
Pratiquer des démarches scientifiques *Domaine du socle : 4* • Mesurer des grandeurs physiques de manière directe ou indirecte. • Développer des modèles simples pour expliquer des faits d'observations et mettre en œuvre des démarches propres aux sciences.	*			
Pratiquer des langages *Domaine du socle : 1* • Lire et comprendre des documents scientifiques. • Passer d'une forme de langage scientifique à une autre.	*			

Copie 2 (Version 1 de l'activité)

1ère partie : Questions préliminaires (Cocher une bonne réponse par question)

1.1. On s'intéresse au mouvement :
- ☐ du contrôleur aérien
- ☑ de l'avion
- ☐ du pilote de ligne

1.2. La vitesse d'un avion est estimée par rapport :
- ☐ Au pilote de ligne
- ☐ Au Soleil
- ☑ A un point fixe sur Terre

1.3. Dans le problème présent, le mouvement de l'Airbus A380 est :
- ☑ rectiligne
- ☐ circulaire
- ☐ quelconque

1.4. La direction de la trajectoire est :
- ☐ la direction nord/sud
- ☐ la direction ouest/est
- ☑ la direction sud-ouest / nord-est

1.5. Le sens de la trajectoire est :
- ☐ du sud au nord
- ☑ du sud-ouest au nord-est
- ☐ du nord-est au sud-ouest

(Calculatrice interdite)

2.1. Remplir le tableau ci-dessous :

Points sur l'écran du radar	A	B	C	D	E	F	G
Durée *t (en min)* 16,66	0	6	12	18	24	30	36
Distance parcourue *d (en km)*	0	100	200	300	400	500	600

16,66

2.2. Rappeler la définition de la vitesse *v* :

la distance parcourue en fonction d'un certain temps

2.3. D'après les questions précédentes, déterminer la vitesse v de l'Airbus A380 en km/h et expliquer la méthode choisie :

6 x 10 = 60 min 100 x 10 = 1000 km

l'avion a parcouru 1000 km en 1 heure parce que l'on multiplie 6 fois 10 pour faire une h est on fait pareil avec la distance parcouru en 6 min ce qui fait 1000 km/h

3ème partie : Calcul du coefficient de proportionnalité : une deuxième méthode

(Calculatrice autorisée)

3.1. Vérifier que le tableau de la partie précédente est un tableau de proportionnalité comme en mathématiques.

3.1. Vérifier que le tableau de la partie précédente est un tableau de proportionnalité comme en mathématiques.

C'est un tableau de proportionnalité par ce que l'on passe de la ligne 1 à la ligne 2 en multipliant par 16,66

3.2. Calculer le coefficient de proportionnalité de ce tableau et lui attribuer l'unité correspondante.

36 x 16,66 = 600 / L'unité correspondante et km/min

t x v = d / 16,6 km/min

BILAN

Compétence : Pratiquer des langages :
La question 3.5 n'a pas été traitée par manque de temps. Mais globalement, le niveau de compétence reste très satisfaisant. En effet, le binôme a su correctement extraire les informations des divers documents et a su calculer la valeur de la vitesse de l'avion à partir des données du tableau.
La compétence a donc été validée au niveau A.

Compétence : Pratiquer une démarche scientifique :
La proportionnalité du tableau a été démontrée.

Le coefficient de proportionnalité ainsi que son unité ont été données correctement.

Les élèves n'ont pas su effectuer la conversion des km/min en km/h…

Ceci dit, la situation de proportionnalité a bien été reconnue. Les élèves ont également compris et écrit que la distance « d » était égale au produit de la vitesse « v » par la durée « t ». (Voir relation littérale).

La compétence a donc été validée au niveau A même si la totalité des questions n'a pas été traitée.

Compétences	A	B	C	C
Pratiquer des démarches scientifiques *Domaine du socle : 4* • Mesurer des grandeurs physiques de manière directe ou indirecte. • Développer des modèles simples pour expliquer des faits d'observations et mettre en œuvre des démarches propres aux sciences.	*			
Pratiquer des langages *Domaine du socle : 1* • Lire et comprendre des documents scientifiques. • Passer d'une forme de langage scientifique à une autre.	*			

Copie 3 (Version 1 de l'activité)

Activité préparatoire : (Cocher une bonne réponse par question)

1.1. On s'intéresse au mouvement :

☐ du contrôleur aérien ☒ de l'avion ☐ du pilote de ligne

1.2. La vitesse d'un avion est estimée par rapport :

☒ Au pilote de ligne ☐ Au Soleil ☐ A un point fixe sur Terre

1.3. Dans le problème présent, le mouvement de l'Airbus A380 est :

☒ rectiligne ☐ circulaire ☐ quelconque

1.4. La direction de la trajectoire est :

☐ la direction nord/sud ☐ la direction ouest/est ☒ la direction sud-ouest / nord-est

1.5. Le sens de la trajectoire est :

☐ du sud au nord ☒ du sud-ouest au nord-est ☐ du nord-est au sud-ouest

A l'exception du référentiel (question 1.2), l'ensemble des réponses est correct.

Activité 1 : Calcul de la vitesse de l'Airbus A380 : une première méthode

(Calculatrice interdite)

2.1. Remplir le tableau ci-dessous :

Points sur l'écran du radar	A	B	C	D	E	F	G
Durée *t (en min)*	0	6	12	18	24	30	36
Distance parcourue *d (en km)*	0	100	200	300	400	500	600

2.2. Rappeler la définition de la vitesse v : la viteser se dit en une distance parcouru par un temps.

la vitesse se calcul ici en tant que 100 km/6min.

2.3. D'après les questions précédentes, déterminer la vitesse v de l'Airbus A380 en km/h et expliquer la méthode choisie :

6min = 60+60+60+60+60+60
60 min = ×10

100 KM/6MIN

100 KM/6 MIN ×10

1000 KM/h

La vitesse est de 1000 KM/h.

La maîtrise de la langue n'est pas acquise.

L'élève a interprété directement ce tableau comme un tableau de proportionnalité en utilisant a propriété : si la durée est multipliée par λ, la distance l'est aussi.

Activité 2 : Calcul du coefficient de proportionnalité : une deuxième méthode

(Calculatrice autorisée)

3.1. Vérifier que le tableau de la partie précédente est un tableau de proportionnalité comme en mathématiques.

6	12	18	24	30	36
100	200	300	400	500	600

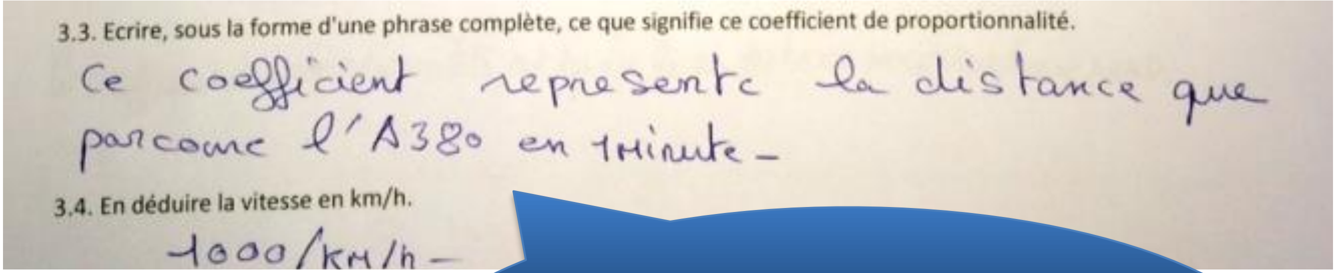
× 16,66666667

6 × 16,6[...] = 100
12 × 16,6[...] = 200
18 × 16,6[...] = 300
24 × 16,6[...] = 400
30 × 16... = 500
36 × 16... = 600

3.2. Calculer le coefficient de proportionnalité de ce tableau et lui attribuer l'unité correspondante.

le CDP = 16,66666667 KM/MIN

La situation de proportionnalité a été reconnue, le coefficient de proportionnalité correctement calculé et l'unité correspondante donnée.



3.3. Ecrire, sous la forme d'une phrase complète, ce que signifie ce coefficient de proportionnalité.

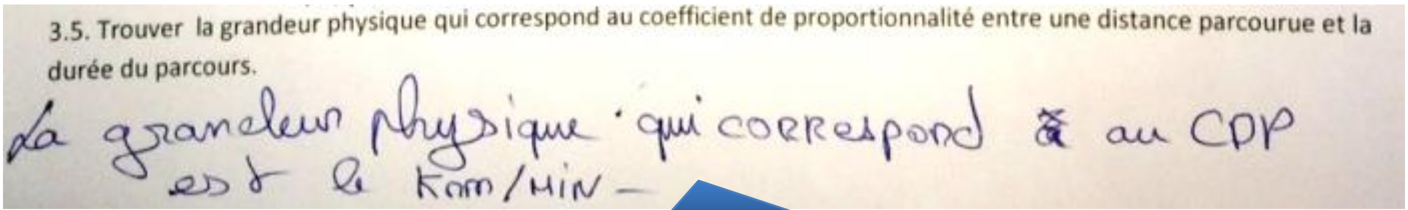
Ce coefficient represente la distance que parcoure l'A380 en 1minute.

3.4. En déduire la vitesse en km/h.

1000/km/h.

L'élève a donné une bonne interprétation du coefficient de proportionnalité.

Il n'a pas détaillé à nouveau la conversion en km/h. On peut penser qu'il s'est servi du calcul qu'il a fait précédemment.



3.5. Trouver la grandeur physique qui correspond au coefficient de proportionnalité entre une distance parcourue et la durée du parcours.

la grandeur physique qui correspond ~~a~~ au CDP est le Km/min.

L'élève fait une confusion entre grandeur et unité.

BILAN

Compétence : Pratiquer des langages

Le passage à l'écrit de la définition de la vitesse est confus. Les réponses apportées sont dans l'ensemble correctes. Le niveau de compétence est globalement satisfaisant. C'est pourquoi le niveau de réussite attribué est B.

Compétence : Pratiquer une démarche scientifique

La proportionnalité du tableau a été démontrée.

Le coefficient de proportionnalité ainsi que son unité ont été données correctement.

La situation de proportionnalité a été reconnue mais pas énoncée.

La compétence a cependant été validée au niveau A même si la totalité des réponses n'a pas été détaillée avec précision.

Compétences	A	B	C	C
Pratiquer des démarches scientifiques *Domaine du socle : 4* • Mesurer des grandeurs physiques de manière directe ou indirecte. • Développer des modèles simples pour expliquer des faits d'observations et mettre en œuvre des démarches propres aux sciences.	*			
Pratiquer des langages *Domaine du socle : 1* • Lire et comprendre des documents scientifiques. • Passer d'une forme de langage scientifique à une autre.		*		

Copie 4 (Version 2 de l'activité)

VERSION 2 :

1ère partie : Questions préliminaires :

1.1. Quel est le système que l'on souhaite étudié ici ?

Le système que l'on souhaite étudier est le radar.

1.2. La vitesse d'un avion est estimée par rapport :

☐ Au pilote de ligne ☐ Au Soleil ☒ A un point fixe sur Terre

1.3. Quelle est la forme de la trajectoire de l'avion ?

La forme de la trajectoire est une droite

1.4. Rappeler l'adjectif qualifiant ce type de trajectoire ?

Le type de trajectoire est rectiligne

1.5. Rappeler la définition de la vitesse

La vitesse est une grandeur physique qui correspond au ~~nombre~~ distance / parcouru / en / fonction / d'un temps

L'élève a commis une erreur sur le système étudié. L'ensemble des autres réponses est correct.

2ème partie : Calcul de la vitesse de l'Airbus A380 : une première méthode

(Calculatrice interdite)

2.1. Compléter le tableau ci-dessous :

Points sur l'écran du radar	A	B	C	D	E	F	G
Temps *t (en h)*	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Distance parcourue *d (en km)*	0	100	200	300	400	500	600

Le tableau est parfaitement complété avec une conversion immédiate des minutes

2.3. D'après le tableau et les questions précédentes, déterminer la vitesse v de l'Airbus A380 et expliquer la méthode choisie :

$v = \frac{d}{t}$ $d = 100$ km

$v = \frac{100 \text{ km}}{0,1 \text{ h}}$ $t = 0,1$ h

$v = 1000$ km/h

On sait que la vitesse est le quotient de la distance par le temps donc on divise la distance parcourue par le temps

3ème partie : Calcul du coefficient de proportionnalité : une deuxième méthode

(Calculatrice autorisée)

3.1. Vérifier que le tableau précédent est un tableau de proportionnalité.

On utilise le produit en croix : $\frac{0,1 \times 200}{100} = 0,2$; $\frac{0,3 \times 400}{300} = 0,4$; $\frac{0,5 \times 600}{500} = 0,6$.

On trouve les valeurs correspondantes grâce au calcul donc c'est un tableau de proportionnalité.

3.2. Calculer le coefficient de proportionnalité de ce tableau et lui attribuer l'unité correspondante.

CdP = Coefficient de proportionnalité

$CdP = \frac{0,1 h}{\cancel{1000}\ 100 \text{ km}} = \frac{0,2 h}{200 \text{ km}} = \frac{0,3 h}{300 \text{ km}} = \frac{0,4 h}{400 \text{ km}} = \frac{0,5 h}{500 \text{ km}} = \frac{0,6 h}{600 \text{ km}} = 1000$ km/h

3.3. Trouver la grandeur physique qui correspond au coefficient de proportionnalité entre une distance parcourue et la durée du parcours

La grandeur physique qui correspond au coefficient de proportionnalité entre une distance parcourue et la durée du parcours [est] la vitesse.

A noter que le coefficient de proportionnalité est l'inverse de la vitesse, l'élève corrige à la fin.

BILAN

Cet élève a répondu avec précision à l'ensemble des questions et valide donc les compétences travaillées avec un niveau de réussite A.

Compétences	A	B	C	C
Pratiquer des démarches scientifiques *Domaine du socle : 4* • Mesurer des grandeurs physiques de manière directe ou indirecte. • Développer des modèles simples pour expliquer des faits d'observations et mettre en œuvre des démarches propres aux sciences.	*			
Pratiquer des langages *Domaine du socle : 1* • Lire et comprendre des documents scientifiques. • Passer d'une forme de langage scientifique à une autre.	*			

Une lampe se comporte-t-elle comme un conducteur ohmique ?

Résumé de l’activité

Au cours d’un exercice qui s’appuie sur des données expérimentales de mesures de tension et d’intensité, les élèves argumentent autour d’un protocole rédigé par un autre élève. Un graphique $U(I)$ est tracé et les élèves sont amenés à reconnaître une situation de non-proportionnalité.

Objectifs d'apprentissage

Les élèves réinvestissent les notions d’intensité et de tension pour tracer un graphique : la relation entre tension et intensité n’est pas toujours une relation de proportionnalité.

Programme de physique-chimie

Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d’activités et d’outils pour l’élève
Élaborer et mettre en œuvre un protocole expérimental simple visant à réaliser un circuit électrique répondant à un cahier des charges simples ou à vérifier une loi de l’électricité. Relation tension-courant : la loi d’Ohm.	Les exemples de circuits électriques privilégient les dispositifs rencontrés dans la vie courante.

Programme de mathématiques associé

Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d’activités et d’outils pour l’élève
Thème B - Organisation et gestion de données, fonctions : *Résoudre des problèmes de proportionnalité*	
Reconnaitre une situation de proportionnalité ou de non-proportionnalité.	Étudier des relations entre deux grandeurs mesurables pour identifier si elles sont proportionnelles ou non.

Compétences travaillées (d’après le volet 2 du programme de physique-chimie)

Compétences	Principales capacités visées
Pratiquer des démarches scientifiques *Domaine du socle : 4*	Interpréter des résultats expérimentaux, en tirer des conclusions en les argumentant.
Pratiquer des langages *Domaine du socle : 1*	Passer d’une forme de langage scientifique à une autre.

Déroulement de l’activité

La durée de cette activité est de 30 min.

On peut travailler en classe entière ou en demi-groupe.

L’activité a été testée en effectif réduit. Les élèves ont travaillé en binôme.

Les chapitres portant sur l’intensité du courant électrique et la tension électrique ont été traités précédemment.

Il est important d’avoir réalisé au préalable une première activité expérimentale portant sur la loi d’Ohm. Les élèves ont alors été amenés à observer une relation de proportionnalité entre la tension électrique mesurée entre les bornes d’un conducteur ohmique et l’intensité du courant électrique qui le traverse.

L’objectif est que les élèves soient autonomes et qu’ils élaborent eux-mêmes leur protocole.

Certains élèves sont très vite en difficulté…Ils n’arrivent pas par exemple à identifier la problématique, ne trouvent pas le circuit électrique à réaliser, ne savent plus comment graphiquement on peut prouver ou non une relation de proportionnalité etc. Différents jokers sont donc mis à leur disposition. Ces aides sont proposées pour les guider dans leur raisonnement…

Beaucoup d’élèves ont été très surpris de ne pas obtenir graphiquement une droite qui passe par l’origine : cette activité permet d’éviter de ne tracer des graphiques qui ne sont que des droites.

Nature et origine des documents utilisés :

Tous les documents utilisés dans cette activité ont été créés par le GRIESP.

Activité élève

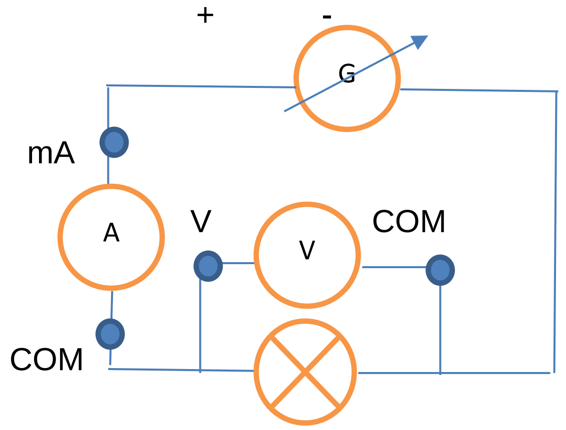
Exercice portant sur la loi d'Ohm.

John souhaite déterminer la valeur de la résistance d'une lampe. Voici son compte rendu :

1. Principe de notre expérience :

Nous avons mesuré plusieurs fois la tension *U* entre les bornes de la lampe avec un voltmètre et l'intensité I qui la traverse avec un ampèremètre.

2. Schéma de notre expérience :



Ampèremètre : calibre 200 mA

Voltmètre : calibre 20 V

3. Tableau de valeurs obtenues :

I (mA)	0	18,0	35,0	51,0	58,0	66,0	80,0	89,0	95,0	103,0	108,0	124,0	129,0
I (A)	0	0,018	0,035	0,051	0,058	0,066	0,080	0,089	0,095	0,103	0,108	0,124	0,129
U(V)	0	0,25	0,88	1,72	2,16	2,72	3,76	4,72	5,28	6,08	6,64	8,51	9,20

4. Détermination de la valeur de la résistance de la lampe :

On applique la loi d'Ohm.

Pour cela, nous avons choisi un couple de point (*I, U*) parmi les valeurs obtenues lors de notre expérience.

$R = U/I$ avec *U* en volt et *I* en A. R = 9,2/0.129 = **71 Ω**

On en conclut que la valeur de la résistance de la lampe est égale à 71 *Ω*

La copie de John n'est pas correcte.

Expliquer très précisément pourquoi la lampe ne peut pas être considérée comme un conducteur ohmique.

Faire appel, si nécessaire, aux différents jokers pour vous aider dans votre démarche scientifique. Bon courage !

Aides

Joker N°1 :

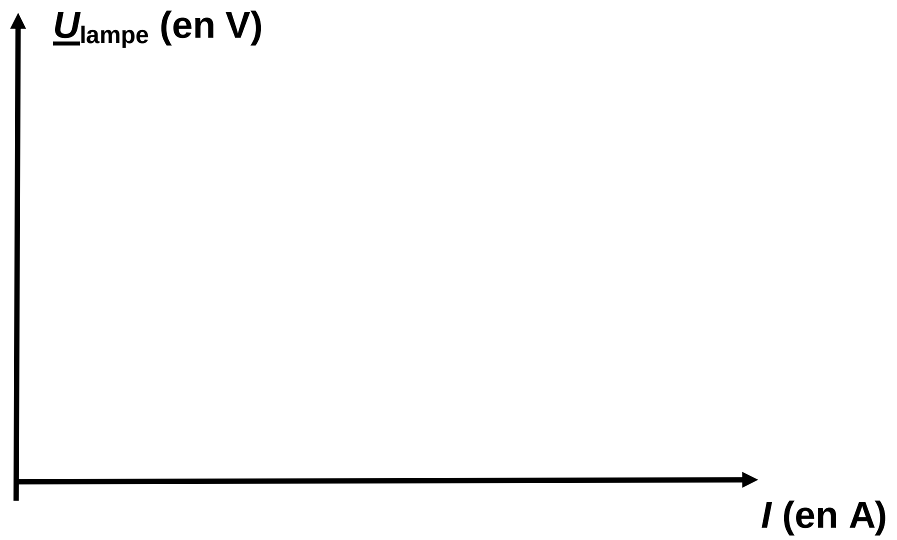
John a choisi dans le tableau de mesures les valeurs U = 9,2 V et I = 0,129 A, aurait-il pu utiliser un autre coupe de mesures ?

Joker N°2 :

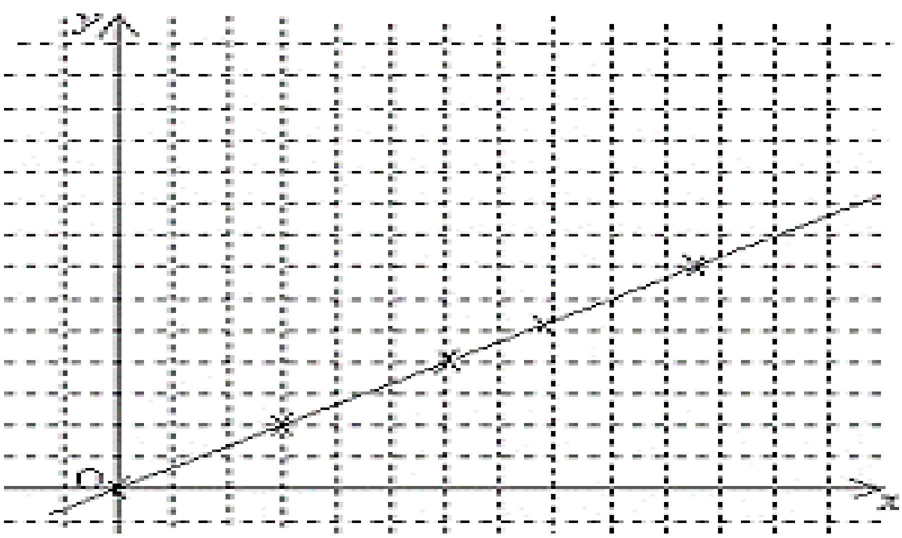
Pour vérifier si la loi d'Ohm est valable pour une lampe, il faut établir **une relation de proportionnalité** entre la tension électrique mesurée entre les bornes de la lampe et l'intensité du courant électrique qui la traverse.

Joker N°3 :

Pour mettre en évidence une relation de proportionnalité, on représente graphiquement l'évolution de la valeur de la tension électrique de la lampe en fonction de la valeur de l'intensité du courant électrique qui la traverse.

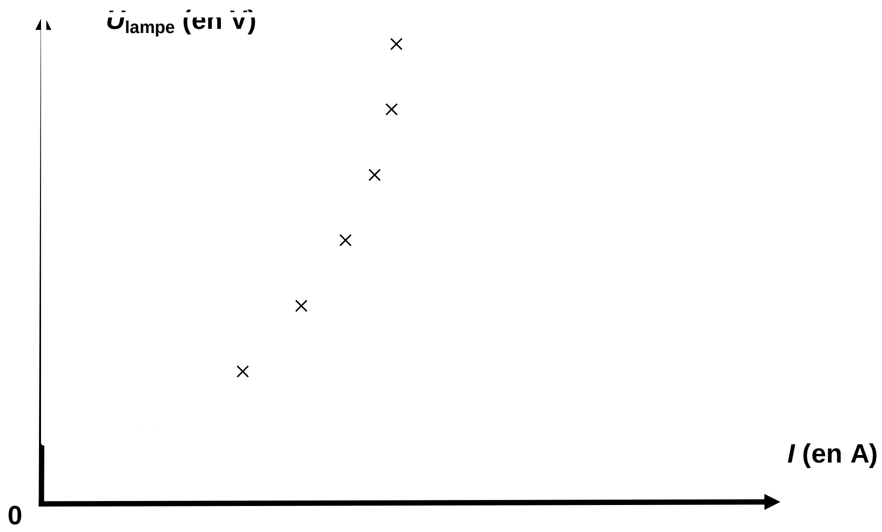


Joker N°4 :



Pour valider une situation de proportionnalité et pouvoir appliquer la loi d'Ohm, on doit observer graphiquement une **droite** qui passe par **l'origine.**

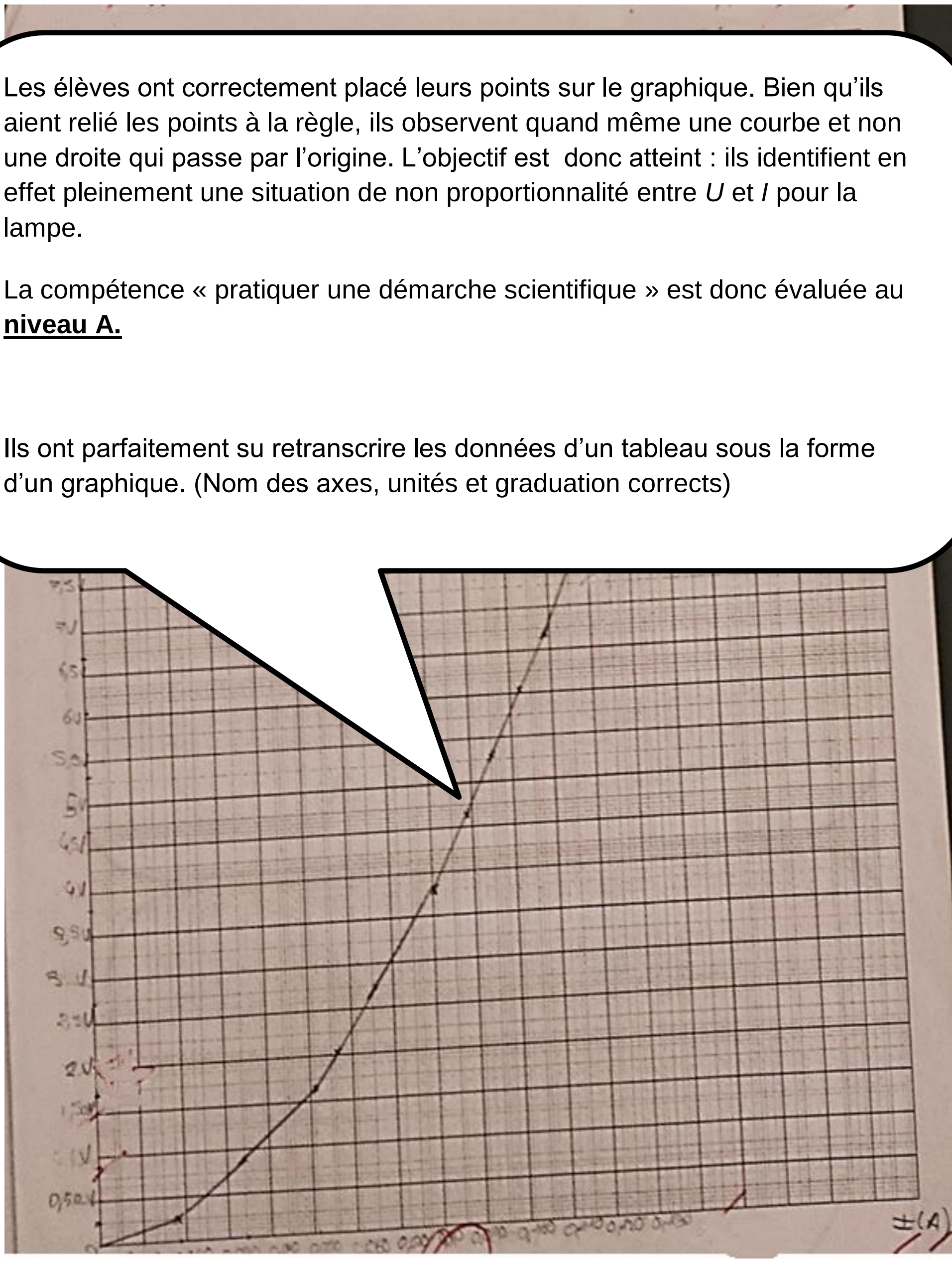
Exemple d'attendus

Pratiquer des démarches scientifiques *Domaine du socle : 4* Interpréter des résultats expérimentaux, en tirer des conclusions en les argumentant.	*Méthode 1 :* La représentation graphique obtenue n'est pas une droite qui passe par l'origine. On peut donc en conclure que la tension électrique et l'intensité électrique ne sont pas deux grandeurs physiques proportionnelles pour la lampe. On ne peut donc pas appliquer la loi d'Ohm pour ce dipôle. *Méthode 2 :* Calculer plusieurs fois le rapport U/I pour chaque couple de points et se rendre compte que le coefficient n'est pas toujours le même.
Pratiquer des langages *Domaine du socle : 1* *Passer d'une forme de langage scientifique à une autre.*	Méthode 1 : Tracer le graphique donnant *U* en fonction de *I.*  Méthode 2 : calculer plusieurs fois le rapport *U/I* pour chaque couple de points

Exemples de productions d’élèves et d’attribution de niveaux de réussite

Copie 1

Nous avons remarqué en faisent un graphique de la proportionnalité entre la tension et l'intensité que les valeurs formen une courbe donc cela ne forme pas une droite qui passe par l'origine donc John ne peut pas utiliser la loi d'Ohm Donc la valeur de la résistance, de la lampe est incorrecte.



Les élèves ont correctement placé leurs points sur le graphique. Bien qu’ils aient relié les points à la règle, ils observent quand même une courbe et non une droite qui passe par l’origine. L’objectif est donc atteint : ils identifient en effet pleinement une situation de non proportionnalité entre *U* et *I* pour la lampe.

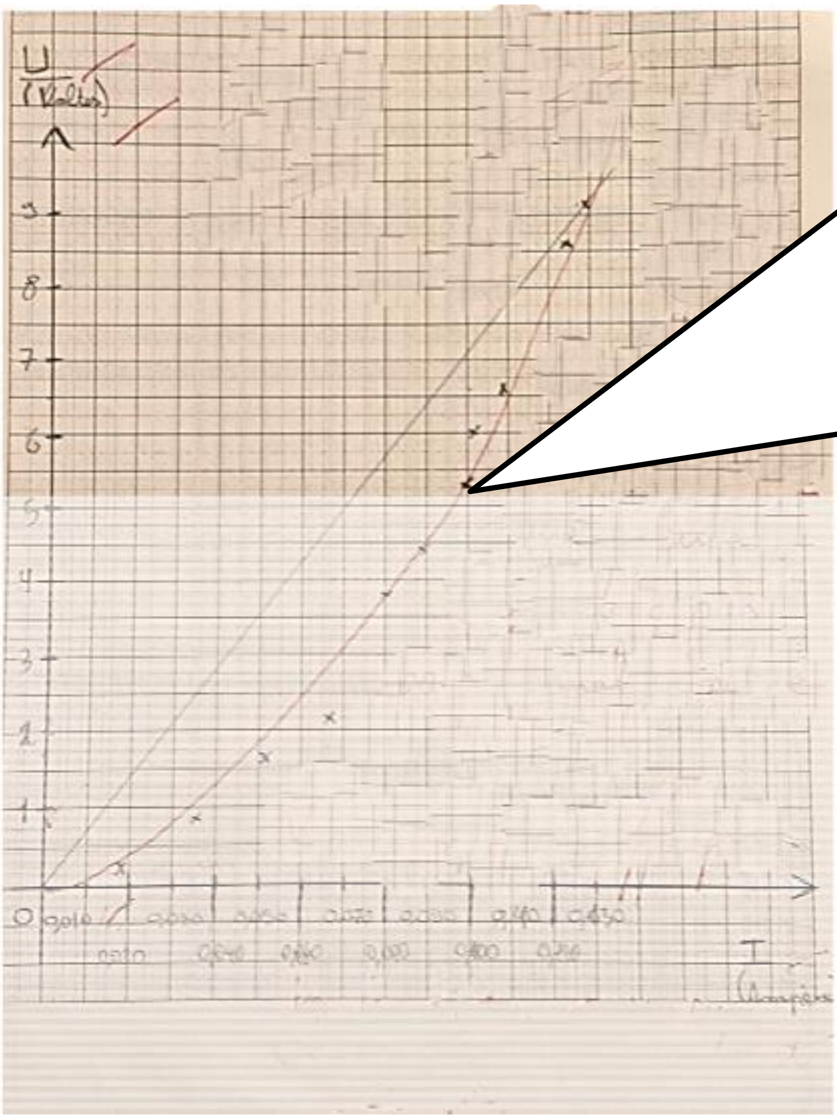
La compétence « pratiquer une démarche scientifique » est donc évaluée au **niveau A.**

Ils ont parfaitement su retranscrire les données d’un tableau sous la forme d’un graphique. (Nom des axes, unités et graduation corrects)

Compétences	A	B	C	C
Pratiquer des démarches scientifiques *Domaine du socle : 4* • Interpréter des résultats expérimentaux, en tirer des conclusions en les argumentant.	*			
Pratiquer des langages *Domaine du socle : 1* • Passer d'une forme de langage scientifique à une autre.	*			

Copie 2

Grace au graphique que nous avons réalisé, nous avons constaté que la tension et l'intensité ne sont pas proportionelles car la droite ~~ne passe~~ passant par l'origine ne touche pas la majorité des point, donc ce dipole n'est pas ohmmique.
Le binome c'est trompé car il n'y a pas de relation ce qui veut dire que la Resistance ne peut pas être calculé donc elle n'es pas de 71,3 Ω.



Les élèves ont correctement placé leurs points sur le graphique. Ils ne font pas l'erreur de relier les points à la règle.

Même s'ils tracent dans un deuxième temps une droite qui passe par l'origine, ils constatent que la majorité de leurs points n'appartiennent pas à cette droite et en concluent que *U* et *I* ne sont pas proportionnels pour une lampe.

La situation de non proportionnalité a bien été détectée.

La compétence « pratiquer une démarche scientifique » est donc évaluée au **niveau A.**

Les élèves ont parfaitement su retranscrire les données d'un tableau sous la forme d'un graphique (nom des axes, unités et graduation correctes).

La compétence « pratiquer des langages » est donc évaluée au **niveau A.**

Compétences	A	B	C	C
Pratiquer des démarches scientifiques *Domaine du socle : 4* • Interpréter des résultats expérimentaux, en tirer des conclusions en les argumentant.	*			
Pratiquer des langages *Domaine du socle : 1* • Passer d'une forme de langage scientifique à une autre.	*			

Super Lune

Niveau : **Cycle 4**
Thème en physique-chimie : Mouvement et interaction

Résumé de l'activité

Cette activité permet d'étudier l'éclipse totale de la « super Lune » le 28 septembre 2015 à partir de l'analyse d'un article de journal décrivant cet évènement.

Objectifs d'apprentissage

L'objectif de cette activité est de conduire les élèves à s'interroger sur les informations données dans un article de presse : évolution du diamètre apparent de la lune et non-respect de l'échelle sur un schéma de l'article. Pour atteindre ces objectifs, les élèves seront conduits d'une part à exploiter qualitativement une relation non linéaire entre deux grandeurs, et d'autre part à utiliser la proportionnalité à partir notamment de la relation liant vitesse, distance et durée.

Programme de physique-chimie

Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d'activités et d'outils pour l'élève
Utiliser la relation liant vitesse, distance et durée dans le cas d'un mouvement uniforme.	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.

Programme de mathématiques associé

Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d'activités et d'outils pour l'élève
Thème B - Organisation et gestion de données, fonctions : *Résoudre des problèmes de proportionnalité*	
Reconnaitre une situation de proportionnalité ou de non-proportionnalité.	Étudier des relations entre deux grandeurs mesurables pour identifier si elles sont proportionnelles ou non.
Thème C - Grandeurs et mesures : *Comprendre l'effet de quelques transformations sur des grandeurs géométriques*	
Comprendre l'effet d'un déplacement, d'un agrandissement ou d'une réduction sur les longueurs, les aires, les volumes ou les angles.	Utiliser un rapport de réduction ou d'agrandissement (architecture, maquettes), l'échelle d'une carte.

Compétences travaillées (d'après le volet 2 du programme de physique-chimie)

Compétences	Principales capacités visées
Pratiquer des démarches scientifiques *Domaine du socle : 4*	Développer des modèles simples pour expliquer des faits d'observations et mettre en œuvre des démarches propres aux sciences.
Pratiquer des langages *Domaine du socle : 1*	Lire et comprendre des documents scientifiques. Passer d'une forme de langage scientifique à une autre.

Nature et origine du document étudié

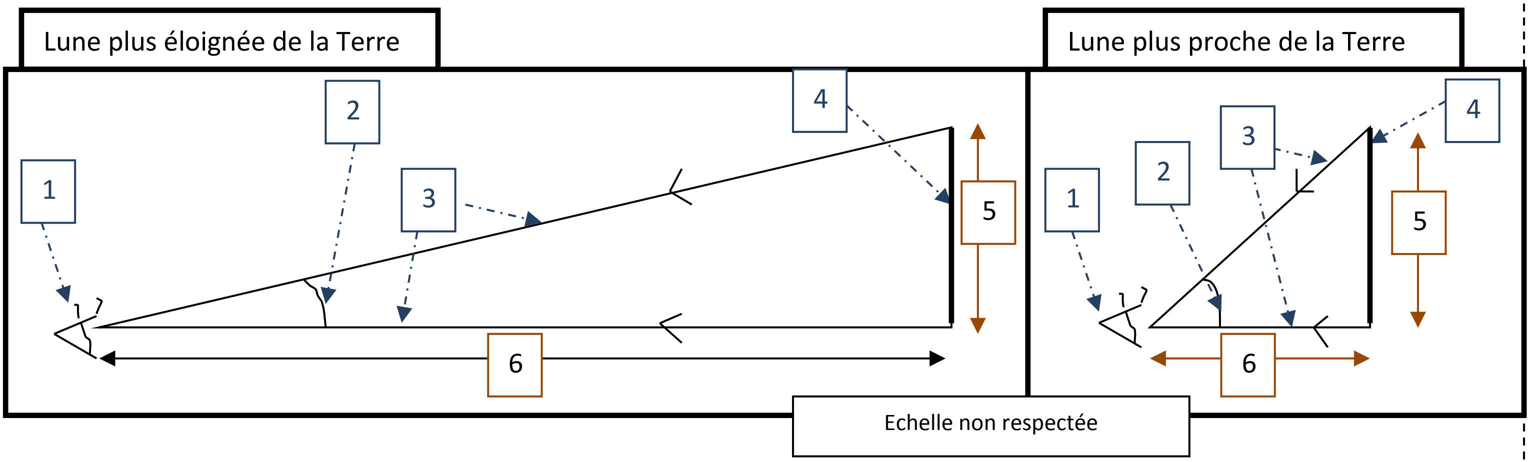
L'article sur lequel se base cette activité est extrait du journal *20 minutes* du vendredi 25 septembre 2015 (page 7 du journal). Il a été rédigé par Philippe Berry.

Déroulement de l'activité

Cette activité, prévue à la fin du cycle 4, dure un peu plus d'une heure.
Lors de cette activité, il est important de projeter l'article de journal afin que les élèves distinguent bien l'ombre et la pénombre sur le schéma. En effet, les photocopies réalisées ne sont pas toujours d'assez bonne qualité pour que les élèves puissent observer cette différence directement sur leur feuille photocopiée.
Pour commencer, le professeur donne uniquement aux élèves l'énoncé avec l'article de journal présenté à la page suivante, sans distribuer les deux feuilles de questions donnant les consignes de travail. Il lit ou fait lire par des élèves l'article de journal. Le professeur réalise ensuite avec les élèves l'activité préparatoire ci-dessous, qui dure une dizaine de minutes, pour s'assurer de la bonne appropriation de l'article de journal et des schémas ci-dessous, qui seront utiles ensuite à la résolution du problème. L'objectif est de faire comprendre aux élèves que nous sommes sensibles à l'angle sous lequel nous regardons un objet.

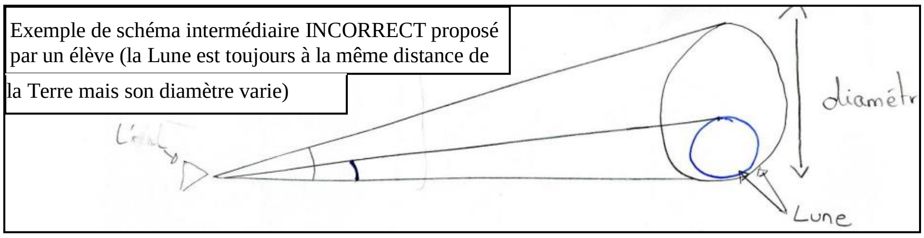
Activité préparatoire :

Dans l'article de journal, il est écrit : « *quand la Lune se trouve plus près de la Terre, elle apparait plus grosse* », c'est-à-dire que l'angle sous lequel la Lune apparaît sur Terre est plus grand.
Pour expliquer cela, commençons par compléter ensemble les légendes ci-dessous en reliant les numéros figurant sur les schémas aux objets ou aux distances correspondant.



1 •	• rayons lumineux diffusés par la Lune
2 •	• Lune
3 •	• œil d'un observateur sur la Terre
4 •	• diamètre de la Lune
5 •	• distance Terre-Lune
6 •	• angle sous lequel la Lune apparaît sur Terre

Si certains élèves ont encore des difficultés à la fin de l'activité préparatoire, il est possible de réaliser une expérience simple avec un cercle en papier ou une pièce de monnaie pour que les élèves comprennent bien la notion de diamètre apparent.
Après cette manipulation, le professeur peut demander à ses élèves de réaliser un schéma intermédiaire pour vérifier la bonne appropriation des schémas présentés ci-dessus.



Exemple de schéma intermédiaire INCORRECT proposé par un élève (la Lune est toujours à la même distance de la Terre mais son diamètre varie)

Après cette activité préparatoire réalisée avec le professeur, l'enseignant distribue aux élèves les deux feuilles contenant les consignes de travail. Les élèves peuvent alors travailler seuls ou en équipes (de 3, 4 ou 5 élèves) pour répondre aux questions posées.

<u>Remarque</u> : le professeur peut décider de ne pas donner la même version de l'activité à tous ses élèves. Il peut proposer une première version à certains élèves et une version plus ouverte, présentée à la fin de ce document, aux élèves plus aguerris. Il peut aussi laisser les élèves choisir entre les différentes versions.

Traces écrites des élèves :

Cette activité a été testée en classe entière avec différents profils d'élèves : des copies, évaluées par compétences, se trouvent dans ce document. D'après les élèves, cette activité est assez difficile mais ils ont déclaré avoir eu du plaisir à réfléchir sur cette activité et aucun d'entre eux ne s'est découragé car ils ont trouvé cette activité « motivante » et « bien construite ».

Une analyse des ces écrits conduit à quelques remarques :

- Il est intéressant d'observer que certains élèves ont du mal à exploiter les relations entre grandeurs lorsqu'on leur demande de conclure l'étude (questions 1.d et 2.e) même quand ils ont montré une bonne compréhension de ces relations. Par exemple, dans la copie 1, l'élève sait dire que α augmente quand D diminue et d est constant, les trois grandeurs étant liées par la relation $\alpha=d/D$. Cependant, il n'arrive pas à justifier correctement l'affirmation « quand la Lune se trouve plus près de la Terre, elle apparait plus grosse ». Il semble donc nécessaire de faire « parler » les relations mathématiques entre grandeurs physiques.
- Il faut aussi noter une difficulté caractéristique de l'enseignement de la physique-chimie. Dans cette activité qui ne peut être mise en œuvre qu'en fin de collège, les élèves ont des difficultés pour exploiter la relation $\alpha=d/D$ qui n'est pas une relation de proportionnalité dans le contexte de travail puisque c'est d qui est constant. Dans un autre contexte, cette même relation peut devenir une relation de proportionnalité si l'angle α est une constante du problème. Ce n'est sans doute pas un point à aborder avec les élèves mais le professeur de physique chimie-doit avoir présent à l'esprit ces difficultés.
- La lecture de la copie 2 permet de préciser ce qu'est l'évaluation par compétence. La réponse à la question de synthèse 1.d montre clairement que l'élève s'est approprié la problématique et cherche à expliquer le phénomène par analogie, mais que la compétence « développer des modèles simples » est à un niveau de maîtrise fragile.

Enoncé du sujet

Deux phénomènes astronomiques spectaculaires se sont produits en même temps le lundi 28 septembre 2015 en Europe, en Afrique et en Amérique. Cet évènement rare ne se reproduira plus avant 2033.
Etudions ces phénomènes astronomiques en analysant un article paru le 25 septembre 2015 dans le journal *20 minutes*.

ASTRONOMIE La combinaison d'une « super Lune » et d'une éclipse est un événement rare

La Lune, star spectaculaire

Philippe Berry

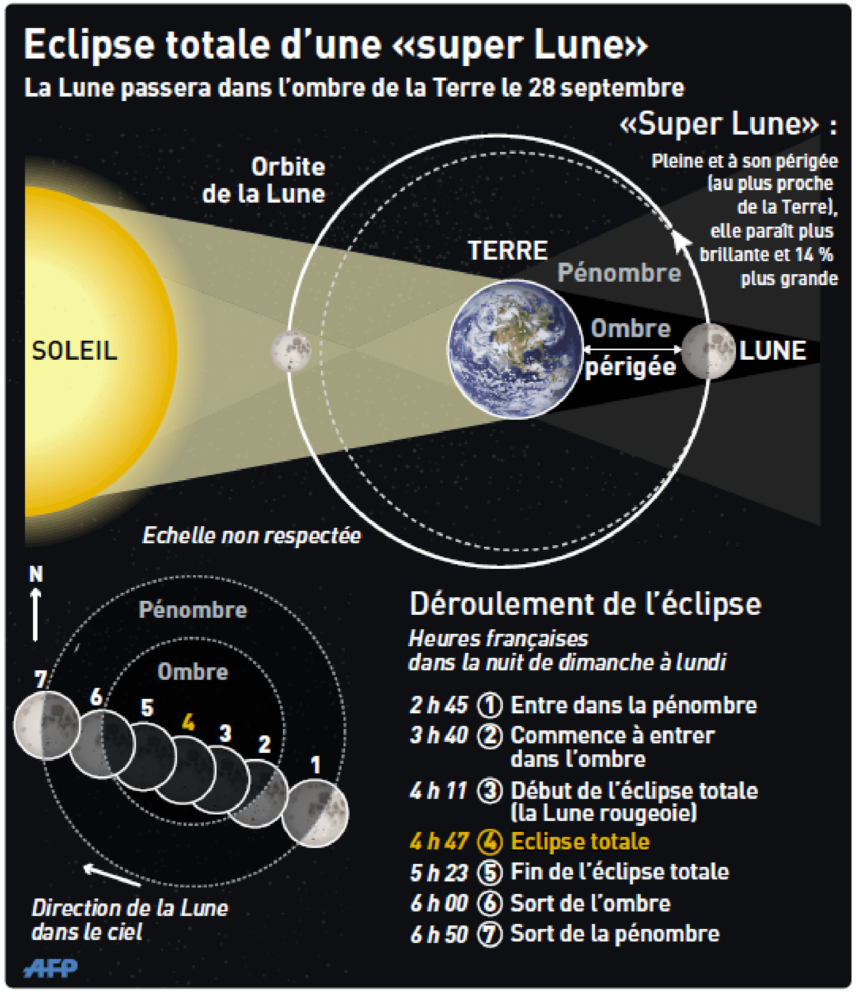
Un tel événement n'était pas arrivé depuis 1982. Et le suivant n'est pas prévu avant 2033. Dans la nuit de dimanche à lundi, deux phénomènes astronomiques se produisent en même temps : une « super Lune » combinée à une éclipse totale.

› C'est quoi, une « super Lune » ? C'est quand la Lune se trouve le plus près de la Terre. Elle apparaît 14 % plus grosse et 30 % plus brillante. La raison : son orbite autour de la Terre n'est pas ronde, mais elliptique. Au plus près de notre planète (à 357 000 km, contre 406 000 km quand elle se trouve au point le plus éloigné), elle a l'air plus volumineuse.

› C'est quoi, une éclipse de Lune ? C'est quand le Soleil, la Terre et la Lune sont alignés (dans cet ordre). Notre satellite passe alors dans l'ombre de la Terre. A la différence d'une éclipse de Soleil, la Lune ne disparaît pas. Elle s'assombrit d'abord puis rougeoie, éclairée par une partie des rayons du Soleil déviés par l'atmosphère terrestre.

› Où peut-on voir le phénomène ? Dans plus de la moité du monde, en Europe, en Afrique et en Amérique. Attention, en France, la Lune sera à environ à 28°, donc assez basse sur l'horizon. Mieux vaut choisir un point de vue bien dégagé.

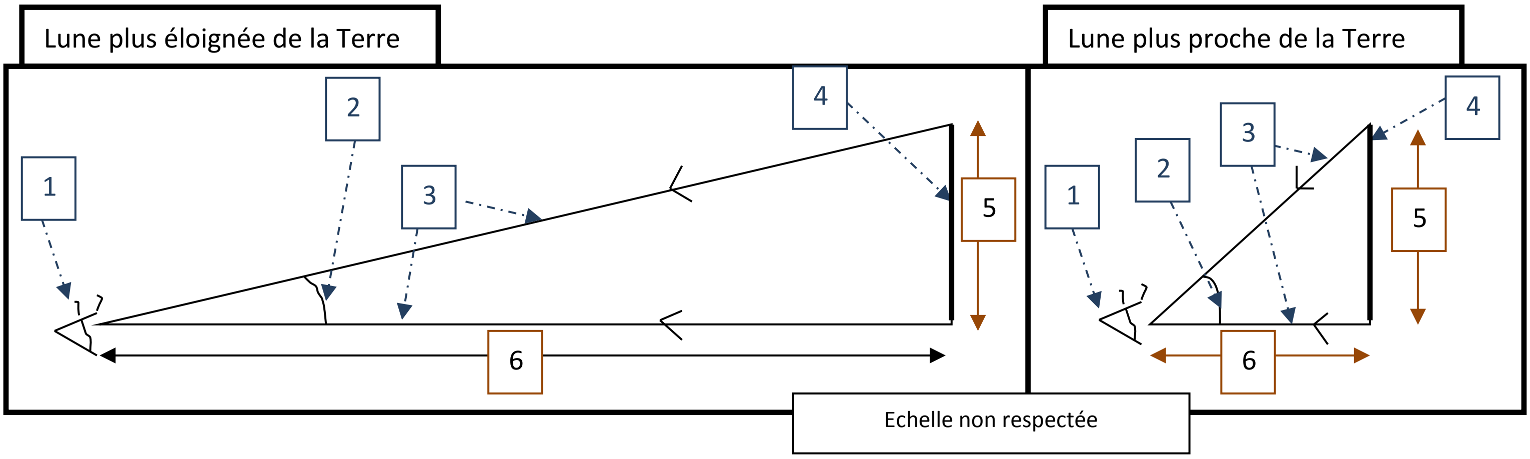
› Quelles précautions oculaires prendre ? Aucune. A la différence d'une éclipse solaire, il n'y a pas de rayons dangereux. Il suffit de se lever vers 4 h, de prévoir une couverture et une paire de jumelles. ■



Le phénomène sera visible en Europe, en Afrique et en Amérique.

QUESTIONS

1. **D'après l'article de journal, « *quand la Lune se trouve plus près de la Terre, elle apparait plus grosse* », c'est-à-dire que l'angle sous lequel la Lune apparaît sur Terre est plus grand. Pour expliquer cela, répondre aux questions suivantes.**



1	œil d'un observateur sur la Terre
2	angle sous lequel la Lune apparaît sur Terre
3	rayons lumineux diffusés par la Lune
4	Lune
5	diamètre de la Lune
6	distance Terre-Lune

a. Nommer la figure géométrique observée sur les schémas ci-dessus : ……………………………………….

b. Comme le diamètre de la Lune est petit devant la distance Terre-Lune, on peut considérer que l'angle *α* sous lequel la Lune apparaît sur Terre est égal à : $\alpha = \frac{d}{D}$ avec *d* le diamètre de la Lune et *D* la distance Terre-Lune.

D'après cette relation mathématique : *(cocher les cases correspondant aux bonnes réponses)*

- si *d* diminue et *D* est constant, l'angle *α* : ☐ diminue ☐ ne varie pas ☐ augmente.
- si *D* diminue et *d* est constant, l'angle *α* : ☐ diminue ☐ ne varie pas ☐ augmente.

c. Au cours d'une année : *(cocher les cases correspondant aux bonnes réponses)*

- le diamètre de la Lune *d* : ☐ varie ☐ reste constant
- la distance Terre-Lune *D* : ☐ varie ☐ reste constante
- l'angle *α* sous lequel la Lune apparaît sur Terre : ☐ varie ☐ reste constant

d. Faire une synthèse des réponses aux questions précédentes pour justifier l'affirmation de l'article de journal : « *quand la Lune se trouve plus près de la Terre, elle apparait plus grosse* ».

………..

………..

………..

2. Dans l'article de journal, il est noté que l'échelle du schéma représentant le Soleil, la Terre et la Lune n'est pas respectée. Pour expliquer cela, répondre aux questions suivantes.

La distance d parcourue par la Lune dépend de la valeur de la vitesse v de la Lune autour de la Terre, constante durant l'éclipse, et de la durée du déplacement t, suivant la relation mathématique :

$$\boxed{d = v \times t}$$

a. Comme la valeur de la vitesse v est considérée comme constante : *(cocher la case correspondant à la bonne réponse)*

☐ la distance d est proportionnelle à la durée du déplacement t.

☐ la distance d est proportionnelle à la valeur de la vitesse v.

☐ la durée du déplacement t est proportionnelle à la valeur de la vitesse v.

b. Utiliser les informations ci-contre pour calculer :

- la durée t_1 entre l'entrée de la Lune dans la pénombre et l'entrée de la Lune dans la zone d'ombre de la Terre : ……………………..

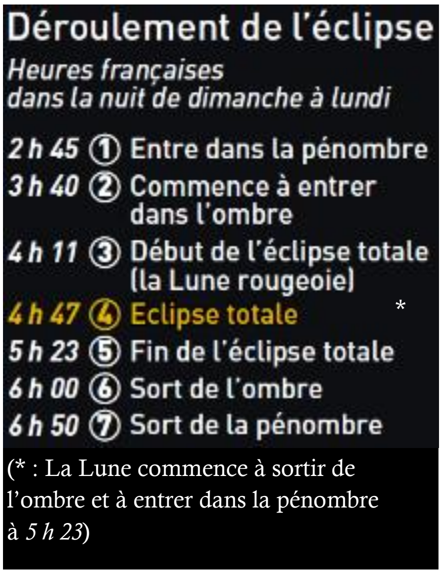
…………………………………………………………………………

- la durée t_2 entre l'entrée de la Lune dans l'ombre avant le début de l'éclipse totale et l'entrée de la Lune dans la pénombre à la fin de l'éclipse totale : ……….……………………………………….

…………………………………………………………………………

- la durée t_3 entre la sortie de la Lune de l'ombre et la sortie de la Lune de la pénombre après l'éclipse totale : …………

……………………………………………………………………………………………………..……



Déroulement de l'éclipse

Heures françaises dans la nuit de dimanche à lundi

2 h 45 ① Entre dans la pénombre
3 h 40 ② Commence à entrer dans l'ombre
4 h 11 ③ Début de l'éclipse totale (la Lune rougeoie)
4 h 47 ④ Eclipse totale *
5 h 23 ⑤ Fin de l'éclipse totale
6 h 00 ⑥ Sort de l'ombre
6 h 50 ⑦ Sort de la pénombre

(* : La Lune commence à sortir de l'ombre et à entrer dans la pénombre à *5 h 23*)

c. Comparer les durées t_1, t_2 et t_3 : *(cocher la case correspondant à la bonne réponse)*

☐ $t_1 > t_2$ et $t_3 > t_2$ ☐ $t_1 = t_2 = t_3$ ☐ $t_1 < t_2$ et $t_3 < t_2$

d. En déduire des comparaisons entre les distances d_1, d_2 et d_3 parcourues par la Lune pendant les durées t_1, t_2 et t_3.

………..

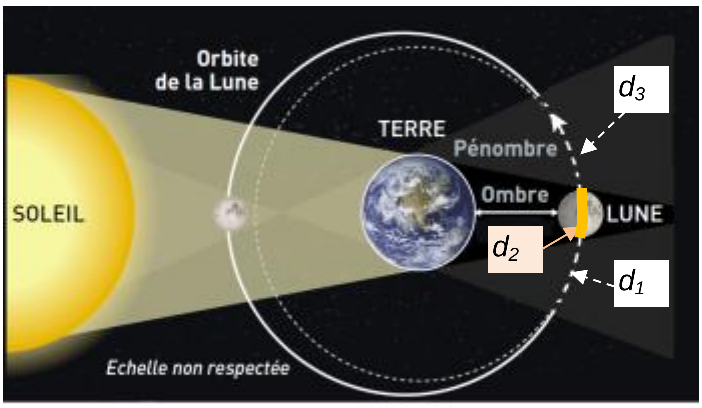
………

e. Montrer que l'échelle du schéma représentant le Soleil, la Terre et la Lune n'est pas respectée dans l'article de journal.

…………………………………………………………..

……………………………………………………..….

…………………………………………..………



Exemple d'attendus

<table>
<tr>
<td>Pratiquer des démarches scientifiques
Domaine du socle : 4
Développer des modèles simples pour expliquer des faits d'observations et mettre en œuvre des démarches propres aux sciences.</td>
<td>
• 1.a : La figure géométrique observée est un triangle rectangle.

• 1.b : La relation $\alpha = \dfrac{d}{D}$ est comprise : - si d diminue et D est constant : l'angle α diminue
- si D diminue et d est constant : l'angle α augmente

• 1.d : Si la distance diminue, l'angle α sous lequel la Lune apparaît sur Terre augmente, la Lune apparait plus grosse.

• 2.d : D'après la relation mathématique $d = v \times t$, comme la valeur de la vitesse v est constante, si $t_1 < t_2$ et $t_3 < t_2$, $d_1 < d_2$ et $d_3 < d_2$ (la distance d est proportionnelle à la durée du déplacement t).

• 2.e : L'échelle du schéma dans l'article de journal représentant le Soleil, la Terre et la Lune n'est donc pas respectée puisque les distances représentées sur ce schéma ne sont pas proportionnelles aux distances réelles parcourues par la Lune (sur le schéma dans l'article de journal, $d_1 > d_2$ et $d_3 > d_2$ alors que d'après les résultats du 2.d, $d_1 < d_2$ et $d_3 < d_2$.).
</td>
</tr>
<tr>
<td>Pratiquer des langages
Domaine du socle : 1
Lire et comprendre des documents scientifiques.
Passer d'une forme de langage scientifique à une autre.</td>
<td>
• 1.b : La relation $\alpha = \dfrac{d}{D}$ est comprise : - si d diminue et D est constant : l'angle α diminue
- si D diminue et d est constant : l'angle α augmente

• 1.c : Au cours d'une année, le diamètre de la Lune d reste constant tandis que la distance Terre-Lune D et l'angle α sous lequel la Lune apparaît sur Terre varient.

• 1.d : Quand la Lune se trouve plus près de la Terre, la distance Terre-Lune D est plus petite.
Or, d'après la relation mathématique $\alpha = \dfrac{d}{D}$, comme le diamètre de la Lune d reste constant, l'angle α sous lequel la Lune apparaît sur Terre augmente si D diminue.

• 2.a : D'après la relation mathématique $d = v \times t$, comme la valeur de la vitesse v est constante, la distance d est proportionnelle à la durée du déplacement t.

• 2.b : La durée t_1 entre l'entrée de la Lune dans la pénombre et l'entrée de la Lune dans la zone d'ombre de la Terre est égale à : 3 h 40 – 2 h 45 = 55 min.
La durée t_2 entre l'entrée de la Lune dans l'ombre et l'entrée de la Lune dans la pénombre à la fin de l'éclipse totale est égale à : 5 h 23 – 3 h 40 = 1 h 43 min.
La durée t_3 entre la sortie de la Lune de l'ombre et la sortie de la Lune de la pénombre est égale à : 6 h 50 – 6 h 00 = 50 min.

• 2.c : D'après les résultats du 2.b, $t_1 < t_2$ et $t_3 < t_2$.

• 2.e : D'après les résultats du 2.d, $d_1 < d_2$ et $d_3 < d_2$.
</td>
</tr>
</table>

Aides

Les aides suivantes peuvent être apportées aux élèves en difficulté.

Pratiquer des démarches scientifiques *(domaine du socle : 4)*
Développer des modèles simples pour expliquer des faits d'observations et mettre en œuvre des démarches propres aux sciences.

• La Lune n'est pas toujours à la même distance de la Terre. Au plus près de notre planète, la distance Terre-Lune est égale à 357 000 km, contre 406 000 km quand la Lune se trouve au point le plus éloigné.
• Pour justifier l'affirmation de l'article de journal : « *quand la Lune se trouve plus près de la Terre, elle apparait plus grosse* », il faut se souvenir que cela signifie que l'angle α sous lequel la Lune apparaît sur Terre est plus grand.

Pratiquer des langages *(domaine du socle : 1)*
Lire et comprendre des documents scientifiques.
Passer d'une forme de langage scientifique à une autre.

• Une figure géométrique peut être un cercle, un triangle isocèle, un rectangle, etc.
• Soit la relation mathématique : $a = \frac{b}{c}$. Si c est une constante, a est proportionnel à b.
• Soit la relation mathématique : $a = \frac{b}{c}$. Si b est une constante et c diminue, a augmente.
• Pour savoir si l'angle α sous lequel la Lune apparaît sur Terre varie au cours d'une année, il faut relier la relation mathématique $\boxed{\alpha = \frac{d}{D}}$ aux deux premières réponses de la question **1.c.**.
• Soit la relation mathématique : $a = b \times c$. Si b est une constante, a est proportionnel à c.
• D'après les informations données dans l'article, t_1 = 3 h 40 – 2 h 45 = 55 min. t_2 = 5 h 23 – 3 h 40 = 1 h 43 min. t_3 = 6 h 50 – 6 h 00 = 50 min.
• D'après la relation mathématique $d = v \times t$, comme la valeur de la vitesse v est constante, la distance d est proportionnelle à la durée t. Ainsi, si $t_1 < t_2$, alors $d_1 < d_2$.

Exemples de productions d'élèves et d'attributions de niveaux de réussite

Copie 1

1.

a. Nommer la figure géométrique observée sur les schémas : triangle rectangle

b. Comme le diamètre de la Lune est petit devant la distance Terre-Lune, on peut considérer que l'angle α sous lequel la Lune apparaît sur Terre est égal à : $\alpha = \frac{d}{D}$ avec d le diamètre de la Lune et D la distance Terre-Lune.

D'après cette relation mathématique : *(cocher les cases correspondant aux bonnes réponses)*

- si d diminue et D est constant, l'angle α : ☒ diminue ☐ ne varie pas ☐ augmente.
- si D diminue et d est constant, l'angle α : ☐ diminue ☐ ne varie pas ☒ augmente.

Les réponses aux premières questions sont correctes.

c. Au cours d'une année : *(cocher les cases correspondant aux bonnes réponses)*

- le diamètre de la Lune d : ☐ varie ☒ reste constant
- la distance Terre-Lune D : ☒ varie ☐ reste constante
- l'angle α sous lequel la Lune apparaît sur Terre : ☒ varie ☐ reste constant

Cependant la synthèse ne fait pas le lien entre l'angle α et le diamètre apparent de la Lune. L'expression « c'est normal » semble indiquer que l'élève s'appuie sur sa perception intuitive de la situation sans comprendre forcément l'intérêt du modèle.

d. Faire une synthèse des réponses aux questions précédentes pour justifier l'affirmation de l'article de journal : *« quand la Lune se trouve plus près de la Terre, elle apparait plus grosse ».*

Quand la Lune se trouve plus près de la Terre, elle apparait plus grosse car sachant que le diamètre de la Lune ne varie jamais mais que la distance Terre-Lune diminue, c'est normal que vu de la Terre, la Lune apparaisse plus grande

GRIESP Activité sur la proportionnalité Super Lune

REMARQUE : d'autres élèves font clairement le lien dans la question

…ons précédentes pour justifier l'affirmation de l'article de …s près de la Terre, elle apparait plus grosse ».

Quand la Lune se trouve plus près de la Terre, l'angle a sous lequel la Lune apparaît sur Terre varie. Vu que D diminue et que d est constant, l'angle a augmente. Et comme celui-ci représente la vision d'un observateur, la Lune lui apparaît plus grosse.

GRIESP Activité sur la proportionnalité Super Lune

2.

La distance *d* parcourue par la Lune dépend de la valeur de la vitesse *v* de la Lune autour de la Terre, constante durant l'éclipse, et de la durée du déplacement *t*, suivant la relation mathématique :

$$\boxed{d = v \times t}$$

a. Comme la valeur de la vitesse *v* est considérée comme constante : *(cocher la case correspondant à la bonne réponse)*

☒ la distance *d* est proportionnelle à la durée du déplacement *t*.
☐ la distance *d* est proportionnelle à la valeur de la vitesse *v*.
☐ la durée du déplacement *t* est proportionnelle à la valeur de la vitesse *v*.

> La réponse est correcte.

b. Utiliser les informations ci-contre pour calculer :

- la durée t_1 entre l'entrée de la Lune dans la pénombre et l'entrée de la Lune dans la zone d'ombre de la Terre : 2 h 45 et 3 h 40 dans 3 h 40 – 2 h 45 = 1 h 05

- la durée t_2 entre l'entrée de la Lune dans l'ombre avant le début de l'éclipse totale et l'entrée de la Lune dans la pénombre à la fin de l'éclipse totale : 3 h 40 et 5 h 23 dans 3 h 40 – 5 h 23 = ~~2 h 03~~ 1 h 43

- la durée t_3 entre la sortie de la Lune de l'ombre et la sortie de la Lune de la pénombre après l'éclipse totale : 6 h 00 et 6 h 50 dans t_3 = 50 minutes

> Deux des trois calculs de durées sont corrects.
> Les heures à prendre en compte sont bien sélectionnées.

c. Comparer les durées t_1, t_2 et t_3 : *(coche la case correspondant à la bonne réponse)*

☐ $t_1 > t_2$ et $t_3 > t_2$ ☐ $t_1 = t_2 = t_3$ ☒ $t_1 < t_2$ et $t_3 < t_2$

> A la première question, l'élève a bien identifié la proportionnalité entre *d* et *t*. Ici, il l'utilise convenablement pour comparer les distances.

d. En déduire des comparaisons entre les distances d_1, d_2 et d_3 parcourues par la Lune pendant les durées t_1, t_2 et t_3.

Sachant que la distance parcourue par la Lune et la durée sont proportionnels, $d_1 < d_2$ et $d_3 < d_2$

e. Montrer que l'échelle du schéma représentant le Soleil, la Terre et la Lune n'est pas respectée dans l'article de journal.

L'échelle du schéma n'est pas respecté car il y a dans cet cadre : le Soleil, Mercure Vénus et la Terre donc le schéma ne respecte pas

GRIESP Activité sur la propo

> L'élève ne s'appuie pas sur un raisonnement mathématique et préfère s'appuyer sur ses connaissances antérieures.
> Il ne fait pas le lien entre les distances comparées auparavant et les mêmes distances sur le schéma.

> REMARQUE :
> d'autres élèves font, encore une fois,

e. Montrer que l'échelle du schéma représentant le Soleil, la Terre et la Lune n'est pas respectée dans l'article de journal.

L'échelle n'est pas respecté car d_2 doit être plus grande et sur le schéma c'est la plus petite.

GRIESP Activité sur la prop

Copie 1	Correction (les niveaux de réussite dépendent aussi du nombre d'aides éventuellement données si l'activité est réalisée en classe)	Niveaux de réussite A	B	C	D
Pratiquer des démarches scientifiques *Domaine du socle : 4* Développer des modèles simples pour expliquer des faits d'observations et mettre en œuvre des démarches propres aux sciences.	• 1.a • 1 • 1 • 2. • 2. d d On remarque que : ➢ l'élève utilise correctement la relation mathématique pour comprendre les variations de la grandeur α en fonction de *d* et *D* ; ➢ l'élève utilise correctement la relation de proportionnalité entre *t* et *d*. En revanche : ➢ l'élève ne fait pas bien le lien entre le modèle et la réalité. Il n'a pas encore le réflexe de s'appuyer sur les raisonnements mathématiques ; ➢ le lien entre les distances estimées par le calcul et les distances représentées sur le schéma n'est pas fait. **La compétence « pratiquer des démarches scientifiques » a donc été validée au niveau B : l'élève possède un niveau de maîtrise satisfaisant des relations mathématiques, notamment la proportionnalité, mais n'a pas encore le recul pour percevoir pleinement l'intérêt et le sens de la démarche de modélisation.**		X		
Pratiquer des langages *Domaine du socle : 1* Lire et comprendre des documents scientifiques. Passer d'une forme de langage scientifique à une autre.	• 1. - si *D* diminue et *d* est constant : l'angle α augmente • **1.c** : Au cours d'une année, le diamètre de la Lune *d* reste constant tandis que la distance Terre-Lune *D* et l'angle α sous lequel la On remarque que : ➢ l'élève est capable de faire le lien entre la situation et le schéma ; ➢ l'élève est capable de traduire une relation mathématique sous forme de phrases ; ➢ les variations des grandeurs *d*, *D* et α sont bien comprises en lien avec le texte, le schéma et la relation mathématique ; ➢ la règle de calcul des durées est connue. En revanche : ➢ le calcul des durées doit être consolidé. **La compétence « pratiquer des langages » a donc été validée au niveau A. La maîtrise est conforme aux attendus.** pénombre est égale à : 6 h 50 – 6 h 00 = 50 min. • **2.c** : D'après les résultats du **2.b**, $t_1 < t_2$ et $t_3 < t_2$. • **2.e** : D'après les résultats du **2.d**, $d_1 < d_2$ et $d_3 < d_2$.	X			

Copie 2

L'élève n'a pas reconnu un triangle rectangle, ou n'a pas vu l'intérêt de le préciser.

1.

a. Nommer la figure géométrique observée sur les schémas : c'est un triangle

b. Comme le diamètre de la Lune est petit devant la distance Terre-Lune, on peut considérer que l'angle α sous lequel la Lune apparaît sur Terre est égal à : $\alpha = \frac{d}{D}$ avec d le diamètre de la Lune et D la distance Terre-Lune.

D'après cette relation mathématique : *(cocher les cases correspondant aux bonnes réponses)*

- si d diminue et D est constant, l'angle α : ☐ diminue ☐ ne varie pas ☒ augmente.
- si D diminue et d est constant, l'angle α : ☒ diminue ☐ ne varie pas ☐ augmente.

Les réponses sont fausses. L'élève ne semble pas à l'aise avec cette relation mathématique.

c. Au cours d'une année : *(cocher les cases correspondant aux bonnes réponses)*

- le diamètre de la Lune d : ☐ varie ☒ reste constant
- la distance Terre-Lune D : ☒ varie ☐ reste constante
- l'angle α sous lequel la Lune apparaît sur Terre : ☒ varie ☐ reste constant

Les réponses sont correctes ici.

d. Faire une synthèse des réponses aux questions précédentes pour justifier l'affirmation de l'article de journal : *« quand la Lune se trouve plus près de la Terre, elle apparaît plus grosse ».*

La lune paraît plus grosse car elle est plus près et plus on s'approche plus les objets sont gros et visibles alors que plus on s'éloigne plus les objets sont petits. Comme par exemple le soir on voit la lu mais pour une planète comme Mars car Mars est élogn comparer à la lune

GRIESP Activité sur la proportionnalité Super Lune

La synthèse ne fait pas le lien entre l'angle α et le diamètre apparent de la Lune. L'élève ne fait pas du tout référence aux questions

2.

La distance d parcourue par la Lune dépend de la valeur de la vitesse v de la Lune autour de la Terre, constante durant l'éclipse, et de la durée du déplacement t, suivant la relation mathématique :

$$\boxed{d = v \times t}$$

a. Comme la valeur de la vitesse v est considérée comme constante : *(cocher la case correspondant à la bonne réponse)*

☒ la distance d est proportionnelle à la durée du déplacement t.
☐ la distance d est proportionnelle à la valeur de la vitesse v.
☐ la durée du déplacement t est proportionnelle à la valeur de la vitesse v.

La réponse est correcte.

Les horaires sont bien sélectionnés.
Le premier calcul est faux. 1h45 au lieu de 1h43 : il s'agit probablement d'une erreur d'inattention.
Le calcul le plus simple est correct.

b. Utiliser les informations ci-contre pour calculer :

- la durée t_1 entre l'entrée de la Lune dans la pénombre et l'entrée de la Lune dans la zone d'ombre de la Terre : 2h45 et 3h40 donc 1h05 s'est écoulé
- la durée t_2 entre l'entrée de la Lune dans l'ombre avant le début de l'éclipse totale et l'entrée de la Lune dans la pénombre à la fin de l'éclipse totale : 3h40 et 5h23 donc 1h45 s'est écoulé
- la durée t_3 entre la sortie de la Lune de l'ombre et la sortie de la Lune de la pénombre après l'éclipse totale : 6h00 et 6h50 donc 50 minutes se ~~[illegible]~~ sont écoulés

Déroulement de l'éclipse
Heures françaises dans la nuit de dimanche à lundi

- 2 h 45 ① Entre dans la pénombre
- 3 h 40 ② Commence à entrer dans l'ombre
- 4 h 11 ③ Début de l'éclipse totale (la Lune rougeoie)
- 4 h 47 ④ Eclipse totale
- 5 h 23 ⑤ Fin de l'éclipse totale
- 6 h 00 ⑥ Sort de l'ombre
- 6 h 50 ⑦ Sort de la pénombre

(* : La Lune commence à sortir de l'ombre et à entrer dans la pénombre à 5 h 23)

c. Comparer les durées t_1, t_2 et t_3 : *(coche la case correspondant à la bonne réponse)*

☐ $t_1 > t_2$ et $t_3 > t_2$ ☐ $t_1 = t_2 = t_3$ ☒ $t_1 < t_2$ et $t_3 < t_2$

La comparaison est correcte et cohérente avec les calculs précédents.
Le formalisme « < » et « > » est maîtrisé.

d. En déduire des comparaisons entre les distances d_1, d_2 et d_3 parcourues par la Lune pendant les durées t_1, t_2 et t_3.

comme la distance est proportionnel à la durée parcouru par la lune, la distance d_1 est plus petite que la d_2 et la distance d_3 est aussi plus petite que de

La proportionnalité avait été reconnue plus haut. Elle est correctement utilisée pour la comparaison des distances.
On peut cependant s'interroger sur le choix de ne pas utiliser le symbole « < » comme à la question

e. Montrer que l'échelle du schéma représentant le Soleil, la Terre et la Lune n'est pas respectée dans l'article de journal.

Le soleil, la Terre et la lune sont extrêmement plus grands et de plus ils disent que l'échelle n'est pas respectée

GRIESP Activité sur la proportionnalité Super Lune

Il semble que l'élève confonde « échelle » avec taille réelle.
En tout cas, le fait que les mêmes distances d_1, d_2, d_3 figurent sur le schéma et à la question précédente n'a pas mis l'élève sur la voie.

Copie 2	**Correction** (les niveaux de réussite dépendent aussi du nombre d’aides éventuellement données si l’activité est réalisée en classe)	**Niveaux de réussite** A	B	C	D
Pratiquer des démarches scientifiques *Domaine du socle : 4* Développer des modèles simples pour expliquer des faits d’observations et mettre en œuvre des démarches propres aux sciences.	• **1.a** : La fig • **1.b** : La • **1.d** : Si • **2.d** : D’ (la **2.e** : L’é distance dans l’a			X	
Pratiquer des langages *Domaine du socle : 1* Lire et comprendre des documents scientifiques. Passer d’une forme de langage scientifique à une autre.	• **1.b** : La • **1.c** : Au cou Lune apparaît sur Terre varient. • **1.d** : • • • **2** • **2.e** : D’après les résultats du **2.d**, $d_1 < d_2$ et $d_3 < d_2$.		X		

On remarque que :

- l’élève utilise correctement les propriétés d’une relation de proportionnalité pour comparer les distances à partir des durées de parcours ;

En revanche :

- la relation mathématique utile au problème n’est pas maîtrisée ;
- le lien entre la relation mathématique et le phénomène observé n’est pas compris. En faisant ce lien, l’élève aurait pu prendre conscience de son erreur et la corriger ;
- le lien entre les distances estimées par le calcul et les distances représentées sur le schéma n’est pas fait.

La compétence « pratiquer des démarches scientifiques » n’a donc pas été validée (niveau C) : l’élève possède un niveau de maîtrise trop fragile des relations mathématiques pour avoir le réflexe de les utiliser pour expliquer des faits d’observation.

On remarque que :

- l’élève complète correctement le schéma et est capable d’indiquer les grandeurs variables ou constantes du problème ;
- l’élève reconnaît une relation de proportionnalité ;
- les symboles mathématiques de comparaison sont connus ;
- la règle de calcul des durées est connue.

En revanche :

- le calcul des durées doit être consolidé ;
- le langage mathématique utilisé est très limité.

La compétence « pratiquer des langages » a donc été validée au niveau B. La maîtrise est conforme aux attendus même si l’élève montre des signes assez inquiétants d’usage minimal du langage mathématique pour raisonner.

Enoncés du sujet d'autres versions, plus ouvertes, de la même activité sur la super Lune

Deux phénomènes astronomiques spectaculaires se sont produits en même temps le lundi 28 septembre 2015 en Europe, en Afrique et en Amérique. Cet évènement rare ne se reproduira plus avant 2033.
Etudions ces phénomènes astronomiques en analysant un article paru le 25 septembre 2015 dans le journal *20 minutes*.

ASTRONOMIE La combinaison d'une « super Lune » et d'une éclipse est un événement rare

La Lune, star spectaculaire

Philippe Berry

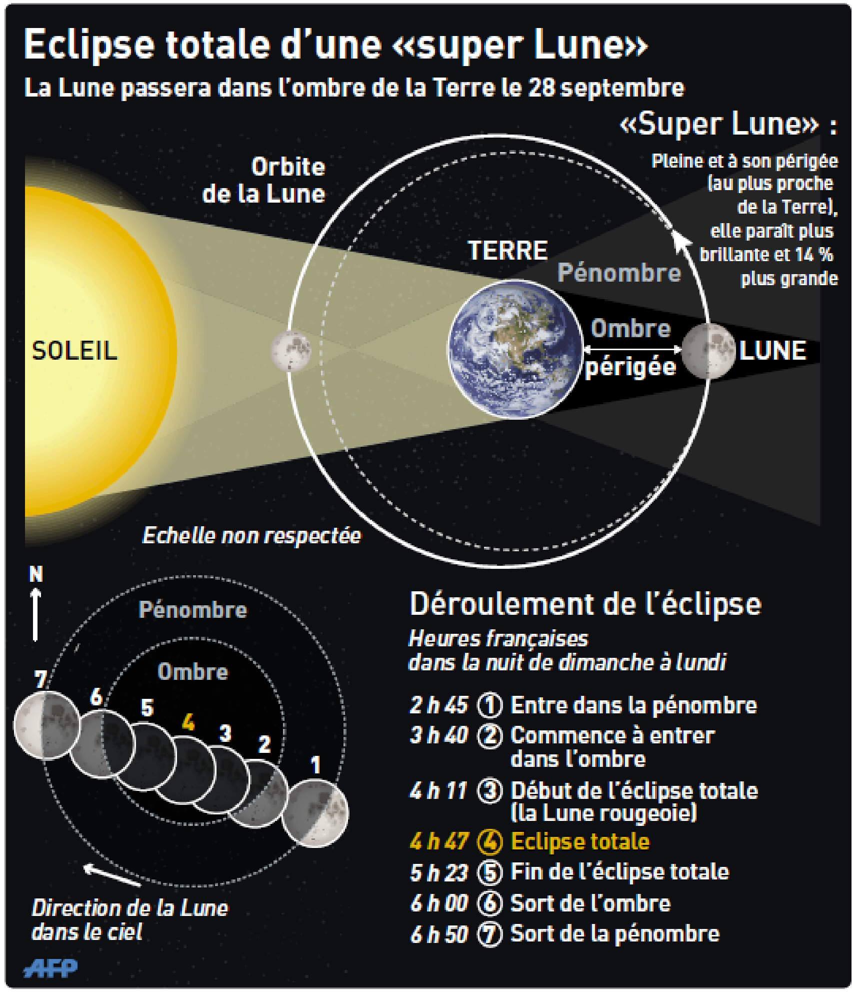
Un tel événement n'était pas arrivé depuis 1982. Et le suivant n'est pas prévu avant 2033. Dans la nuit de dimanche à lundi, deux phénomènes astronomiques se produisent en même temps : une « super Lune » combinée à une éclipse totale.

› C'est quoi, une « super Lune » ? C'est quand la Lune se trouve le plus près de la Terre. Elle apparaît 14 % plus grosse et 30 % plus brillante. La raison : son orbite autour de la Terre n'est pas ronde, mais elliptique. Au plus près de notre planète (à 357 000 km, contre 406 000 km quand elle se trouve au point le plus éloigné), elle a l'air plus volumineuse.

› C'est quoi, une éclipse de Lune ? C'est quand le Soleil, la Terre et la Lune sont alignés (dans cet ordre). Notre satellite passe alors dans l'ombre de la Terre. A la différence d'une éclipse de Soleil, la Lune ne disparaît pas. Elle s'assombrit d'abord puis rougeoie, éclairée par une partie des rayons du Soleil déviés par l'atmosphère terrestre.

› Où peut-on voir le phénomène ? Dans plus de la moité du monde, en Europe, en Afrique et en Amérique. Attention, en France, la Lune sera à environ à 28°, donc assez basse sur l'horizon. Mieux vaut choisir un point de vue bien dégagé.

› Quelles précautions oculaires prendre ? Aucune. A la différence d'une éclipse solaire, il n'y a pas de rayons dangereux. Il suffit de se lever vers 4 h, de prévoir une couverture et une paire de jumelles. ■



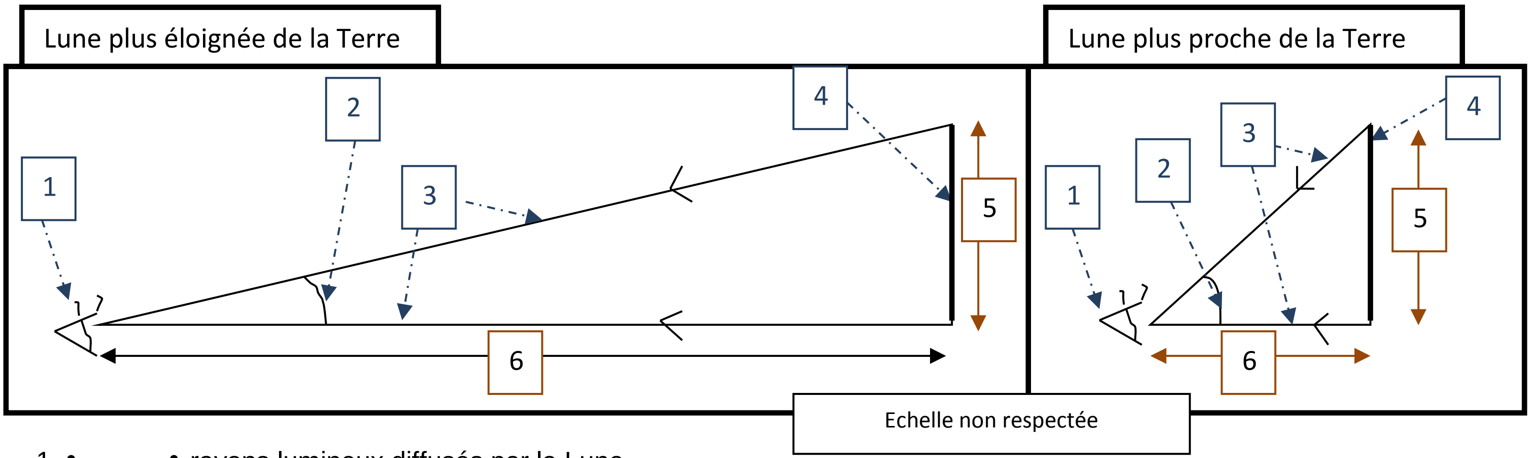
Le phénomène sera visible en Europe, en Afrique et en Amérique.

QUESTIONS

Version 2 (niveau « confirmé », version plus ouverte que la première version)

1. **D'après l'article de journal, « *quand la Lune se trouve le plus près de la Terre, elle apparait 14 % plus grosse* ». Pour expliquer cela, répondre aux questions suivantes.**

   a. Compléter le schéma en reliant les numéros du schéma aux objets ou aux distances ci-dessous :



1 •	• rayons lumineux diffusés par la Lune
2 •	• Lune
3 •	• œil d'un observateur sur la Terre
4 •	• diamètre de la Lune
5 •	• distance Terre-Lune
6 •	• angle sous lequel la Lune apparaît sur Terre

   b. Nommer la figure géométrique observée sur les schémas ci-dessus : ……………………………………….

   c. Comme le diamètre de la Lune est petit devant la distance Terre-Lune, on peut considérer que l'angle *α* sous lequel la Lune apparaît sur Terre est égal à : $\alpha = \frac{d}{D}$ avec *d* le diamètre de la Lune et *D* la distance Terre-Lune.

   D'après cette relation mathématique : *(cocher les cases correspondant aux bonnes réponses)*

   - si *d* diminue et *D* est constant, l'angle *α* : ☐ diminue ☐ ne varie pas ☐ augmente.
   - si *D* diminue et *d* est constant, l'angle *α* : ☐ diminue ☐ ne varie pas ☐ augmente.

   d. Au cours d'une année : *(cocher les cases correspondant aux bonnes réponses)*

   - le diamètre de la Lune *d* : ☐ varie ☐ reste constant
   - la distance Terre-Lune *D* : ☐ varie ☐ reste constante
   - l'angle *α* sous lequel la Lune apparaît sur Terre : ☐ varie ☐ reste constant

   e. Justifier l'affirmation de l'article de journal : « *quand la Lune se trouve le plus près de la Terre* [à 357 000 km], *elle apparait 14 % plus grosse* [que lorsqu'elle se trouve au point le plus éloigné à 406 000 km] ». Pour cela, remplir le tableau suivant grâce à un calcul et aux réponses aux questions précédentes.

Distance *D* Terre-Lune (en km)	406 000	357 000
1 / *D*	1 / 406 000	1 / 357 000
Rapport (en %) de l'angle *α* sous lequel la Lune apparaît sur Terre par rapport à sa valeur minimale	100	

Conclusion : ………………………....

…………………………………………

…………………………………………

………

2. Dans l'article de journal, il est noté que l'échelle du schéma représentant le Soleil, la Terre et la Lune n'est pas respectée. Pour expliquer cela, répondre aux questions suivantes.

a. La distance *d* parcourue par la Lune dépend de la valeur de la vitesse *v* de la Lune autour de la Terre, considérée comme constante durant l'éclipse, et de la durée du déplacement *t*. Sachant que $v = \frac{d}{t}$, quelle autre relation mathématique existe entre ces trois grandeurs ?

(cocher la case correspondant à la bonne réponse)

☐ $d = \frac{v}{t}$ ☐ $d = \frac{t}{v}$ ☐ $d = v \times t$

b. Comme la valeur de la vitesse *v* est considérée comme constante : *(cocher la case correspondant à la bonne réponse)*

☐ la distance *d* est proportionnelle à la durée du déplacement *t*.
☐ la distance *d* est proportionnelle à la valeur de la vitesse *v*.
☐ la durée du déplacement *t* est proportionnelle à la valeur de la vitesse *v*.

c. Utiliser les informations ci-contre pour calculer :

- la durée t_1 entre l'entrée de la Lune dans la pénombre et l'entrée de la Lune dans la zone d'ombre de la Terre : ……………………

……………………………………………………………………

- la durée t_2 entre l'entrée de la Lune dans l'ombre avant le début de l'éclipse totale et l'entrée de la Lune dans la pénombre à la fin de l'éclipse totale : ……………………………………………………

……………………………………………………………………

- la durée t_3 entre la sortie de la Lune de l'ombre et la sortie de la Lune de la pénombre après l'éclipse totale : …………

……………………………………………………………………………………………………

Déroulement de l'éclipse
Heures françaises dans la nuit de dimanche à lundi

2 h 45 ① Entre dans la pénombre
3 h 40 ② Commence à entrer dans l'ombre
4 h 11 ③ Début de l'éclipse totale (la Lune rougeoie)
4 h 47 ④ Eclipse totale
5 h 23 ⑤ Fin de l'éclipse totale
6 h 00 ⑥ Sort de l'ombre
6 h 50 ⑦ Sort de la pénombre

(* : La Lune commence à sortir de l'ombre et à entrer dans la pénombre à *5 h 23*)

d. Comparer les durées t_1, t_2 et t_3 : *(cocher la case correspondant à la bonne réponse)*

☐ $t_1 > t_2$ et $t_3 > t_2$ ☐ $t_1 = t_2 = t_3$ ☐ $t_1 < t_2$ et $t_3 < t_2$

e. En déduire des comparaisons entre les distances d_1, d_2 et d_3 parcourues par la Lune pendant les durées t_1, t_2 et t_3.

……..

………

f. Montrer que l'échelle du schéma représentant le Soleil, la Terre et la Lune n'est pas respectée dans l'article de journal.

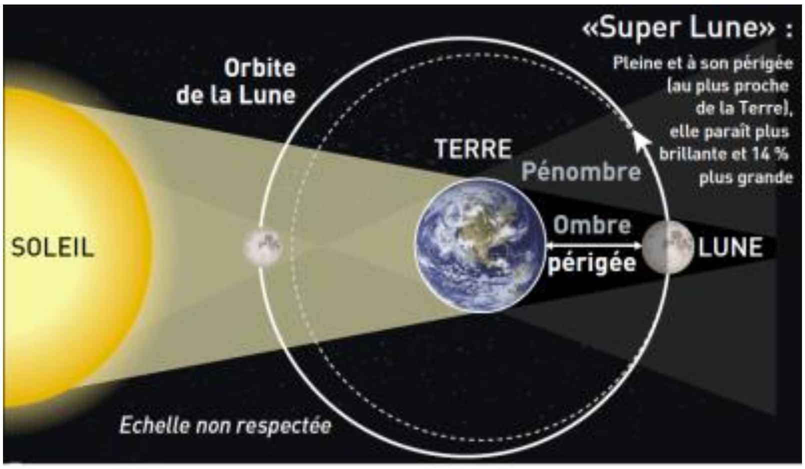
………

………

<u>Version 3</u> (niveau « expert », version beaucoup plus ouverte que les deux premières versions)

1. D'après l'article de journal, « *quand la Lune se trouve le plus près de la Terre, elle apparait 14 % plus grosse* ». Justifier cette affirmation en utilisant notamment des données numériques présentées dans cet article. La démarche scientifique permettant de répondre à cette question devra être explicitée.

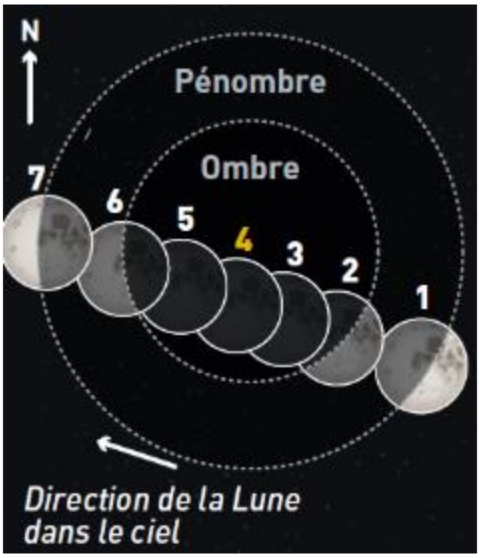
   Il est noté que l'échelle du schéma représentant le Soleil, la Terre et la Lune n'est pas respectée.



   a. En considérant la valeur de la vitesse de la Lune autour de la Terre constante durant l'éclipse et en utilisant les informations horaires concernant le déroulement de l'éclipse, montrer que l'échelle du schéma représentant le Soleil, la Terre et la Lune n'est effectivement pas respectée.

   b. En recherchant les données manquantes sur Internet ou avec le professeur documentaliste, réaliser un schéma à l'échelle représentant le Soleil, la Terre et la Lune lors de l'éclipse, en précisant l'échelle utilisée.

   c. Justifier pourquoi il est préférable de ne pas respecter l'échelle pour présenter ce schéma dans un article de journal.



2. Le schéma représentant l'ombre de la Terre, la pénombre et la trajectoire de la Lune dans le ciel est constitué de deux cercles délimitant l'ombre et la pénombre.
   En utilisant les informations horaires concernant le déroulement de l'éclipse, montrer que cela ne devrait pas être deux cercles qui délimitent l'ombre et la pénombre.

3. D'après l'article de journal, il est noté qu'il n'y a pas de précautions oculaires à prendre lors d'une éclipse de Lune car « *à la différence d'une éclipse solaire, il n'y a pas de rayons dangereux* ». Critiquer cette phrase et expliquer de façon plus scientifique pourquoi il faut prendre des précautions oculaires lors d'une éclipse solaire mais que celles-ci ne sont pas nécessaires dans le cas d'une éclipse lunaire.
   Il est possible d'utiliser les termes de sources primaires de lumière et d'objets diffusants pour répondre à cette question.

Remarque générale *: il est également possible de critiquer le schéma ci-dessus de l'article de journal. En effet, il est noté dans la partie « Déroulement de l'éclipse » que dans la position 1, la Lune entre dans la pénombre alors que l'on voit sur le schéma que la moitié de la Lune est déjà dans la pénombre.*

Autour des lois de la réfraction

Niveau **: seconde**
Thème en physique-chimie : optique

Résumé de l'activité

L'activité propose :

- Partie 1 : des mesures expérimentales d'angles réfractés sur un hémi-cylindre de plexiglass ;
- Partie 2 : une modélisation linéaire (qui n'est valable qu'aux petits angles) ;
- Partie 3 : une vérification de la loi de Snell-Descartes de la réfraction avec détermination de l'indice *n* du plexiglass.

Objectifs d'apprentissage

Dans la première partie, les mesures expérimentales d'angles réfractés sur un hémi-cylindre de plexiglass (d'indice *n*) avec un encadrement des mesures, permettent une « sensibilisation » de l'élève aux incertitudes de mesures. Celles-ci ne font certes pas explicitement partie du programme de physique de seconde, mais cela permet une continuité entre le cycle 4 au collège et les classes de premières scientifiques et technologiques.
La découverte du phénomène de réfraction confronte l'élève à une modélisation du comportement sous forme d'une loi qui s'éloigne d'une loi linéaire (valable seulement aux petits angles). Aussi, le but de l'activité est la reconnaissance de la pertinence d'un modèle (linéaire aux petits angles dans la partie 2 puis sinusoïdal aux grands angles dans la partie 3).

Dans la mesure où les outils mathématiques, comme le sinus d'un angle, mobilisés dans les lois de la réfraction sont acquis en mathématiques en classe de seconde, l'activité se décline sous trois formes, suivant le niveau de maîtrise mathématique des élèves :

- la modélisation mettant en jeu la proportionnalité (partie 2-a) peut être traitée avec les acquis mathématiques de fin de collège
- les modélisations mettant en jeu la recherche de l'équation d'une droite et le sinus d'un angle (partie 2-b et partie 3) peuvent être traitées lorsque l'élève possède ces acquis mathématiques abordés en seconde. Il sera donc opportun pour ces deux parties que le professeur de physique établisse une concertation avec le professeur de mathématiques de la classe, pour savoir quand ces outils mathématiques seront abordés en mathématiques et éventuellement voir s'il participe à leur co-construction.
- Un prolongement peut être envisagé pour montrer l'adéquation, pour les petits angles, entre la modélisation linéaire et la loi de la réfraction ; il doit conduire à faire observer l'égalité entre la valeur de l'angle (en radians) et celle de son sinus pour les petits angles.

Programme de physique-chimie - seconde

Notions et contenus	Compétences attendues
Propagation rectiligne de la lumière. Réfraction. Lois de Snell-Descartes.	*Pratiquer une démarche expérimentale pour établir un modèle à partir d'une série de mesures et pour déterminer l'indice de réfraction d'un milieu.*

L'élève doit pouvoir élaborer et mettre en œuvre un protocole comportant des expériences, réaliser et analyser les mesures, en estimer la précision et écrire les résultats de façon adaptée. Connaître les conditions de validité d'un modèle permet à l'élève d'en déterminer les exploitations possibles et de le réinvestir.

Programmes de mathématiques associés :

Notions et contenus	Compétences attendues
Extraits du programme cycle 4 du collège	
Coefficient de proportionnalité.	Lire des données sous forme de données brutes, de tableau, de graphique.

	Reconnaitre une situation de proportionnalité ou de non-proportionnalité. Résoudre des problèmes de recherche de quatrième proportionnelle.
Extraits du programme de mathématiques de seconde	
Définition du sinus et du cosinus d'un nombre réel. Droite comme courbe représentative d'une fonction affine. Équations de droites.	

Présentation de la séquence

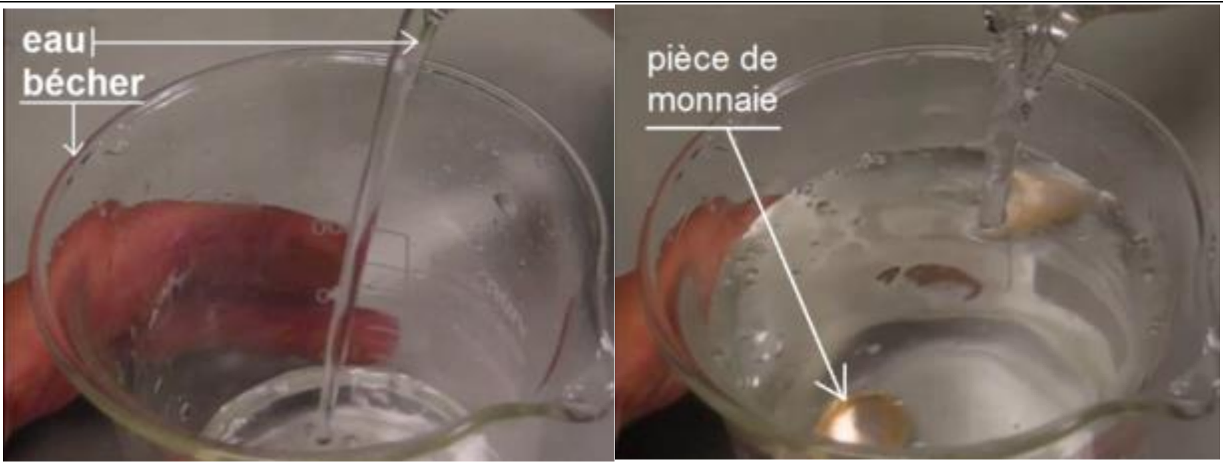
Prérequis nécessaires à la séquence :

La notion de propagation rectiligne de la lumière, vue au collège, est le prérequis sur lequel il faut s'appuyer pour débuter cette séquence.

Séance précédente :

Dans une séance préalable à l'activité présentée, on pourra, par exemple, proposer :

- comme **contextualisation**, une situation déclenchante : celle de la visibilité d'une pièce de monnaie dans un verre d'eau par exemple. L'expérience dont le film est disponible ici et peut se réaliser facilement avec une webcam.



Extraits de la vidéo (à gauche : le bécher est peu rempli d'eau et la pièce n'est pas visible, à droite : le bécher est suffisamment rempli d'eau pour que la pièce de monnaie soit visible)

- A la suite de cette expérience de cours, les élèves sont amenés à émettre une **hypothèse** : la propagation de la lumière n'est plus rectiligne.
- Cette hypothèse doit aboutir à la mise au point d'un **protocole expérimental afin de tester cette hypothèse**.

La visualisation du faisceau d'un laser dans l'air avec de la poussière de craie et dans de l'eau contenant un peu de lait ou de la fluorescéine permet de valider expérimentalement cette hypothèse.

Dispositif expérimental (à gauche) et visualisation (à droite) du faisceau du laser.

- Il s'agira ensuite d'amener les élèves à élaborer **un raisonnement qualitatif**, afin de faire émerger les paramètres pertinents pour décrire le phénomène (angles des rayons incidents et réfractés) grâce à un schéma.
- Enfin, il s'agira d'amener les élèves à dégager une **problématique** avant la séance expérimentale.

Parmi les questions qui doivent se poser, on peut citer : « y a-t-il une relation entre angles des rayons incidents et réfractés ? » « Ces angles sont-ils proportionnels ? » « La relation entre les angles dépend-elle du milieu transparent ? » « Cette relation dépend-elle de la source de lumière ? » etc.

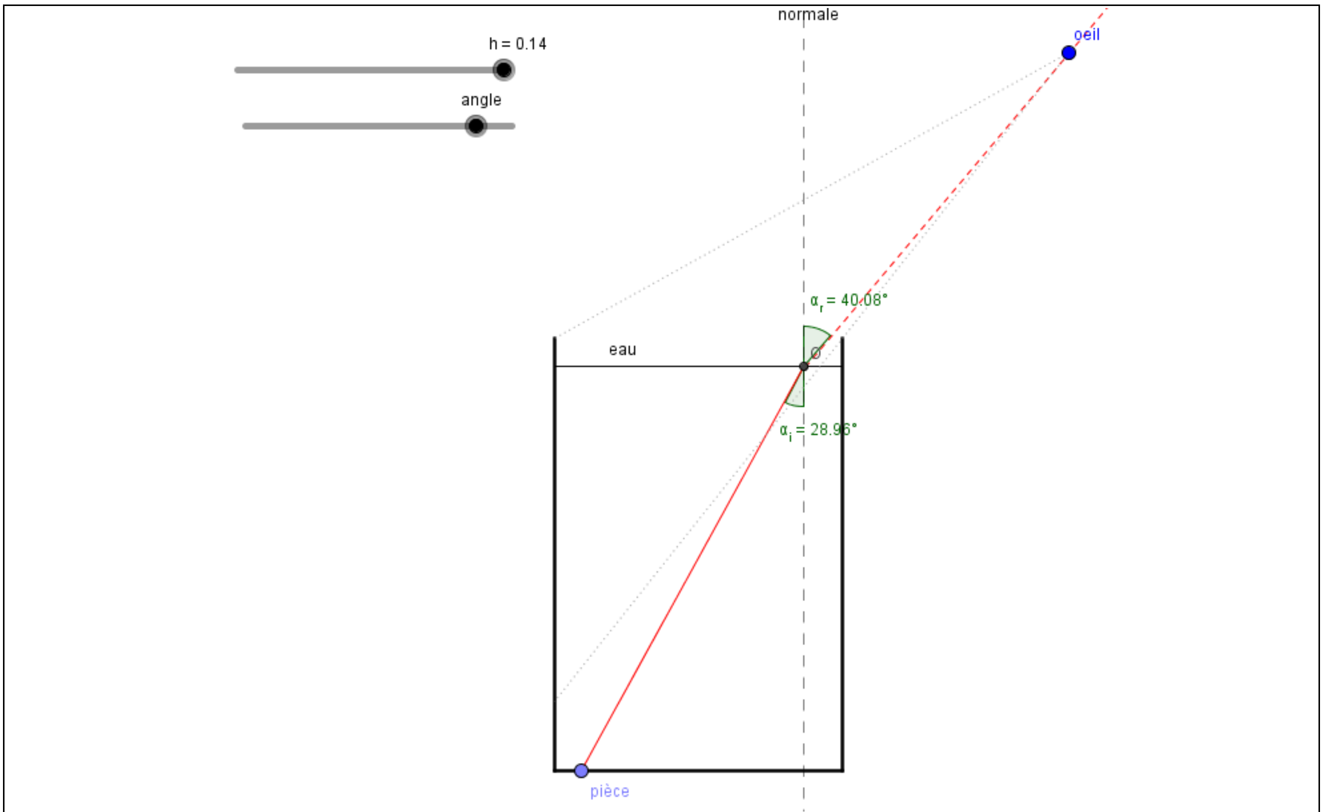
Séance présentée :

La séance présentée est expérimentale et nécessite une calculatrice et du papier millimétré pour les parties 2b et 3. Elle dure 1h30. Quel que soit le choix de la modélisation fait par l'enseignant en fonction du bagage mathématique des élèves, l'élève commence par la partie 1) Etude expérimentale puis continue par une des parties 2.a ; 2.b ou 3.

Séance suivante :

- Dans une séance suivante, il est possible de proposer aux élèves, munis des lois de la réfraction, de **revenir sur la situation déclenchante** présentée dans la séance préalable.

Nous proposons, par exemple, l'utilisation d'un fichier GeoGebra (disponible ici) qui modélise l'expérience de la pièce dans un verre d'eau, en utilisant les lois de la réfraction. Les élèves seront en mesure d'utiliser ce fichier GeoGebra comme une animation qui leur permettra de visualiser les rayons réfractés à l'interface eau-air, en faisant varier la hauteur de l'eau dans le bécher.



Saisie d'écran de l'animation GeoGebra lorsque l'œil peut visualiser la pièce de monnaie.

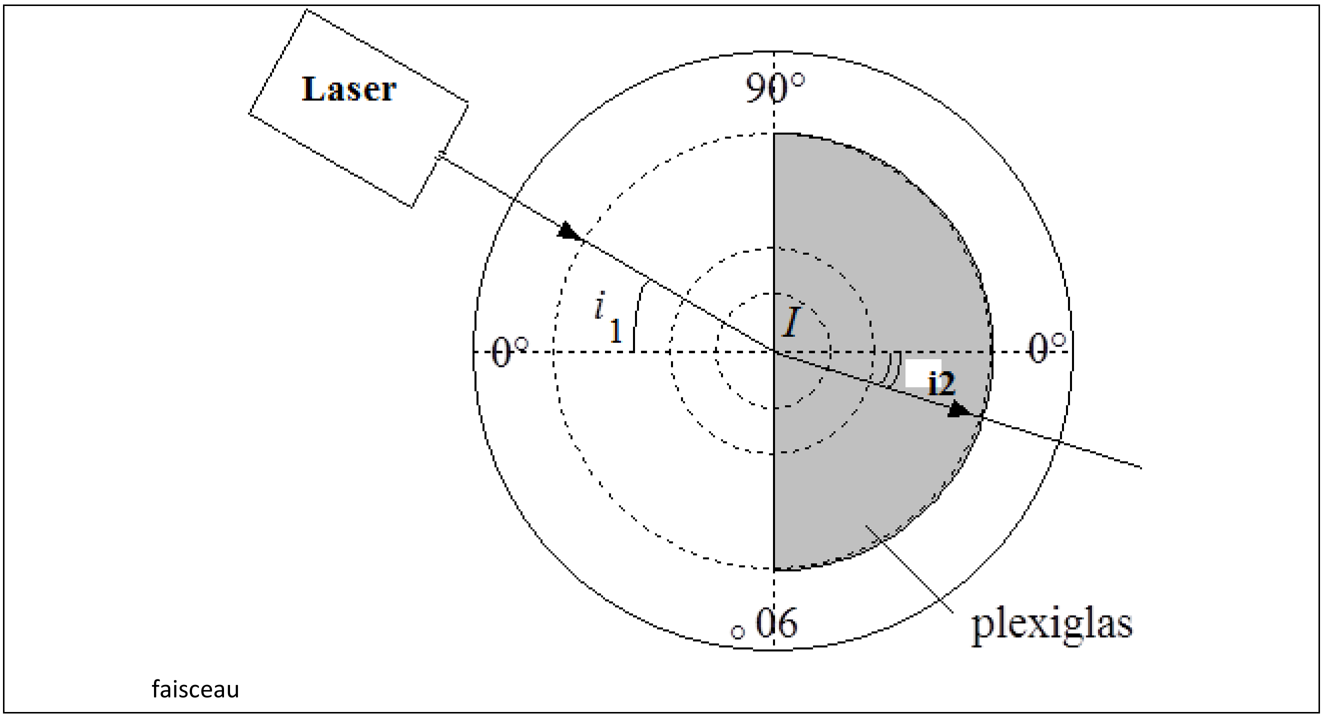
- On pourra aussi proposer de **faire varier les paramètres** (angle d'incidence, indice optique du liquide…) afin d'observer le comportement de la lumière lors de la réfraction à l'interface.

- Il sera aussi possible d'utiliser la ressource « Réflexion et réfraction sur un dioptre plan » proposée dans le document « GeoGebra, un outil et un atout pour l'enseignement de physique-chimie » pour mettre en évidence le fait que le rayon réfracté est plus proche de la normale dans un milieu plus réfringent, que la réflexion peut être totale lors du passage d'un milieu plus réfringent à un milieu moins réfringent.

Enoncé de l'activité

1) Etude expérimentale

Le laser utilisé produit un très fin faisceau de lumière rouge qui se propage dans l'air et atteint la surface de séparation entre l'air et un demi-cylindre de plexiglass. Ce demi-cylindre est posé sur un disque métallique gradué qui peut tourner.



Pour chaque angle d'incidence i_1, on peut mesurer l'angle de réfraction i_2. Du fait de la largeur du faisceau dans le plexiglass, on peut encadrer cet angle i_2 entre deux valeurs $i_{2\,\min}$ et $i_{2\,\max}$.

Réaliser la manipulation et compléter le tableau suivant :

i_1	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
$i_{2\,\min}$																
$i_{2\,\max}$																

2-a) Modélisation linéaire avec les acquis mathématiques de fin de collège

Grâce à la calculatrice, remplir le tableau suivant :

i_1	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
$\frac{i_1}{1,5}$																
$i_{2\,\min}$																
$i_{2\,\max}$																

Pour quelles valeurs de i_1, la valeur du rapport $\frac{i_1}{1,5}$ est –elle comprise dans l'intervalle $[\,i_{2\,\min}\,,\ i_{2\,\max}\,]$ de valeurs possibles pour i_2 ?

Pour quelles valeurs de i_1 peut-on alors dire que $\frac{i_1}{1,5}$ est égal à i_2 ? Quelle relation mathématique peut-on écrire entre i_1 et i_2 ? De quel type de relation mathématique s'agit-il ?

2-b) Modélisation linéaire avec les acquis mathématiques de seconde

Sur un papier millimétré, on cherche à représenter l'évolution de l'angle réfracté i_2 en fonction de l'angle incident i_1 : A l'aide du tableau précédent, placer sur le graphique les segments AB correspondant aux points expérimentaux A de coordonnées $(i_1; i_{2\,\min})$ et B de coordonnées $(i_1; i_{2\,\max})$.

Tracer une droite Δ qui passe par l'origine du repère et par le plus possible de segments AB.

A partir de quelle valeur de i_1 la droite Δ ne passe-t-elle plus par les segments AB ?

Déterminer la valeur du coefficient directeur de la droite Δ. Ecrire l'équation de la droite Δ sous la forme $i_2 = \frac{i_1}{n}$ en précisant bien pour quelles valeurs de i_1 cette relation est valable expérimentalement.

3) Mise en évidence de la loi de la réfraction avec les acquis mathématiques de seconde

A l'aide de la calculatrice, compléter le tableau suivant en calculant le sinus des angles mesurés :

i_1	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
sin(i_1)																
sin($i_{2\,\min}$)																
sin($i_{2\,\max}$)																

Sur un papier millimétré, on cherche à représenter l'évolution de sin(i_2) en fonction de sin(i_1) : pour chaque colonne du précédent tableau, tracer sur le graphique les segments A'B' correspondant aux points A' de coordonnées (sin(i_1) ; sin$(i_{2\,\min})$) et B' de coordonnées (sin(i_1) ; sin$(i_{2\,\max})$).

Tracer une droite Δ' qui passe par l'origine du repère et, si possible, par tous les segments A'B'.

Déterminer la valeur du coefficient directeur de la droite Δ'. Ecrire l'équation de Δ' sous la forme $\sin(i_2) = \frac{\sin(i_1)}{n}$.

4) Adéquation entre les modèles

Un prolongement peut être envisagé pour montrer l'adéquation entre la modélisation linéaire pour les petits angles et la loi de la réfraction.

Il consistera à faire constater l'égalité entre la valeur d'un angle (en radians) et la valeur de son sinus pour les petits angles. Cette étude peut se faire à l'aide de valeurs calculées inscrites dans un tableau ou de tracé d'un graphique (sin (i) en fonction de i)

Exemple de correction

1) Etude expérimentale.

On a obtenu expérimentalement le tableau suivant :

i_1	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
$i_{2\,min}$ /°	3	6	9	13	16	20	22	25	28	30	32	35	37	38	39	40
$i_{2\,max}$ /°	4	7	11	14	17	21	23	26	29	32	34	36	38	40	41	42

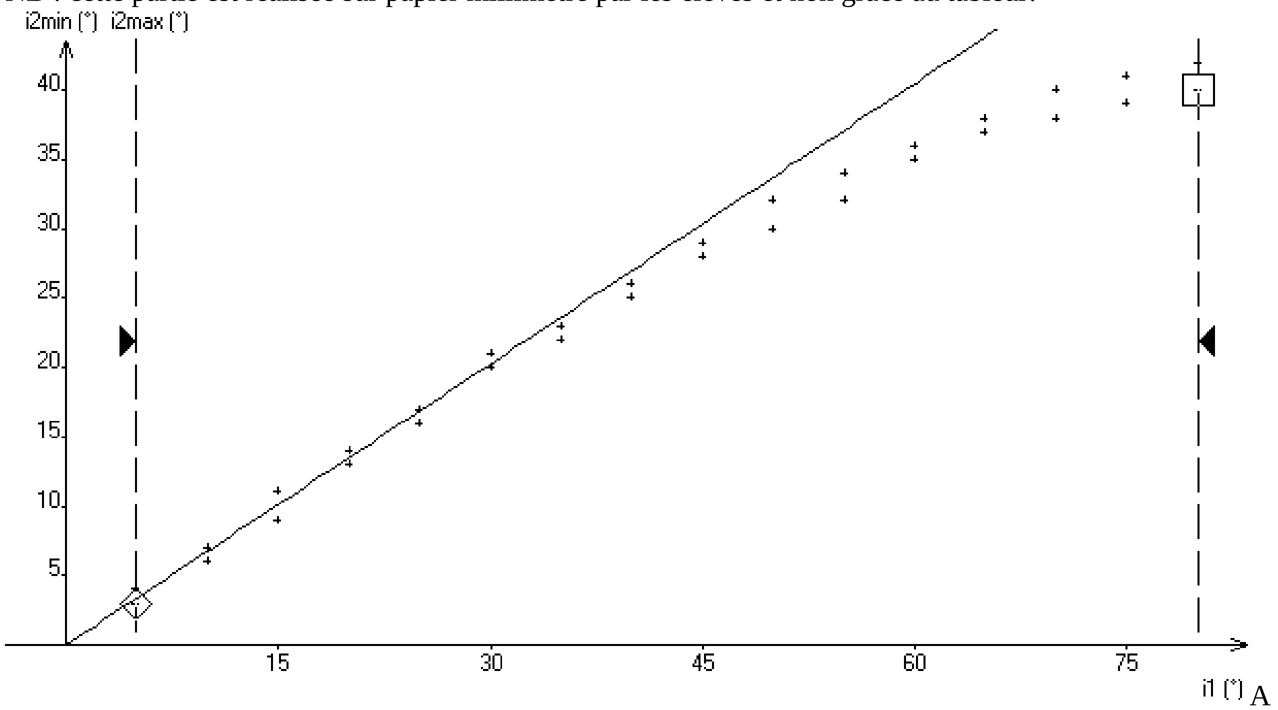
2-a) Modélisation linéaire avec les acquis mathématiques de fin de collège

Grâce à la calculatrice, on a le tableau suivant :

i_1	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
$\dfrac{\mathbf{i_1}}{1{,}5}$ /°	3,3	6,7	10	13,3	16,7	20	23,3	26,7	30	33,3	36,7	40	43,3	46,7	50	53,3
$i_{2\,min}$ /°	3	6	9	13	16	20	22	25	28	30	32	35	37	38	39	40
$i_{2\,max}$ /°	4	7	11	14	17	21	23	26	29	32	34	36	38	40	41	42

2-b) Modélisation linéaire avec les acquis mathématiques de seconde

NB : cette partie est réalisée sur papier millimétré par les élèves et non grâce au tableur.



partir de $i_1 = 35°$, la droite Δ ne passe plus par les segments AB.

La valeur du coefficient directeur de la droite Δ est 0,68 et l'équation de Δ est $i_2 = \dfrac{i_1}{1{,}48}$.

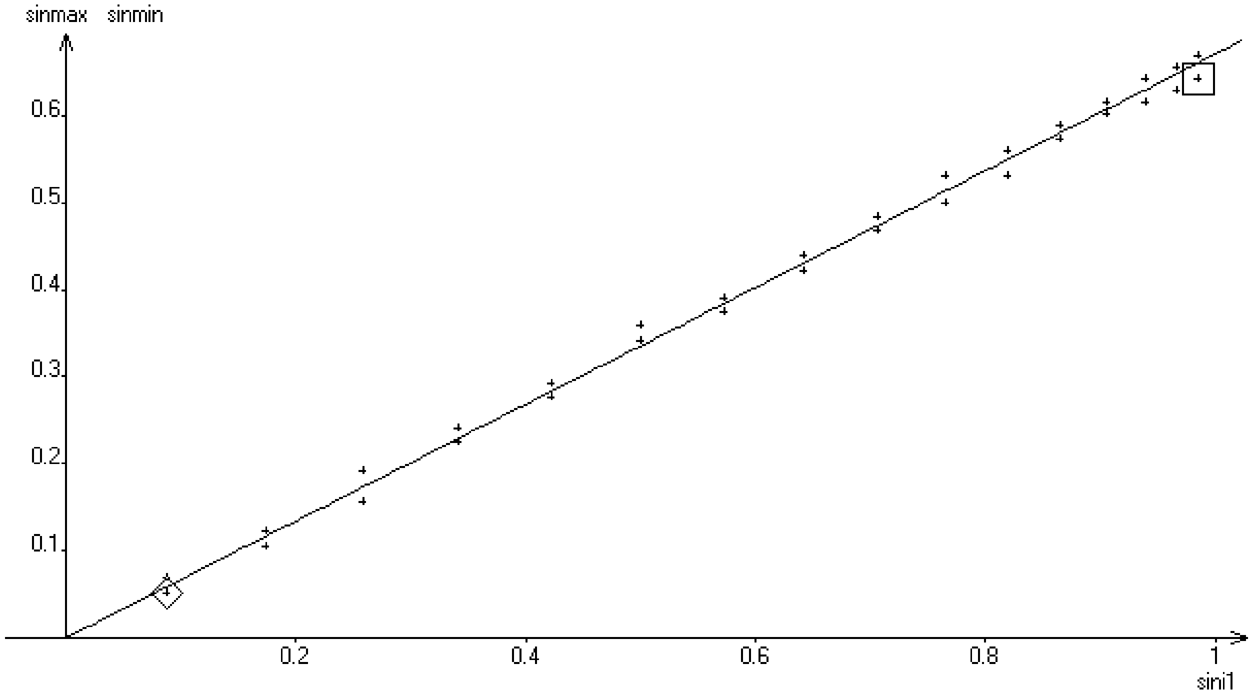
3) Mise en évidence de la loi de la réfraction avec les acquis mathématiques de seconde

A l'aide de la calculatrice, on obtient le tableau suivant :

i_1	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
$\sin(i_1)$	0,09	0,17	0,26	0,34	0,42	0,50	0,57	0,64	0,71	0,77	0,82	0,87	0,91	0,94	0,97	0,98
$\sin(i_{2\,\min})$	0,05	0,10	0,16	0,22	0,28	0,34	0,37	0,42	0,47	0,50	0,53	0,57	0,60	0,62	0,63	0,64
$\sin(i_{2\,\max})$	0,07	0,12	0,19	0,24	0,29	0,36	0,39	0,44	0,48	0,53	0,56	0,59	0,62	0,64	0,66	0,67

NB : cette partie est réalisée sur papier millimétré par les élèves et non grâce au tableur.

On obtient le graphique :



La droite Δ' passe par l'origine du repère et par tous les segments sauf 1.

La valeur du coefficient directeur de la droite Δ' est 0,67 et l'équation de Δ est $i_2 = \frac{i_1}{1{,}49}$.

Principe d'inertie

Niveau : **seconde**
Thème en physique-chimie : mécanique

Résumé de l'activité

L'activité propose la situation très classique d'un skieur tracté par un remonte-pente. Il s'agit pour l'élève de déterminer la somme des forces dans deux situations où les forces sont représentées :

- lors de la phase de démarrage : la somme des forces n'est pas nulle (le skieur accélère) ;
- puis au cours de la remontée : la somme des forces est nulle (le skieur est en mouvement rectiligne uniforme).

Objectifs d'apprentissage

Cette activité vise à aider les élèves face aux difficultés rencontrées lorsqu'ils doivent additionner des vecteurs forces. On observe que les élèves ont beaucoup de difficultés à additionner deux vecteurs non colinéaires, puis le problème se complique davantage en passant de deux à trois vecteurs (cette dernière situation étant souvent une situation physique induite dans le cas du principe d'inertie).

Cette difficulté est amplifiée par le fait qu'en physique, on attribue au vecteur force un point d'application (qui diffère souvent d'une force à l'autre), alors que les vecteurs mathématiques sont traités comme étant des bipoints.

Il s'agit enfin pour l'élève de comprendre ce que signifie concrètement que des forces « se compensent », afin d'identifier si la modélisation proposée est conforme au principe de l'inertie.

Pour permettre à l'élève de bien différencier ce qui relève des lois physiques de ce qui relève du traitement mathématique, tout le traitement mathématique est réalisé sur une feuille de papier calque millimétré, ou bien grâce au logiciel GeoGebra.

Programme de physique-chimie de seconde

LA PRATIQUE DU SPORT

Notions et contenus	Compétences exigibles
L'étude du mouvement : 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.	
Actions mécaniques, modélisation par une force. Effet 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	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. *Réaliser et exploiter des enregistrements vidéo pour analyser des mouvements.*

Programme de mathématiques associé

Année	Connaissance vue en mathématiques
Seconde	Somme de deux vecteurs. Relation de Chasles.

Présentation de la séquence

Séances préalables :

Dans les séances préalables, l'utilisation du **principe d'inertie** pourra par exemple être proposée dans les situations suivantes :
- deux vecteurs force colinéaires qui se compensent,
- deux vecteurs force colinéaires qui ne se compensent pas,
- trois vecteurs force colinéaires qui se compensent,
- trois vecteurs force colinéaires qui ne se compensent pas.

On pourra trouver un exemple sur le site pégase de l'ENS de Lyon. Notons qu'il pourrait être particulièrement intéressant de présenter aux élèves les **diagrammes système-interaction** pour effectuer l'analyse des forces appliquées à un système(cf. site pégase : « interactions et forces »).
Une activité préalable autour de la situation **contextualisée** du skieur lors de la prise de la perche du téléski, du démarrage et de la poursuite de sa remontée peut permettre d'introduire la séance. Il s'agira, pour les élèves :
- de faire l'inventaire des forces extérieures exercées sur le système [skieur et ses skis],
- de les représenter schématiquement (direction et sens) sur un schéma.

Séance présentée :

On fournit aux élèves deux schémas modélisant deux situations physiques du skieur tiré par un téléski. Sur ces schémas figurent les vecteur forces, avec une échelle de représentation donnée.
Certains élèves ne connaissant pas le fonctionnement d'un remonte-pente, il pourra être utile de projeter une vidéo pour illustrer son principe (par exemple https://www.youtube.com/watch?v=M3swh8VCar4).
La séance dure 1 h.
Elle nécessite :
- soit une règle graduée, du papier calque millimétré et la distribution d'un document (disponible ici),
- soit de deux feuilles de travail GeoGebra (disponibles ici et ici).

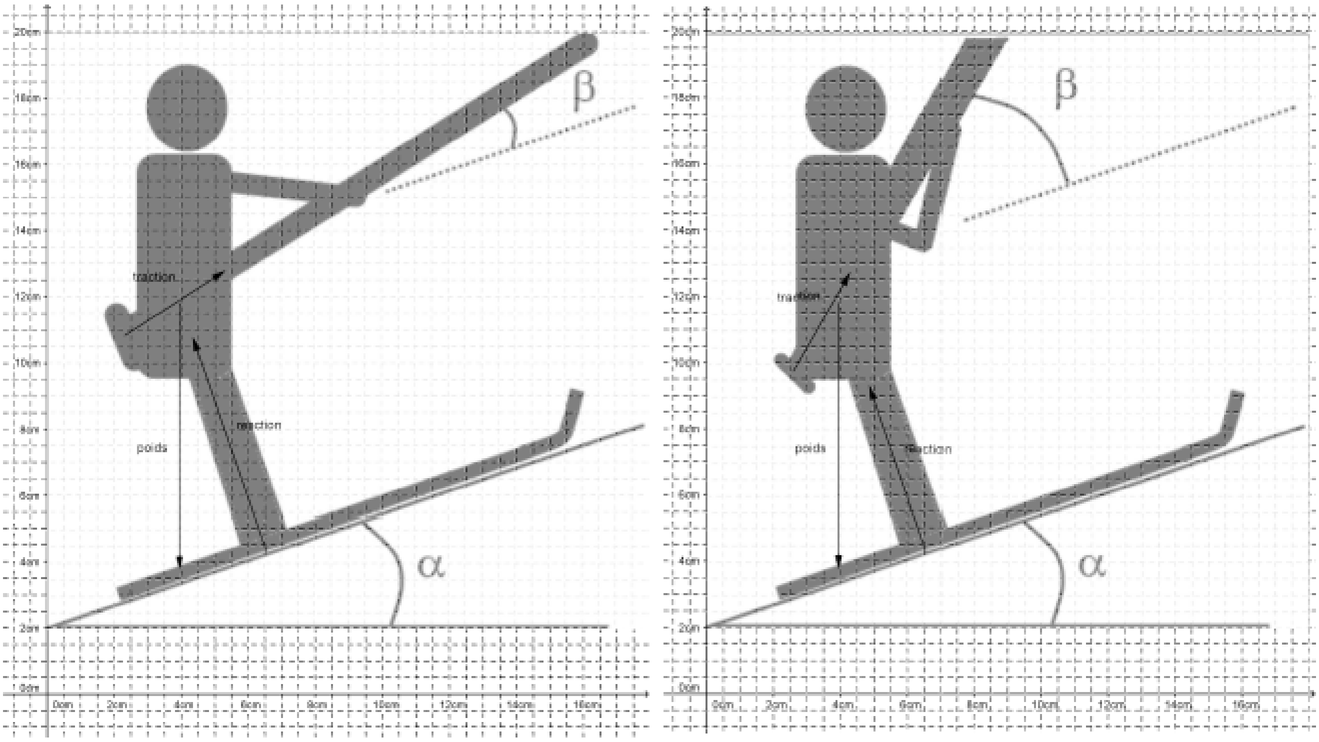
Séance suivante :

L'activité ayant été très guidée, il semblerait utile de vérifier que les élèves se sont bien approprié la méthode et les outils mis en œuvre. Pour cela, on peut proposer un exercice ou une évaluation dans lesquels une situation physique différente serait modélisée par trois forces non colinéaires.

Enoncé de l'activité sur papier millimétré

Sur le remonte-pente

On étudie dans le référentiel terrestre, considéré galiléen, le mouvement d'un skieur de 82 kg tiré par un « remonte-pente ».[2]
Dans une première phase, pendant laquelle le skieur s'empare de la perche et démarre, le mouvement est rectiligne et accéléré. Le skieur atteint une « vitesse de croisière » et son mouvement est alors rectiligne uniforme.
On a modélisé les deux phases du mouvement sur les deux schémas du fichier « SkieursImpression.pdf » (disponible ici), à imprimer.
Le système est soumis à des interactions de la part de la Terre, de la perche et du sol et de l'air que l'on peut modéliser par trois forces, si on néglige les frottements dans l'air : son poids $\vec{P}$, la réaction du sol $\vec{R}$ (perpendiculaire au sol puisqu'on considère qu'il n'y a pas de frottements sur la neige) et la force de traction $\vec{T}$ du remonte pente.
L'échelle de représentation choisie pour les vecteurs forces est 1cm↔100N.



Allure des deux schémas fournis.

Remarque : le travail se fait à partir de fichiers différents sur lesquels l'échelle de représentation est correcte.

Pour chacun des deux schémas :

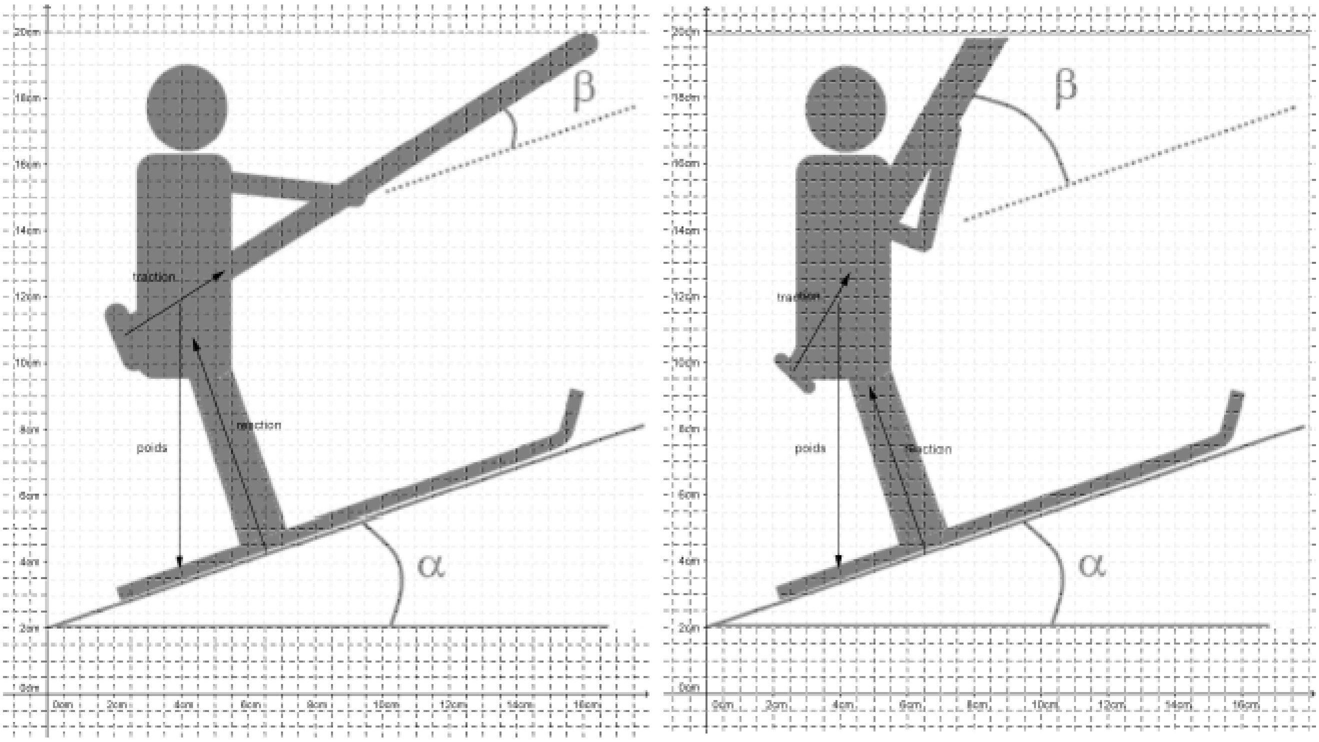
a) Sur un papier calque millimétré, reproduire le vecteur force $\vec{P}$. Faire glisser le papier calque (en conservant bien la direction verticale pour le vecteur $\vec{P}$) de façon à additionner au vecteur $\vec{P}$ le vecteur force $\vec{R}$. Faire de nouveau glisser le papier claque pour additionner à la résultante $\vec{P}+\vec{R}$ le vecteur force $\vec{T}$.

b) Que dire de la somme $\vec{P}+\vec{R}+\vec{T}$? Que permet d'en déduire le principe de l'inertie ? Quelle phase du mouvement est modélisée par ce schéma ?

Enoncé de l'activité sur GeoGebra

Sur le remonte-pente

Dans le référentiel terrestre considéré galiléen, on étudie le mouvement d'un skieur de 82 kg tiré par un « remonte-pente ».
Dans une première phase, pendant laquelle le skieur s'empare de la perche et démarre, le mouvement est rectiligne et accéléré. Le skieur atteint ensuite une «vitesse de croisière» et son mouvement est alors rectiligne uniforme.
Les deux phases du mouvement ont été modélisés sur les fichiers GeoGebra « Skieur1.ggb » (disponible ici) et « Skieur2.ggb » (disponible ici).
Le système est soumis à des interactions de la part de la Terre, de la perche et du sol et de l'air que l'on peut modéliser par trois forces si on néglige les frottements dans l'air : son poids $\vec{P}$, la réaction du sol $\vec{R}$ (perpendiculaire au sol puisqu'on considère qu'il n'y a pas de frottements sur la neige) et la force de traction $\vec{T}$ du remonte pente.
L'échelle de représentation choisie pour les vecteurs forces est 1cm↔100N.



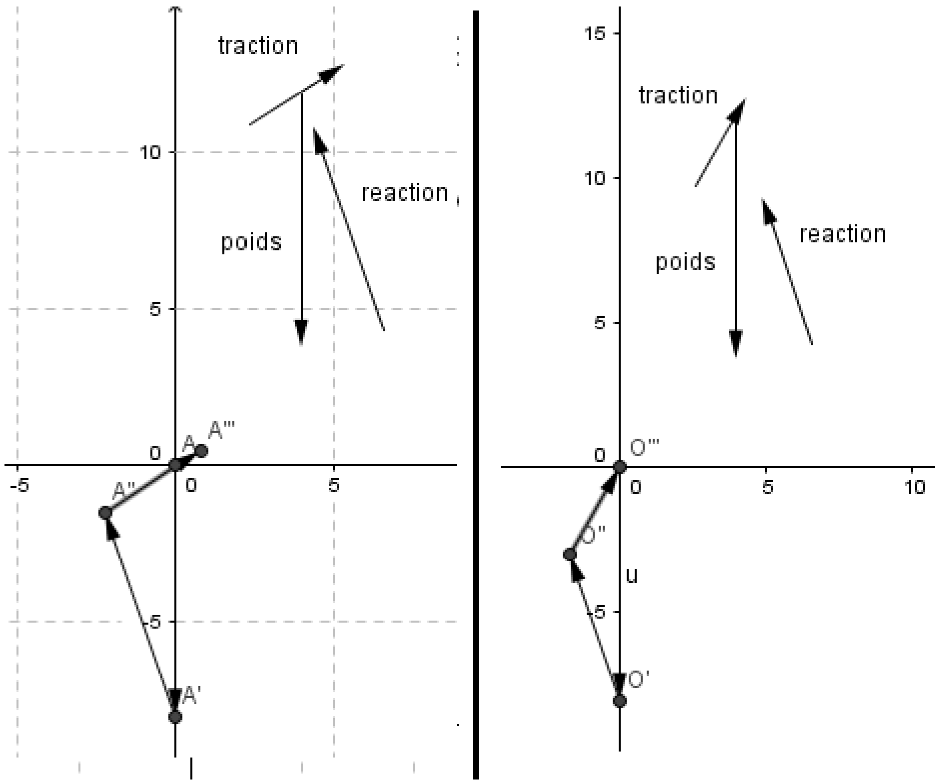
Vue des deux schémas fournis.
Attention : le travail se fait à partir de fichiers GeoGebra.

Pour chacun des deux schémas :
a) Reproduire le vecteur force $\vec{P}$ au centre du repère. Lui additionner le vecteur force $\vec{R}$ puis le vecteur force $\vec{T}$.
b) Que dire de la somme $\vec{P}+\vec{R}+\vec{T}$? Peut-on appliquer le principe de l'inertie ? Que peut-on en conclure sur le mouvement ? Quelle phase du mouvement est modélisée par ce schéma ?

Exemple de correction de l’activité

On peut trouver une vidéos (« SkieurSommeForces.mp4 », disponible ici) qui montre la construction de la somme des forces sur papier millimétré transparent.

On trouve pour le premier schéma : $\sum \vec{F} \neq \vec{0}$ et pour le second schéma $\sum \vec{F} = \vec{0}$.



Principe d'inertie

Niveau : **terminale S**

Thème en physique-chimie : mécanique

Résumé de l'activité

L'activité propose la situation très classique d'un skieur tracté par un remonte-pente. Il s'agit pour l'élève de déterminer la somme des forces dans deux situations où les forces sont représentées :

- lors de la phase de démarrage : la somme des forces n'est pas nulle (le skieur accélère) ;
- puis au cours de la remontée : la somme des forces est nulle (le skieur est en mouvement rectiligne uniforme).

Objectifs d'apprentissage

Cette activité vise à aider les élèves face aux difficultés rencontrées lorsqu'ils doivent manipuler des vecteurs force. Il s'agit en particulier de :

- savoir choisir un repère pertinent pour effectuer une étude mathématique simple ;
- savoir déterminer les coordonnées d'un vecteur force en indiquant bien le signe de la coordonnée et son unité ;
- faire la différence entre les coordonnées d'un vecteur force et sa norme ;
- savoir utiliser la trigonométrie pour trouver les coordonnées des vecteurs forces dans un repère ;
- pouvoir déterminer de façon concrète les coordonnées du vecteur accélération.

On utilise un repère (xOy) pour déterminer les coordonnées de chacun des vecteurs force et celle de la résultante des forces. Le principe d'inertie permet de reconnaître les deux phase du mouvement avec compensation des forces lors du mouvement rectiligne uniforme relatif et non compensation lors de la phase démarrage avec possibilité de déterminer les coordonnées du vecteur accélération (deuxième loi de Newton).

Pour permettre à l'élève de bien différencier ce qui relève des lois physiques de ce qui relève du traitement mathématique, tout le traitement mathématique est réalisé sur une feuille de papier calque millimétré ou bien grâce au logiciel GeoGebra.

Programme de physique-chimie de terminale S

Temps, mouvement et évolution

Notions et contenus	**Compétences exigibles**
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 $\vec{p}$ 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. *Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour étudier un mouvement.*

Programme de mathématiques associé

Année	**Connaissance vue en mathématiques**
Seconde	Coordonnées d'un vecteur dans un repère. Somme de deux vecteurs. Produit d'un vecteur par un nombre réel. Relation de Chasles. Définition du sinus et du cosinus d'un nombre réel.

Présentation de la séquence

Séances préalables :

Dans les séances préalables, le **principe d'inertie** pourra par exemple être mis en œuvre dans les situations suivantes :
- deux vecteurs force colinéaires qui se compensent,
- deux vecteurs force colinéaires qui ne se compensent pas,
- trois vecteurs force colinéaires qui se compensent,
- trois vecteurs force colinéaires qui ne se compensent pas.

On pourra trouver un exemple sur le site pégase de l'ENS de Lyon. Notons qu'il pourra être particulièrement intéressant de présenter aux élèves les **diagrammes système-interaction** (cf. site pégase : « interactions et forces ») pour les aider à effectuer l'inventaire des forces appliquées à un système.
Una activité préalable de réinvestissement des acquis de seconde permet d'introduire la séance en présentant la situation du skieur et en demandant aux élèves :
- de faire l'inventaire des forces extérieures exercées sur le système [skieur et ses skis],
- les représenter schématiquement (direction et sens) sur un schéma.

Séance présentée :

On fournit aux élèves deux schémas modélisant deux situations physiques du skieur tiré par un téléski. Sur ces schémas figurent les vecteur forces, avec une échelle de représentation.
Certains élèves ne connaissant pas le fonctionnement d'un remonte-pente, il pourra être utile de projeter une vidéo pour illustrer son principe (par exemple https://www.youtube.com/watch?v=M3swh8VCar4).
La séance dure 1 h.
Elle nécessite :
- soit une règle graduée, du papier calque millimétré et la distribution d'un document (disponible ici),
- soit de deux feuilles de travail GeoGebra (disponibles ici et ici).

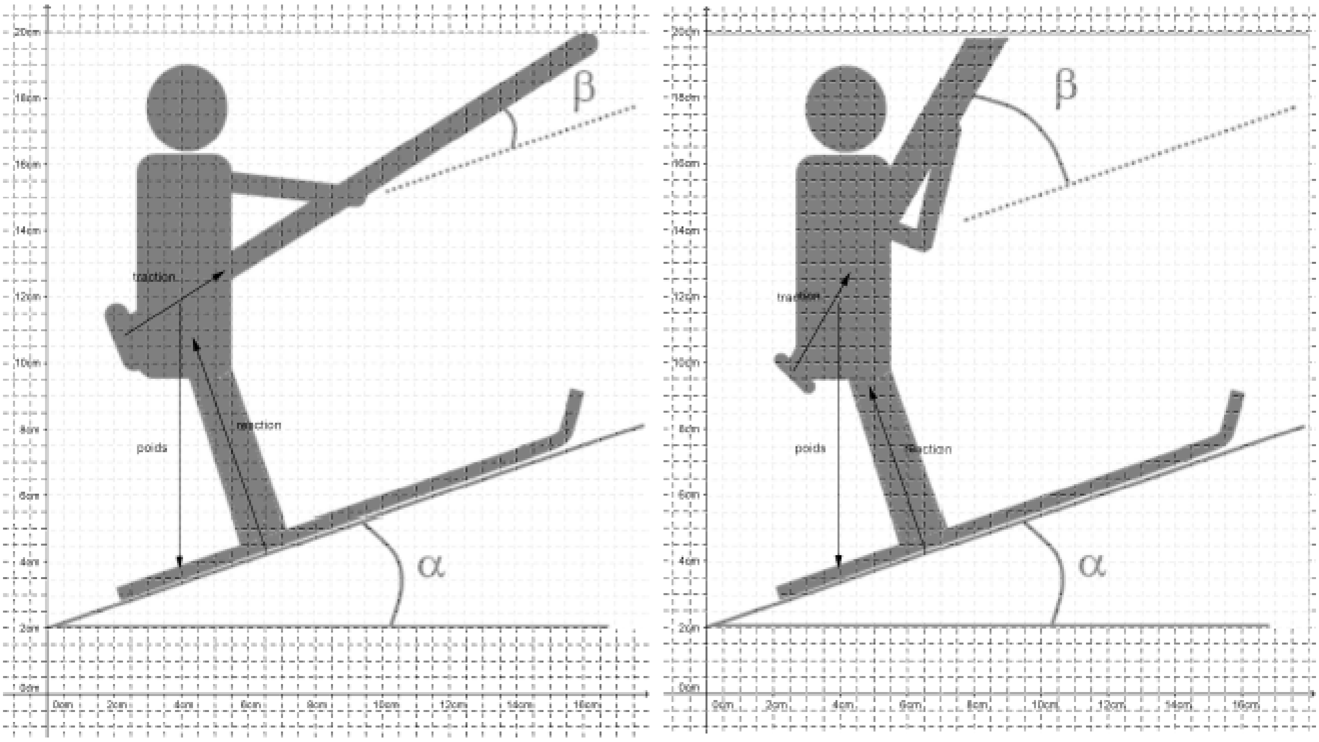
Séance(s) suivante(s) :

Cette activité étant très guidée, il semblerait utile de vérifier que les élèves se sont appropriés la méthode et les outils mis en œuvre. On peut pour cela proposer un exercice ou une évaluation dans lesquels une situation physique différente serait modélisée par trois forces non colinéaires.

Enoncé de l'activité sur papier millimétré

Sur le remonte-pente

Dans le référentiel terrestre, considéré galiléen, on étudie le mouvement d'un skieur de 82 kg tracté par un « remonte-pente ».
Dans une première phase, pendant laquelle le skieur s'empare de la perche et démarre, le mouvement est rectiligne et accéléré. Le skieur atteint ensuite une « vitesse de croisière » et son mouvement est alors rectiligne uniforme.
On a modélisé les deux phases du mouvement sur les deux schémas du fichier « SkieursImpression.pdf » (disponible ici), à imprimer[1].
Le système est soumis à des interactions de la part de la Terre, de la perche et du sol et de l'air que l'on peut modéliser par trois forces si on néglige les frottements dans l'air : son poids $\vec{P}$, la réaction du sol $\vec{R}$ (perpendiculaire au sol puisqu'on considère qu'il n'y a pas de frottements sur la neige) et la force de traction $\vec{T}$ du remonte pente.
L'échelle de représentation choisie pour les vecteurs forces est 1cm↔100N.



Allure des deux schémas fournis.

Remarque : le travail se fait à partir de fichiers différents sur lesquels l'échelle de représentation est correcte.

1) Pour chacun des deux schémas :
a) Sur un papier calque millimétré, reproduire le vecteur force $\vec{P}$. Faire glisser le papier calque (en conservant bien la direction verticale pour le vecteur $\vec{P}$) de façon à additionner au vecteur $\vec{P}$ le vecteur force $\vec{R}$. Faire de nouveau glisser le papier claque pour additionner à la résultante $\vec{P}+\vec{R}$ le vecteur force $\vec{T}$.
b) Que dire de la somme $\vec{P}+\vec{R}+\vec{T}$? Que permet d'en déduire le principe de l'inertie ? Quelle phase du mouvement est modélisée par ce schéma ?

[1] Lors de l'impression, l'échelle peut être modifiée et 20 cm ne pas correspondre à la graduation 20 cm.

c) Représenter le vecteur accélération et déterminer sa valeur.

2) Pour chacun des deux schémas :
a) Sur le papier calque millimétré, dessiner un repère orthonormé (xOy) suivant le quadrillage du papier calque. Graduer chaque axe de -10 cm à +10 cm.
b) Orienter le repère de façon à avoir un maximum de vecteurs force sur les axes et à pouvoir utiliser les valeurs des angles α et β. Indiquer sur le papier calque la mesure au rapporteur des angles α et β.
c) Reproduire chacun des vecteurs force au point O, origine du repère. Attention, lors du glissement du papier calque, l'orientation choisie pour le repère doit rester la même.
d) Projeter chaque vecteur sur les axes et indiquer en newton la valeur de chaque projection.

3) Utilisation du schéma modélisant le mouvement rectiligne uniforme.
a) Sachant que, sur le papier millimétré, on peut estimer l'incertitude sur la mesure des projections des vecteurs à 1 à 2 mm, retrouve-t-on bien les deux relations :

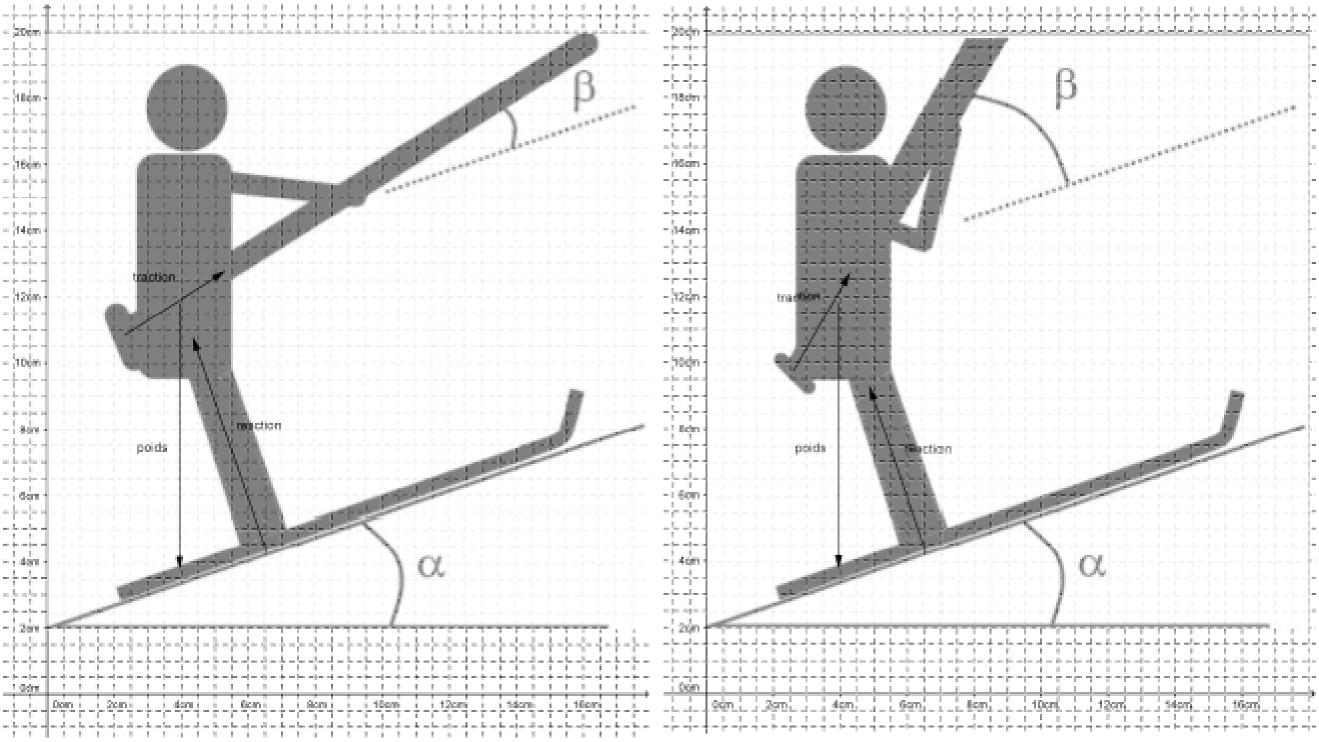
$$\begin{cases} \mathbf{P_x + R_x + T_x = 0} \\ \mathbf{P_y + R_y + T_y = 0} \end{cases} ?$$

b) Exprimer les coordonnées du poids en fonction de l'angle α. Retrouver, par le calcul, la valeur de l'angle α.
c) Exprimer les coordonnées de la force de traction $\vec{\mathbf{T}}$ en fonction de l'angle β. Retrouver, par le calcul, la valeur de l'angle β.

4) Utilisation du schéma modélisant le mouvement rectiligne accéléré.
a) Utiliser la seconde loi de Newton pour déterminer les coordonnées de l'accélération.
b) En déduire la norme (valeur) de l'accélération.
c) Confronter la valeur obtenue avec celle déterminée par la méthode graphique précédente. Conclure.

Enoncé de l'activité sur GeoGebra

On étudie dans le référentiel terrestre, considéré galiléen, le mouvement d'un skieur de 82 kg tiré par un « remonte-pente ».
Dans une première phase, phase pendant laquelle le skieur s'empare de la perche et démarre, le mouvement est rectiligne et accéléré. Le skieur atteint ensuite une vitesse de croisière et son mouvement est alors rectiligne uniforme.
On a modélisé les deux phases du mouvement sur les fichiers GeoGebra « Skieur1.ggb » (disponible ici) et « Skieur2.ggb » (disponible ici).
Le système est soumis à des interactions de la part de la Terre, de la perche et du sol et de l'air que l'on peut modéliser par trois forces si on néglige les frottements dans l'air : son poids $\vec{P}$, la réaction du sol $\vec{R}$ (perpendiculaire au sol puisqu'on considère qu'il n'y a pas de frottements sur la neige) et la force de traction $\vec{T}$ du remonte pente.
L'échelle de représentation choisie pour les vecteurs forces est 1cm↔100N.



Vue des deux schémas fournis.
Attention : le travail se fait à partir de fichiers GeoGebra.

1) Pour chacun des deux schémas :

a) Reproduire le vecteur force $\vec{P}$ au centre du repère. Lui additionner le vecteur force $\vec{R}$ puis le vecteur force $\vec{T}$.

b) Que dire de la somme $\vec{P}+\vec{R}+\vec{T}$? Que permet de conclure le principe de l'inertie sur le mouvement ? Quelle phase du mouvement est modélisée par ce schéma ?

2) Pour chacun des schémas modélisant les deux phases du mouvement du skieur :
a) Déterminer pour chaque vecteur force les coordonnées sur le schéma.
b) Indiquer en newton la valeur de chaque projection.
c) Mesurer les angles α et β.

3) Utilisation du schéma modélisant le mouvement rectiligne uniforme.

a) Retrouve-t-on bien les deux relations :

$$\begin{cases} \mathbf{P_x + R_x + T_x = 0} \\ \mathbf{P_y + R_y + T_y = 0} \end{cases} ?$$

b) Exprimer les coordonnées du poids en fonction de l'angle α. Retrouver, par le calcul, la valeur de l'angle α.

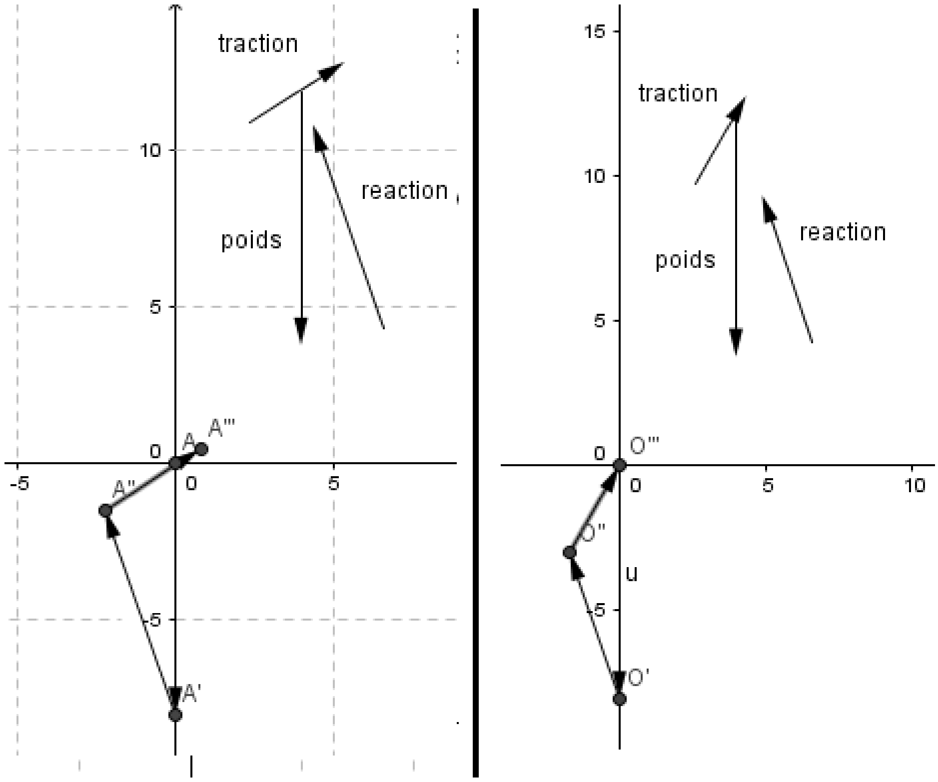
c) Exprimer les coordonnées de la force de traction $\vec{\mathbf{T}}$ en fonction de l'angle $\boldsymbol{\beta}$. Retrouver, par le calcul, la valeur de l'angle $\boldsymbol{\beta}$.

4) Pour le schéma modélisant le mouvement rectiligne accéléré.
a) Utiliser la seconde loi de Newton pour déterminer les coordonnées de l'accélération.
b) En déduire la norme (valeur) de l'accélération.

Exemple de correction de l'activité

On peut trouver une vidéo (« SkieurSommeForces.mp4 », disponible ici) qui montre la construction de la somme des forces sur papier millimétré transparent.

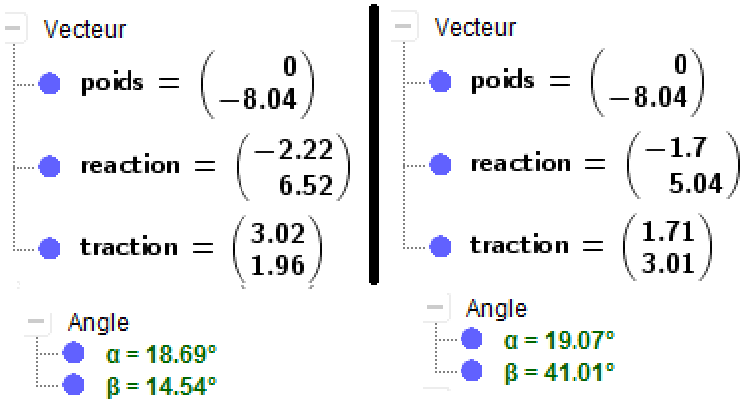
On trouve pour le premier schéma : $\sum \vec{F} \neq \vec{0}$ et pour le second schéma $\sum \vec{F} = \vec{0}$.



Somme des vecteurs forces avec GeoGebra pour chacun des deux schémas.

On peut trouver une vidéo (« FilmSkieurCoordonneesForces.mp4 » disponible ici) qui montre la détermination des coordonnées des forces sur papier millimétré transparent.

Les coordonnées des vecteurs sur les schémas se lisent aisément avec les fichiers GeoGebra. La mesure des angles se fait facilement :



La conversion se fait en utilisant l'échelle de représentation (1cm↔100N).

La valeur de l'accélération est trouvée par $\left\|\vec{a}\right\| = \dfrac{\left\|\sum \vec{F}\right\|}{m} = \dfrac{91}{82} = 1{,}1\,m.s^{-2}$.

Aborder autrement les relations de conjugaison

Niveau : **première S**
Thème en physique-chimie : optique

Résumé de l'activité

Le but de l'activité est de découvrir, à partir de mesures, les relations de conjugaison et de déterminer la vergence inconnue d'une lentille.

Objectifs d'apprentissage

Les difficultés auxquelles sont confrontés les élèves lors de l'utilisation des relations de conjugaison et de grandissement en optique sont importantes. L'introduction d'un nouvel outil mathématique - la mesure algébrique - jamais étudié avant le baccalauréat, hormis à cette occasion, en est sans doute l'une des origines.
Nous proposons ici, pour établir ces relations, un travail de réinvestissement portant sur les coordonnées d'un point dans un repère cartésien vues en mathématique en seconde, afin de :

- montrer qu'en physique, dans un repère, les coordonnées d'un point peuvent avoir un signe positif ou négatif, comme en mathématiques, mais aussi des unités ;
- faciliter, dans le programme de mécanique de terminale S, l'utilisation des projections des vecteurs force, vitesse, ou accélération dans un repère ;
- faire acquérir les compétences exigibles du programme de 1ère S « modéliser le comportement d'une lentille convergente à partir d'une série de mesures » et « utiliser des relations de conjugaison et de grandissement d'une lentille mince convergente », sans utiliser, lors d'une première approche, la notion de grandeurs et de mesures algébriques.

Extraits du programme de physique de première S

Notions et contenus	**Compétences exigibles**
Lentilles minces convergentes : images réelle et virtuelle. Distance focale, vergence.	Déterminer graphiquement la position, la grandeur et le sens de l'image d'un objet-plan donnée par une lentille convergente. *Modéliser le comportement d'une lentille mince convergente à partir d'une série de mesures.*
Relation de conjugaison ; grandissement.	Utiliser les relations de conjugaison et de grandissement d'une lentille mince convergente.

Acquis mathématiques de l'élève de première S

Notions déjà vues en mathématiques	**Notions jamais abordées en mathématiques**
Relation de Chasles Coordonnées d'un point (ou d'un vecteur) dans un repère cartésien. Transformation d'expressions algébriques.	Mesures algébriques

Présentation de la séquence

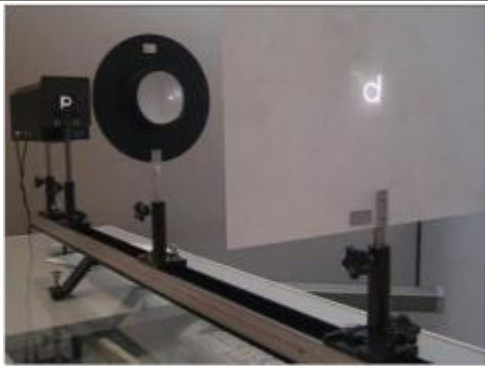
Prérequis nécessaires à la séquence :

Les propriétés des lentilles minces convergentes doivent avoir été vues préalablement, ainsi que les règles de tracé des rayons lumineux.

Séance précédente :

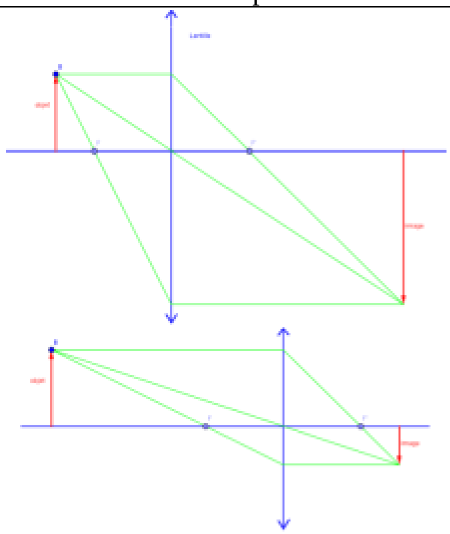
Dans une séance préalable à l'activité présentée, on pourra, par exemple, proposer comme **contextualisation** une situation déclenchante : celle de la reproduction au laboratoire de la projection d'un film sur un écran de cinéma. Il s'agira, lors de la recherche expérimentale au laboratoire, de faire émerger la notion de « conjugaison » entre un objet et son image projetée sur un écran.

Lors de la séance de travaux pratiques, le professeur peut demander à un binôme le travail expérimental suivant : l'objet étant situé sur la graduation 20,0 cm du banc d'optique, l'écran étant situé sur la graduation 95,0 cm du banc d'otique, trouver la position de la lentille convergente, de vergence inconnue, qui permette d'obtenir une image nette de l'objet sur l'écran comme représenté sur la photo ci-dessous.
On dira alors qu'il y a conjugaison entre l'objet et l'image sur l'écran.



Montage à reproduire expérimentalement

- Lors de cette expérience, les élèves sont amenés à faire des **observations** et à effectuer des **constats** : la lentille peut avoir deux positions, la taille de l'image étant différente dans les deux cas.
- On pourra alors amener les élèves à faire **un raisonnement préalable**, afin de faire émerger les paramètres pertinents pour l'étude de ce phénomène de « conjugaison » (position de l'objet, de l'image, de la lentille et de ses foyers) ; pour ce faire des schémas mettant en œuvre la modélisation des tracés des rayons lumineux à travers une lentille, déjà étudiée, pourront être utilisés, ainsi que les notions d'objet (d'où partent les rayons de lumière) et d'images (où convergent les rayons de lumière issus des différents points de l'objet). Le tracé à l'échelle pourra modéliser le résultat expérimental et permettre de retrouver les deux positions de la lentille.



Deux positions possibles de la lentille pour la formation d'une l'image sur l'écran.

- Enfin, il s'agira d'amener les élèves à dégager la **problématique** avant l'activité qui suit.

Parmi les questions qui doivent se poser, on peut citer : « Y-a-t-il une relation entre la position de l'objet et celle de l'image ? », « Cette relation dépend-elle des caractéristiques de la lentille ? », « Quel est l'impact de la position de l'objet et de l'image sur le grandissement ? » etc.

Séance présentée :

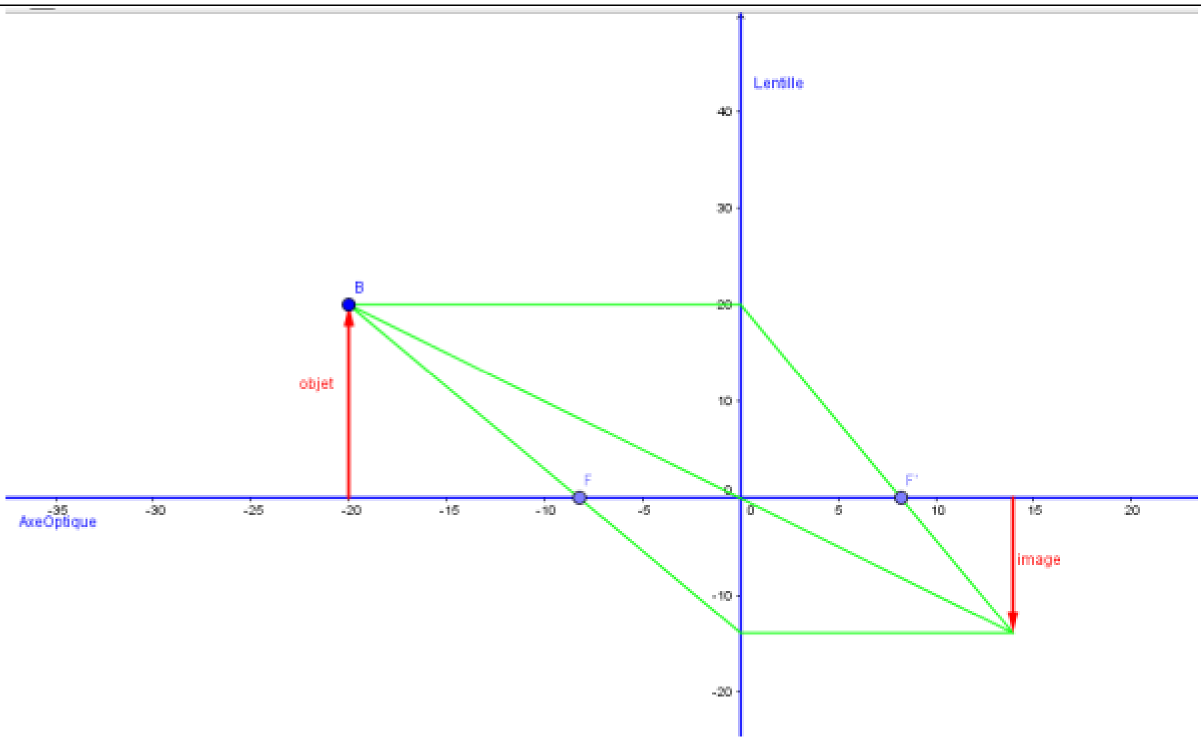
La séance présentée nécessite une règle et la distribution d'un document (disponible dans la suite mais aussi ici) sur lequel sont reproduits 4 schémas représentant les tracés des rayons permettant de construire l'image d'un objet. Les élèves vont être guidés pour faire émerger la relation de conjugaison.
Cette séance est prévue pour une durée d'environ 1 h.

Séances suivantes :

Afin d'achever la séquence, plusieurs pistes de prolongement sont possibles.
Nous proposons en particulier :

- de **revenir sur l'expérience réalisée pour reproduire la projection d'un film sur un écran**. On peut demander aux élèves de noter les valeurs de x_A et de x_A' obtenues lors de la réalisation du montage de la séance expérimentale et d'en déduire, par exemple, la vergence de la lentille utilisée. Si la vergence est connue, on peut vérifier que les position des objet et image sur le banc optique vérifient bien la relation de conjugaison.
- de faire varier les paramètres (x_A , C, x_A') afin d'observer, « en action », les relations de conjugaison des lentilles minces convergentes. Pour ce faire, il est possible d'utiliser, par exemple, un fichier GeoGebra (disponible ici) qui modélise la formation des images par une lentille mince convergente. Les élèves seront en mesure d'utiliser ce fichier GeoGebra comme une animation qui leur permettra de visualiser en particulier les cas suivants :
  - cas où l'objet et l'image sont réels,
  - cas où l'objet se trouve dans le plan focal objet,
  - cas où l'objet est réel et l'image virtuelle,
  - cas où l'image se trouve dans le plan focal image.

  Dans chacun de ces cas, on pourra demander à l'élève les particularités (signe, valeur…) de x_A et de x_A' et de revenir sur la relation de conjugaison.



Saisie d'écran de l'animation GeoGebra.

- de montrer que les exercices proposés par le manuel scolaire utilisent un autre outil mathématique, **les grandeurs algébriques**, qui est cohérent avec le travail fait ici grâce aux projections.

Enoncé de l'activité

Peut-on prévoir la position d'une image à travers une lentille ?

Quelle relation lie les positions de l'image et de l'objet ?

Les situations suivantes représentent la construction de l'image A'B' d'un objet AB par une lentille convergente de vergence C en utilisant le modèle de tracé des rayons lumineux à travers une lentille. Tous les schémas proposés sont à l'échelle 1.

1. Dans chaque situation, tracer un repère orthonormé (O, $\vec{i}$, $\vec{j}$) pour lequel l'axe Ox est confondu avec l'axe optique et orienté dans le sens de propagation de la lumière.

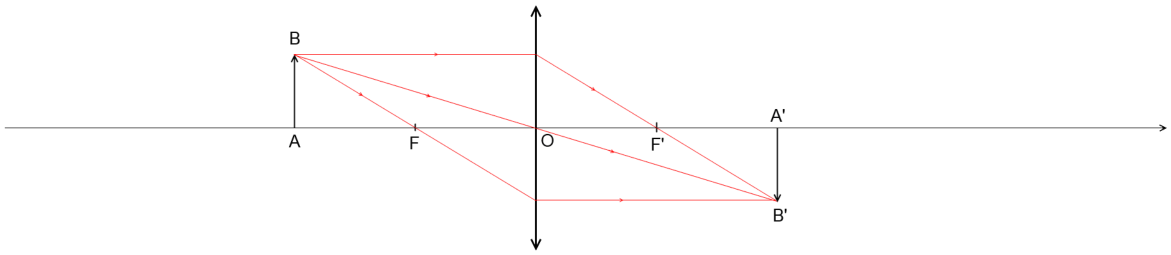
2. Pour les différentes situations,
   a) déterminer les coordonnées des points F ; F' ; A ; A' ; B et B' ;
   b) à partir des coordonnées de F', déterminer la valeur de la vergence C de la lentille.
   c) donner la valeur de l'expression $\frac{1}{x_A'} - \frac{1}{x_A}$. Conclure.

3. En déduire la relation littérale, appelée relation de conjugaison, liant la coordonnées de position de l'image x_A', la coordonnées de position de l'objet x_A et la vergence C de la lentille.

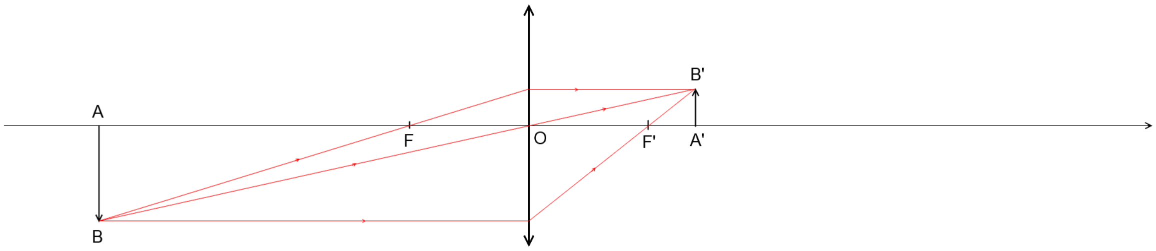
Pour les élèves les plus rapides, il pourrait être demandé de travailler sur la relation relative au grandissement en utilisant les ordonnées, y_B et $y_{B'}$, des points B et B' et en comparant les valeurs des deux rapports $y_B/y_{B'}$ et $x_A/x_{A'}$.

Situations à étudier

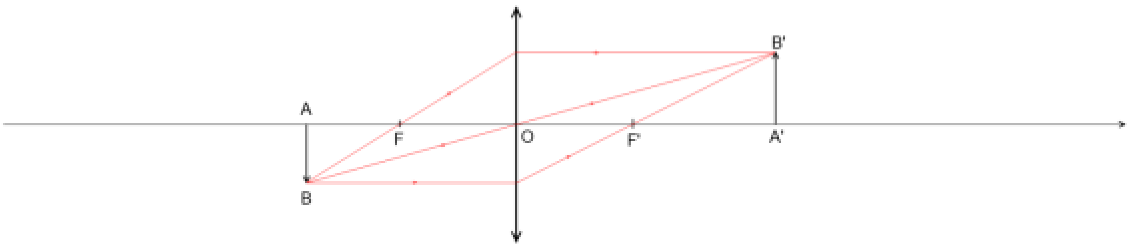
Situation 1 :



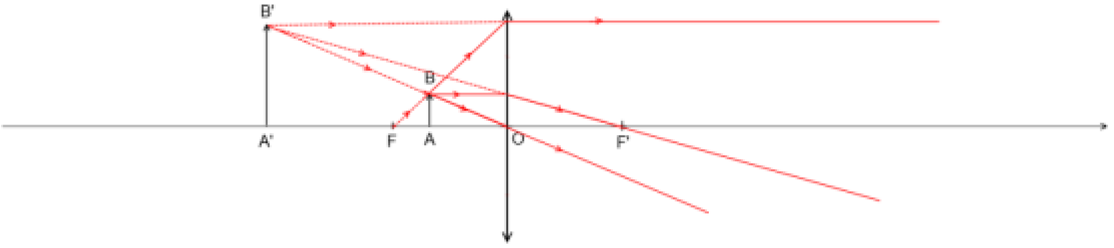
Situation 2 :



Situation 3 :



Situation 4 :



Exemples et analyses de productions d'élèves

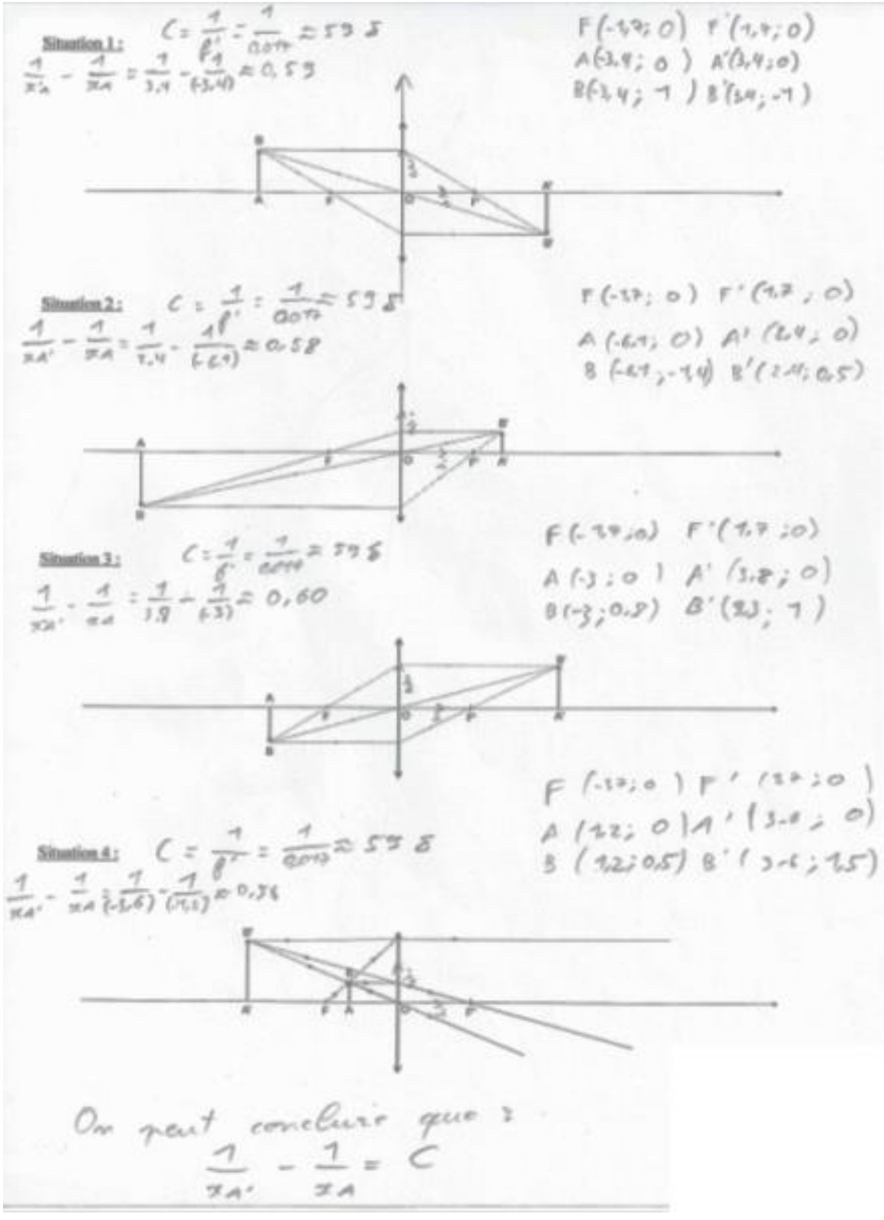
Cette activité a été testée auprès d'un groupe de 14 élèves de 1ère STL. L'énoncé leur a été présenté sous la forme suivante :

Enoncé de l'activité

Les situations suivantes représentent la construction de l'image A'B' d'un objet AB par une lentille convergente de vergence C. Tous les schémas suivants sont à l'échelle 1.

1. Dans chaque situation, tracer un repère orthonormé (O, $\vec{i}$, $\vec{j}$) pour lequel l'axe Ox est confondu avec l'axe optique et orienté dans le sens de propagation de la lumière.
2. Pour les différentes situations,
a) déterminer les coordonnées des points F ; F' ; A ; A' ; B et B' ;
b) déduire des coordonnées de F', la valeur numérique de la vergence C de la lentille.
c) calculer $\dfrac{1}{x_A'} - \dfrac{1}{x_A}$. Conclure.
3. En déduire la relation littérale, appelée relation de conjugaison, liant x_A', x_A et C.

Ci-dessous, une copie caractéristique du type de travail mené par les élèves :



Difficultés rencontrées par les élèves lors du travail demandé :

- Les élèves ont été déstabilisés par la première question : faire apparaître un repère mathématique sur un schéma de physique ne semble pas aller de soi. Une fois la consigne reformulée oralement, certains élèves persistent dans leur hésitation. Plusieurs affirment que « *le repère est déjà tracé* » : ils considèrent que l'axe optique matérialise l'axe des abscisses (Ox) et que le symbole en double flèche de la lentille convergente matérialise l'axe des ordonnées (Oy). Ces élèves s'interrogent alors sur la nécessité de les (re)tracer.
- Une seconde difficulté, rencontrée par certains élèves, est liée à la représentation des vecteurs unitaires et, en particulier, au choix de leur longueur. Il n'a pas été automatique pour les élèves de leur associer une norme de 1 cm. En particulier, beaucoup d'élèves soulignent que « le vecteur unitaire n'a pas d'unité, et qu' il vaut 1 ».
- A la lecture de la copie précédente, on soulignera que le calcul de la vergence C de la lentille est réalisé correctement avec un souci de cohérence dans les unités utilisées. Par contre, peu d'élèves pensent à convertir les coordonnées en mètre avant de d'effectuer le calcul demandé. On pourra remarquer que cela n'empêche pas les élèves de conclure et d'établir l'écriture de la relation de conjugaison, alors qu'ils ont comme valeurs : 0,34 d'une part et 34 de l'autre !
- L'ensemble de ces remarques nous a amenés à faire évoluer l'énoncé de l'activité afin d'en faciliter l'appropriation par les élèves.

De l'intérêt d'une telle activité :

- L'avantage considérable qu'apporte cette activité par rapport à une approche plus classique est qu'elle permet d'éviter d'introduire progressivement le formalisme lié à l'utilisation des mesures algébriques et de le relier à une notion plus usuelle pour les élèves, celle de coordonnées d'un point dans un repère. Ainsi, la quasi-totalité des élèves a réussi à relever les coordonnées des points A et A' dans chacune des situations proposées. L'écriture de coordonnées négatives ne pose aucune difficulté aux élèves, là où l'utilisation de longueurs algébriques négatives leur en pose classiquement beaucoup plus.

L’effet Doppler

Niveau : **terminale S**
Thème en physique-chimie : ondes

Résumé de l’activité

L’activité propose une approche qualitative de l’effet Doppler à travers le registre graphique, en utilisant uniquement une règle graduée et un compas.

Objectifs d’apprentissage

Les « repères pour la formation en physique-chimie au cycle terminal scientifique » stipulent que « la démonstration du décalage Doppler de la fréquence sera abordée dans l’enseignement supérieur ». Il ne s’agit donc pas ici de démontrer la formule de l’effet Doppler mais de la faire comprendre simplement en s’appuyant sur les connaissances relatives aux ondes sonores préalablement développées (propagation à vitesse constante dans les trois directions de l’espace, retard, etc).
Il s’agit, à partir d’une simple construction géométrique réalisée avec une règle et un compas, de faire comprendre à l’élève sans aucun calcul pourquoi la fréquence perçue par un observateur qui voit une source s’approcher est plus grande que la fréquence émise dans le référentiel de l’émetteur.
Cette activité pourra permettre au professeur, une fois qu’il aura fourni l’expression du décalage Doppler, de faire vérifier aux élèves sa cohérence avec le tracé et l’analyse qualitative.

Extraits du programme de physique de terminale S

Notions et contenus	**Compétences exigibles**
Effet Doppler	*Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mesurer une vitesse en utilisant l’effet Doppler.* Exploiter l’expression du décalage Doppler de la fréquence dans le cas des faibles vitesses. Utiliser des données spectrales et un logiciel de traitement d’image pour illustrer l’utilisation de l’effet Doppler comme moyen d’investigation en astrophysique.

Bagages mathématiques de l’élève de terminale S

Notions et contenus	**Compétences exigibles**
Système de coordonnées	Abscisse et ordonnée d’un point dans le plan rapporté à un repère orthonormé. Distance de deux points du plan.
Géométrie	Sphère

Présentation de la séquence

Prérequis nécessaires à la séquence :

Notions et contenus	Compétences exigibles
Caractéristiques des ondes Ondes progressives. Grandeurs physiques associées. Retard.	Définir une onde progressive à une dimension. Connaître et exploiter la relation entre retard, distance et vitesse de propagation (célérité). *Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier qualitativement et quantitativement un phénomène de propagation d'une onde.*
Ondes progressives périodiques, ondes sinusoïdales.	Définir, pour une onde progressive sinusoïdale, la période, la fréquence et la longueur d'onde. Connaître et exploiter la relation entre la période ou la fréquence, la longueur d'onde et la célérité. *Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la période, la fréquence, la longueur d'onde et la célérité d'une onde progressive sinusoïdale.*

Séance présentée :

La séance présentée nécessite une règle, un compas et la distribution d'un document (disponible dans la suite mais aussi ici) sur lequel sont reproduits 4 schémas.
La durée prévue est d'1 h.

Séances suivantes :

Afin d'achever la séquence, il peut être proposé :

- de **faire un lien** (non évident) entre la fréquence de réception des « bips » de l'activité et la fréquence de n'importe quelle onde (en particulier sonore) et de **généraliser** les effets observés pour ces bips à une onde sonore ou même lumineuse.
- de **faire varier les paramètres** (la vitesse de la source mais pourquoi pas aussi la célérité de l'onde) afin d'observer comment évolue le schéma tracé.

Nous proposons ici, par exemple, l'utilisation d'un fichier GeoGebra (disponible ici) qui trace les surfaces d'onde. Contrairement au tracé sur le papier fait par l'élève, le fichier GeoGebra peut aussi être animé et montrer ainsi l'évolution temporelle de ces surfaces d'onde. De plus, l'animation GeoGebra permet aux élèves de visualiser ce qui se passe pour différentes vitesses de l'émetteur.

- Il s'agit aussi de **confronter les résultats** (géométriques) de l'activité à la formule (analytique) du décalage Doppler.

On peut demander aux élèves, dans une séance suivante, d'utiliser la formule du décalage Doppler et de comparer les résultats physiques obtenus avec cette formule (augmentation de la fréquence perçue si l'émetteur se rapproche, diminution s'il s'éloigne) avec ceux trouvés lors de l'activité.

Enoncé de l'activité

Un effet lié au mouvement relatif de l'émetteur et du récepteur, l'effet Doppler

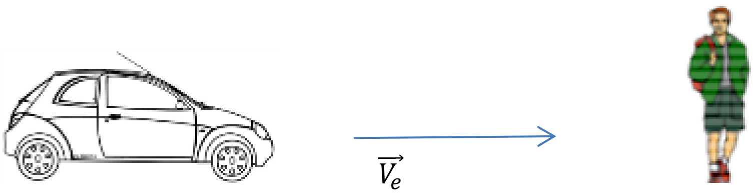
I. Emetteur et récepteur immobiles l'un par rapport à l'autre

L'avertisseur à l'avant d'une voiture à l'arrêt émet des « bips » sonores à intervalles de temps régulier T_e= 1 s. Une personne immobile sur la route perçoit les « bips ».

1. Un bip est émis à l'instant t=0. Donner l'allure de la surface où se trouvent tous les points de l'espace percevant ce premier bip quelques instants plus tard.
2. On fixe l'échelle de représentation suivante : chaque signal sonore correspondant à un bip se déplace d'une distance équivalente à 3 cm sur le schéma pendant une période T_e. On considère que le premier bip est émis à l'instant t=0. On considère l'instant $t = 4T_e = 4$s. Représenter sur le schéma ci-dessus en coupe verticale les points de l'espace atteints par les différents bips émis.
3. Comparer la fréquence de réception des bips par la personne à celle de la fréquence d'émission des bips par la voiture.

II. L'émetteur se rapproche du récepteur à vitesse constante

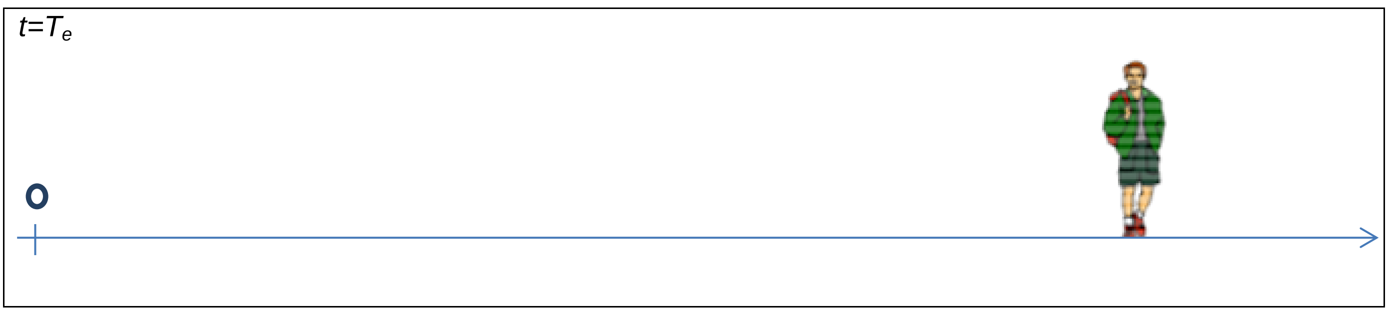
La voiture émet toujours les mêmes « bips » à intervalle de temps régulier T_e=1s et le véhicule se rapproche désormais de la personne à vitesse constante $\overrightarrow{V_e}$.



1. A l'instant t=0, l'avant de la voiture émet un bip depuis le point O, origine de l'axe Ox.

On suppose, là encore, que, sur le schéma, le front d'onde émis à l'instant t=0 s'est déplacé d'une distance de 3 cm sur le papier pendant une période T_e=1s.

a) Représenter sur le schéma ci-dessous à $t=T_e$ ce premier front d'onde.



b) En supposant que la vitesse de la voiture est 3 fois moins grande que celle de la propagation du son (une voiture ne peut pas aller aussi vite mais on fait cette supposition pour que l'effet Doppler soit bien « visible » sur le schéma), indiquer sur le schéma précédent la position de l'avant de la voiture à l'instant $t=T_e$=1s.

2. Tracer sur les schémas suivants les différentes positions de la voiture aux dates $t=2T_e$=2s ; $t=3T_e$=3s ; $t=4T_e$=4s et les différents fronts d'onde.

$t=2T_e$

$t=3T_e$

$t=4T_e$

3. L'observateur reçoit-il le même nombre de bips par unité de temps que dans le cas où la voiture est immobile ?

4. Comparer la fréquence de réception des bips perçue par l'observateur et celle des bips émis par la voiture.

5. Comment évolueraient les cercles tracés si la voiture allait encore plus vite ? Quelle serait l'évolutionde la perception ?

6. La fréquence de perception des bips dépend-elle uniquement de la vitesse V_e ou varie-telle avec la distance qui sépare l'émetteur du récepteur ?

III. L'émetteur s'éloigne du récepteur à vitesse constante

Sur le schéma de la situation à la date t=4T_e=4s, dessiner un observateur situé à gauche de O le plus loin possible sur l'axe.

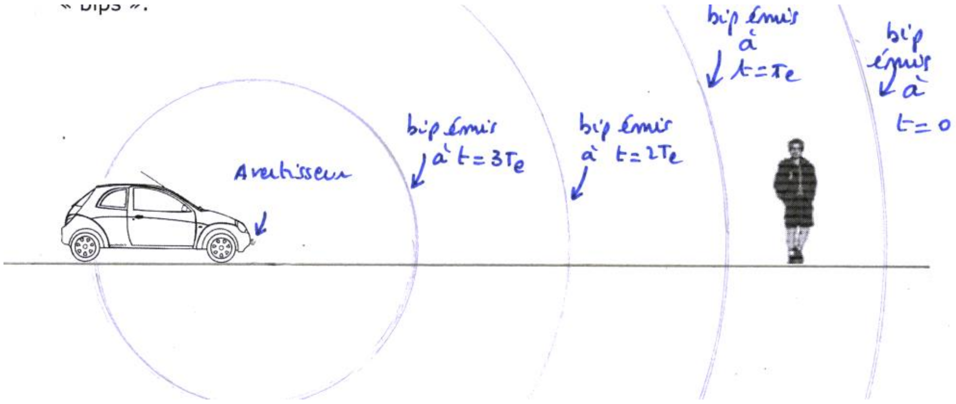
1. Pour cet observateur, que fait la voiture ?

2. L'observateur reçoit-il le même nombre de bips par unité de temps que dans le cas du I ? Comparer la fréquence de réception des bips perçue par l'observateur et celle des bips émis par la voiture.

Exemple de correction de l'activité

I. Emetteur et récepteur immobiles l'un par rapport à l'autre

1. Les points où se trouvent le premier bip sont sur une sphère dont le centre est l'avertisseur de la voiture.

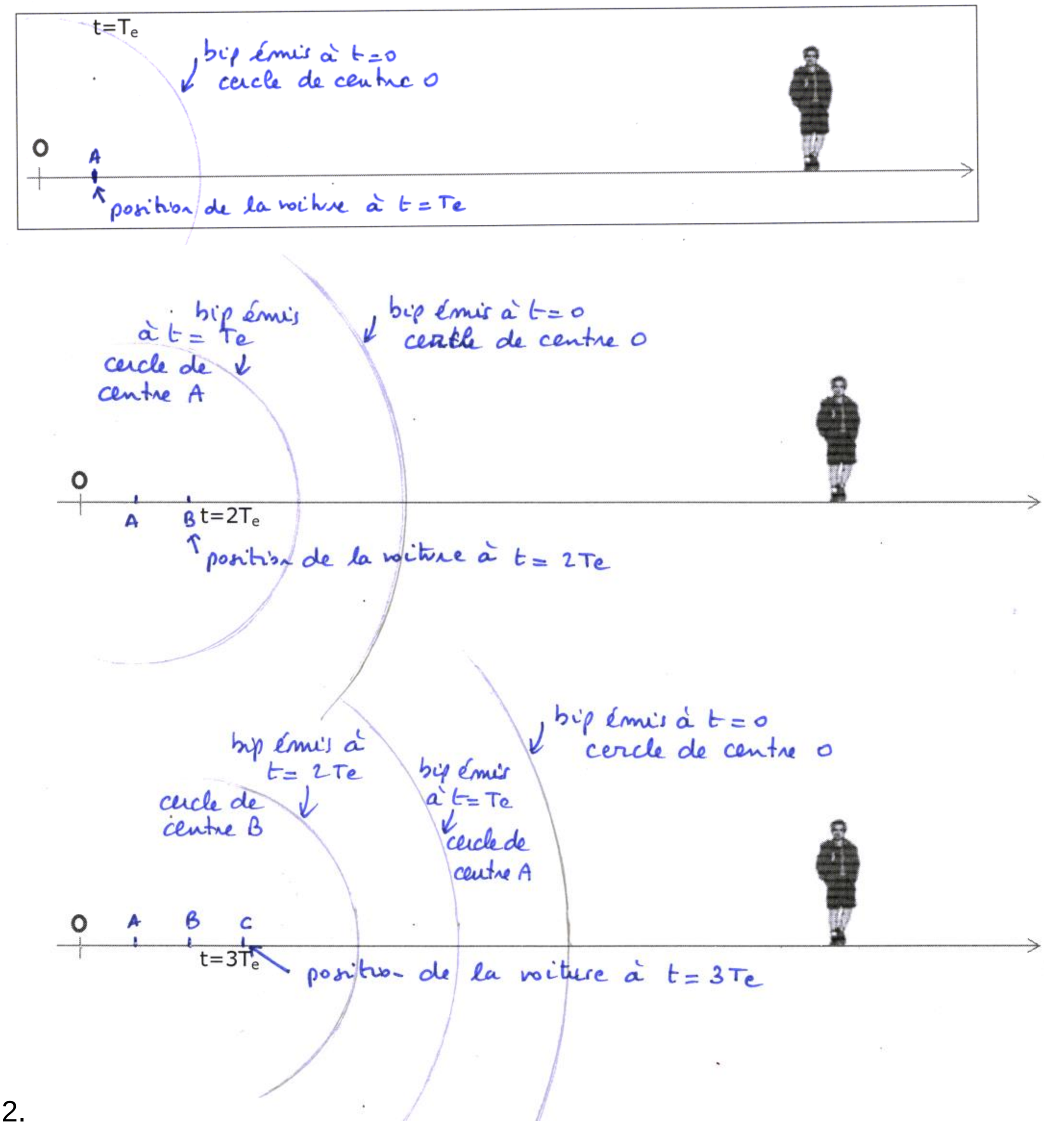


2.

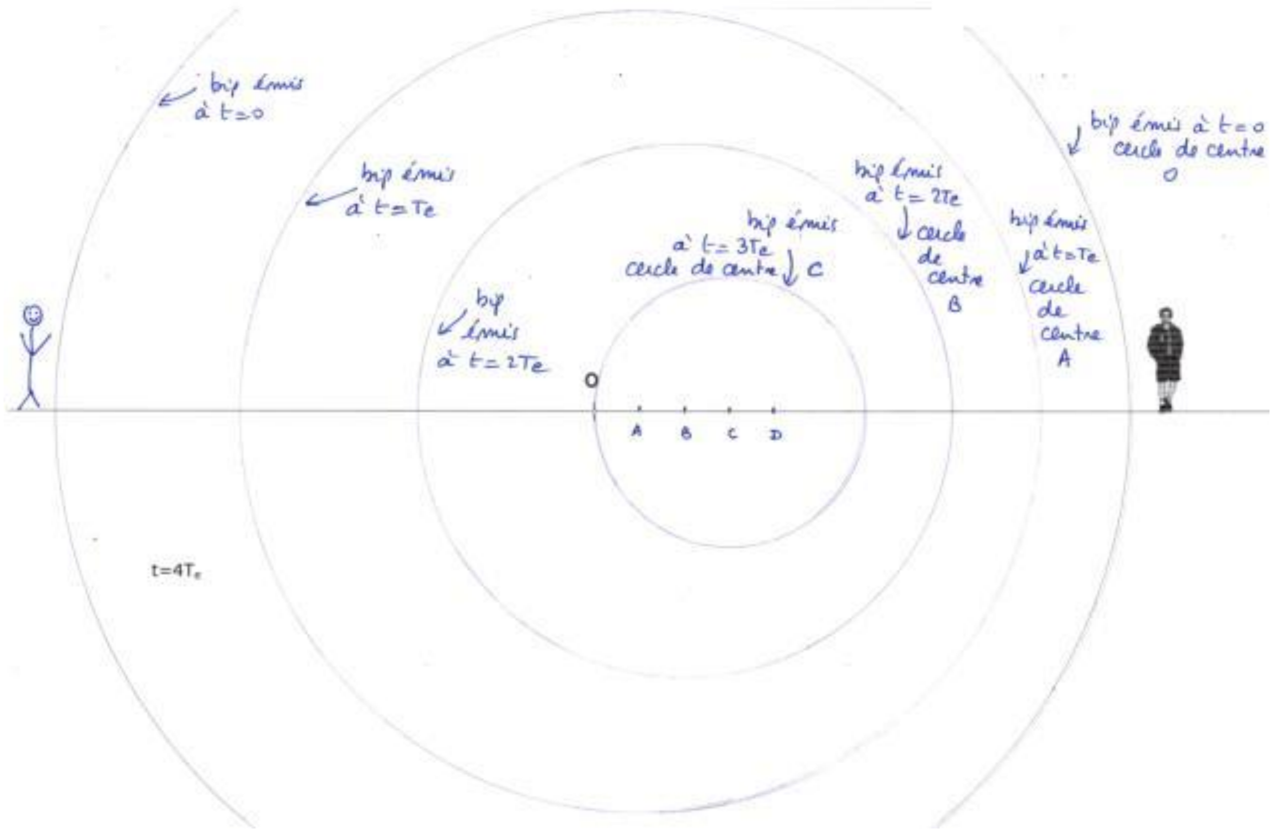
3. Sur le schéma, la distance entre deux fronts d'onde consécutifs est constante, depuis la voiture jusqu'à l'observateur. L'observateur reçoit donc le même nombre de bips par unité de temps qu'il y a eu de bips émis par unité de temps. Les fréquences de réception et d'émission des bips sont les mêmes.

II. L'émetteur se rapproche du récepteur à vitesse constante

1.



2.



3. La distance qui sépare deux fronts d'onde entre la voiture et la personne est plus petite que dans le cas I. La personne reçoit donc plus de bips par unités de temps que dans le cas I.

4. Le nombre de bips par unité de temps est la fréquence des bips donc cette fréquence des bips reçus est plus grande que la fréquence des bips émis.

5. Les cercles tracés seraient encore plus proches les uns des autres, la fréquence des bips reçus serait alors encore plus grande.

6. Le nombre de bips reçus par unité de temps est le même que la voiture soit loin ou proche de l'observateur. La fréquence perçue ne dépend donc pas de la distance entre l'émetteur et l'observateur mais uniquement de la vitesse de l'émetteur par rapport à l'observateur.

III. L'émetteur s'éloigne du récepteur à vitesse constante

1. Pour cet observateur, la voiture s'éloigne.

2. Le nombre de bips reçus par unité de temps est cette fois-ci plus petit que dans le cas I : la fréquence de réception est plus petite que la fréquence d'émission.

Relativité restreinte et effet Doppler

Niveau : **Terminale S**
Thème : **Comprendre : lois et modèles**

Résumé de l'activité :

Il s'agit d'une activité utilisant le diagramme de Minkowski afin de traiter les notions d'événements, de durées propre et impropre, de référentiel et de dilatation de durées. Une activité préliminaire est proposée. Elle ne fait pas intervenir la relativité restreinte et peut être utilisée pour décrire l'effet Doppler afin de permettre aux élèves de découvrir une première fois ce type de graphiques.

Programme de terminale S

Observer : ondes et matières	
Notions et contenus	**Compétences exigibles**
Propriétés des ondes Effet Doppler.	Exploiter l'expression du décalage Doppler de la fréquence dans le cas des faibles vitesses.

Comprendre : lois et modèles	
Notions et contenus	**Compétences exigibles**
Temps et relativité restreinte Invariance de la vitesse de la lumière et caractère relatif du temps.	
Postulat d'Einstein. Tests expérimentaux de l'invariance de la vitesse de la lumière.	Savoir que la vitesse de la lumière dans le vide est la même dans tous les référentiels galiléens.
Notion d'événement. Temps propre. Dilatation des durées. Preuves expérimentales.	Définir la notion de temps propre. Exploiter la relation entre durée propre et durée mesurée. Extraire et exploiter des informations relatives à une situation concrète où le caractère relatif du temps est à prendre en compte.

Programme de mathématiques nécessaire

Programme de 2nde	
Notions et contenus	**Compétences attendues**
Coordonnées d'un point du plan Abscisse et ordonnée d'un point dans le plan rapporté à un repère orthonormé.	Repérer un point donné du plan, placer un point connaissant ses coordonnées.
Droites Droite comme courbe représentative d'une fonction affine. Équations de droites.	Tracer une droite dans le plan repéré. Interpréter graphiquement le coefficient directeur d'une droite. Caractériser analytiquement une droite.

Présentation de la séquence

Prérequis préalables à la séquence :

Il est préférable que le cours sur la relativité restreinte ait déjà eu lieu afin que les élèves connaissent le postulat d'Einstein relatif à l'invariance de la vitesse de la lumière ainsi que la relation entre durée propre Δt_p et durée impropre Δt_m : $\Delta t_m = \gamma.\Delta t_p$.

Séance présentée :

Nature et origine des documents

L'activité préliminaire faisant intervenir l'effet Doppler est inspirée du travail de Leroy-Bury et de Viennot en 2003 ainsi que des fiches CLEA pour le lycée[2].

L'activité sur la relativité restreinte utilise un diagramme historique développé par Minkowski et utilisé lors de la conférence de Cologne en 1908. Elle est tirée d'une thèse de doctorat en didactique[3] des sciences physiques (LDAR, Université de Paris 7, novembre 2016).

Description des différentes versions de l'activité

La version préliminaire consiste à découvrir des graphiques (x, $c.t$) dans un cadre non relativiste afin de familiariser les élèves avec la notion de ligne d'univers. Cette version permet de réinvestir l'effet Doppler.

Dans l'activité traitant de la relativité restreinte, deux référentiels sont utilisés, ils sont en translation rectiligne uniforme, l'un par rapport à l'autre. Ils sont associés à deux observateurs : Daniel et Armineh. Trois événements sont positionnés dans chacun des repères des deux référentiels. On peut noter que le programme ne parle que de référentiel et jamais de repère.

Un diagramme de Minkowski est fourni. Il faut positionner trois événements en utilisant un repère orthonormé du référentiel associé à Daniel. Il faut ensuite justifier graphiquement l'existence d'une durée propre et d'une durée impropre.

Déroulement des activités

La séquence est constituée d'une séance si possible organisée en groupe. L'enseignant guide les élèves dans la réalisation de l'activité en suivant, par exemple, les progressions proposées ci-après.

Version traitant de l'effet Doppler (1 h à 2 h)

Un repère orthonormé (xO$c.t$) est utilisé, c étant la **vitesse du son** dans l'air (ou un autre milieu matériel). Deux situations sont étudiées : une source sonore immobile avec un récepteur s'éloignant et une source sonore se rapprochant d'un récepteur immobile. Les deux lignes d'univers de la source et du récepteur sont tracées. La source sonore émet des bips réguliers correspondant à des événements séparés d'une durée T_S. Les élèves doivent tracer les projections de ces événements parallèlement à la droite $c.t = x$ sur la ligne d'univers du récepteur et ensuite en déduire la durée T_R entre deux bips perçus par le récepteur. En comparant les deux durées T_S et T_R, les élèves discutent après de l'effet Doppler mis en évidence.

Version traitant de la relativité restreinte (1 h à 2 h)

On commence avec un repère orthonormé (xO$c.t$) relatif au référentiel associé à Daniel. Les trois événements E_1, E_2 et E_3 sont placés en utilisant les coordonnées fournies dans le texte. Il faut exprimer $c.t$ en mètre, c étant la **vitesse de la lumière** dans le vide.

On regarde ensuite les coordonnées des trois événements dans le repère relatif au référentiel associé à Armineh en appliquant les règles de projections : utilisation de droites parallèles aux deux axes. On peut tracer les parallèles à l'axe Ox' passant par les différents événements. L'intersection entre l'axe O$c.t'$ et ces différentes droites permet de trouver les valeurs de $c.t'$ et d'en déduire par exemple l'ordre chronologique de ces trois événements. L'intersection entre les parallèles à l'axe O$c.t'$ passant par les différents événements et l'axe Ox' permet de trouver les abscisses des événements dans le repère du référentiel associé à Armineh.

[2] Leroy-Bury, J.L., Viennot, L. (2003) Doppler et Römer : physique et mathématique à l'œuvre. Bull. Un. Phys., 97, 859, 1595-1611. Fiche CLEA pour le lycée.

[3] Moutet, L. (2016) Graphiques et théorie de la relativité restreinte, Thèse de doctorat de l'Université Paris 7.

L'existence d'une durée propre peut être justifiée graphiquement lorsque la durée étudiée est prise à la même abscisse dans le référentiel étudié.
Les coordonnées des événements E_2 et E_3 et la valeur de la vitesse d'Armineh par rapport à Daniel ont été délibérément choisies pour qu'une inversion chronologique apparaisse entre ces deux événements sur les deux repères afin que cela soit plus visible pour les élèves. Cette inversion est donc un cas particulier.

Remarques :

On commence par l'utilisation d'un repère associé au référentiel de Daniel. Les deux axes O*x* et O*c*.*t* sont perpendiculaires et l'axe O*x* est, par exemple, horizontal.
L'axe des abscisses est gradué en mètres. L'axe des ordonnées correspond à *c*.*t* qui a également la dimension d'une longueur ; cet axe est aussi gradué en mètres. Les pentes des droites utilisées ne possèdent donc pas d'unités.

Utilisation d'un logiciel de modélisation mathématique

Les versions Géogébra de ces différentes activités sont fournies. Le logiciel peut être utilisé pour traiter n'importe quelle version de l'activité mais il faut prévoir un temps d'adaptation si les élèves ne l'ont jamais utilisé. Il est envisageable d'utiliser avec les élèves les animations Géogébra fournies en fin d'activité. Leur travail consiste alors à manipuler le modèle sans prendre part à son élaboration de manière à pouvoir explorer d'autres conditions « expérimentales ».
Les deux versions *Doppler_1* et *Doppler_2* permettent d'afficher les lignes d'univers de signaux périodiques partant d'une source sonore suivant une direction donnée, dans les deux sens possibles. Trois curseurs sont disponibles. Le premier permet de modifier la vitesse du signal sonore entre 0 et 1500 $m.s^{-1}$ noté *c*. Le graphique (*x*, *c*.*t*) n'est pas modifié par le changement de la valeur de *c*. Le second curseur modifie la valeur de *c*.*Ts* ; Cela correspond à l'écartement entre les lignes d'univers du signal sonore partant de la source, *Ts* étant la période d'émission du signal dans le repère lié à la source. Le dernier curseur permet de changer la valeur de V_r/c ou de V_s/c, *V_r étant la vitesse du récepteur par rapport à la source fixe et V_s la vitesse de la source par rapport au récepteur fixe*.
Les valeurs des périodes et des fréquences des signaux sonores émis par la source et reçues par le récepteur sont affichées.
Le fichier *Relativite_Minkowski* comporte un curseur permettant de changer la valeur de *v*/*c*, *v* étant la vitesse d'Armineh par rapport à Daniel. La position des axes d'un repère du référentiel associé à Armineh, par rapport à ceux d'un repère du référentiel associé à Daniel, sont modifiés lorsque la vitesse d'Armineh par rapport à Daniel est modifiée. On peut s'apercevoir du changement de l'ordre chronologique entre les événements E_2 et E_3 en changeant la valeur de *v*/*c* car ces deux événements ne sont pas reliés par un lien de causalité (de type cause conséquence). Les valeurs numériques des durées sont affichées dans les deux référentiels. La durée propre relative aux événements E_1 et E_2 dans le référentiel associé à Daniel et la durée impropre relative aux mêmes événements dans le référentiel associé à Armineh sont affichées et permettent d'utiliser la relation algébrique de dilatation des durées vue en cours de terminale S.
Les durées impropres relatives aux événements E_2 et E_3 dans les référentiels d'Armineh et de Daniel sont aussi affichées. L'inversion chronologique des événements E_2 et E_3 dans le référentiel associé à Armineh est caractérisée par une visualisation d'une « durée négative », cette durée est nulle lorsque les événements sont simultanés dans le référentiel d'Armineh.

Remarques :

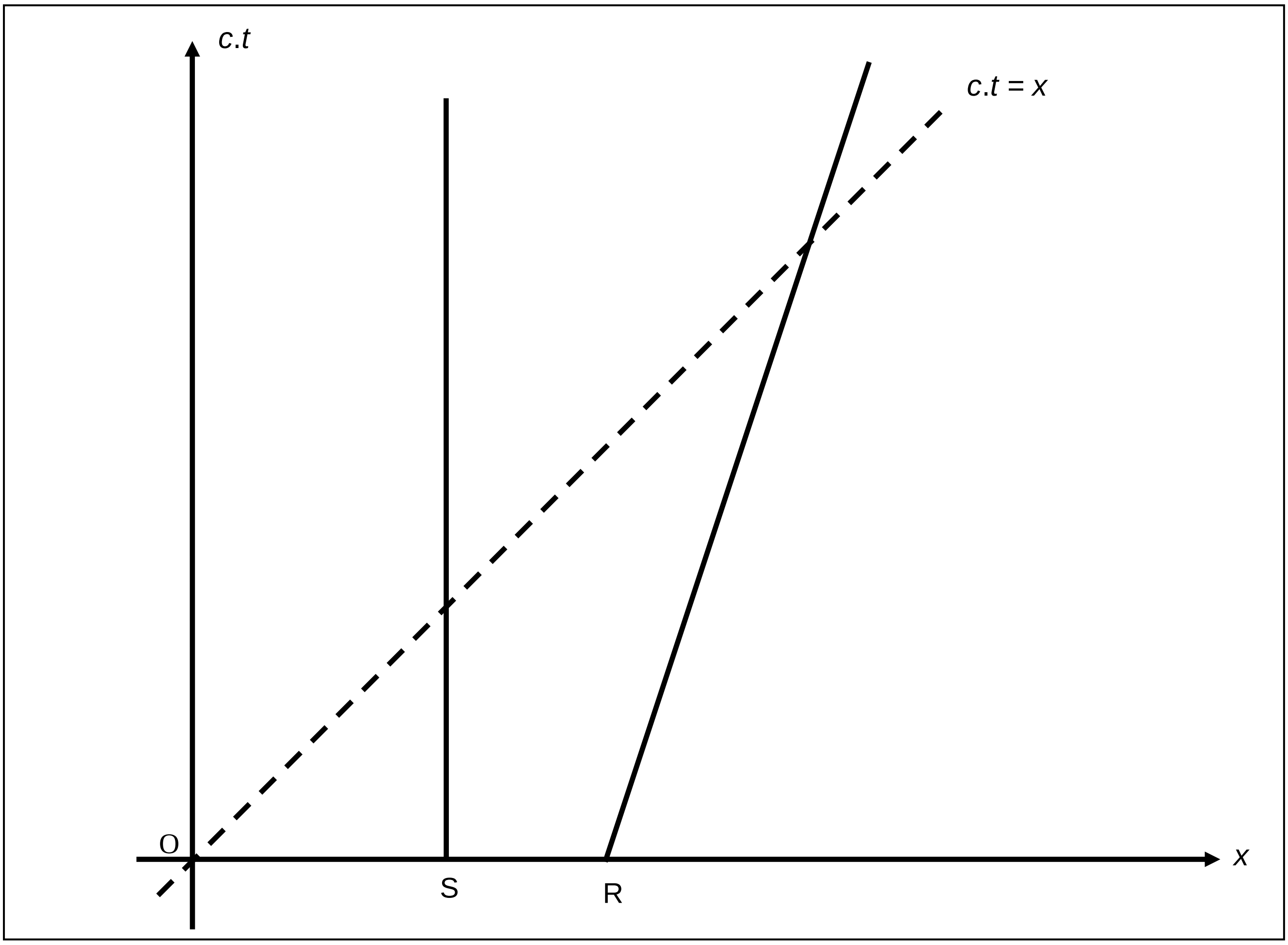
- L'origine des dates et des positions correspond à l'événement pour lequel les coordonnées d'espace et de temps de Daniel et Armineh coïncident.
- Les échelles ne sont pas conservées du repère d'un référentiel à un autre avec un diagramme de Minkowski. Une unité de l'axe Oc.t' ou de l'axe Ox' se trouve à la distance $\frac{\sqrt{1+\beta^2}}{\sqrt{1-\beta^2}}$ de l'origine spatiotemporelle dans le référentiel de Daniel ($\beta = \frac{v}{c}$).

Activités élèves

Effet Doppler et géométrie

Une source sonore située en S, immobile dans le référentiel terrestre, émet des bips réguliers séparés d'une durée T_S. Un récepteur s'éloigne de la source sonore avec la vitesse V_r suivant un axe Ox, il est situé en R, à droite de la source, à l'instant initial. La vitesse du son dans l'air est notée c. La situation peut être représentée par le graphique ci-après.

Situation 1



Graphique de la situation 1

Donnée : $c = 3{,}00.10^8$ m.s^{-1}. c représente la vitesse de la lumière dans le vide.

1. Quelle droite, appelée *ligne d'univers* de la source, représente l'ensemble des points associés au repérage de la source ? Quelle est la ligne d'univers du récepteur ?

2. Que représente la droite $c.t = x$?

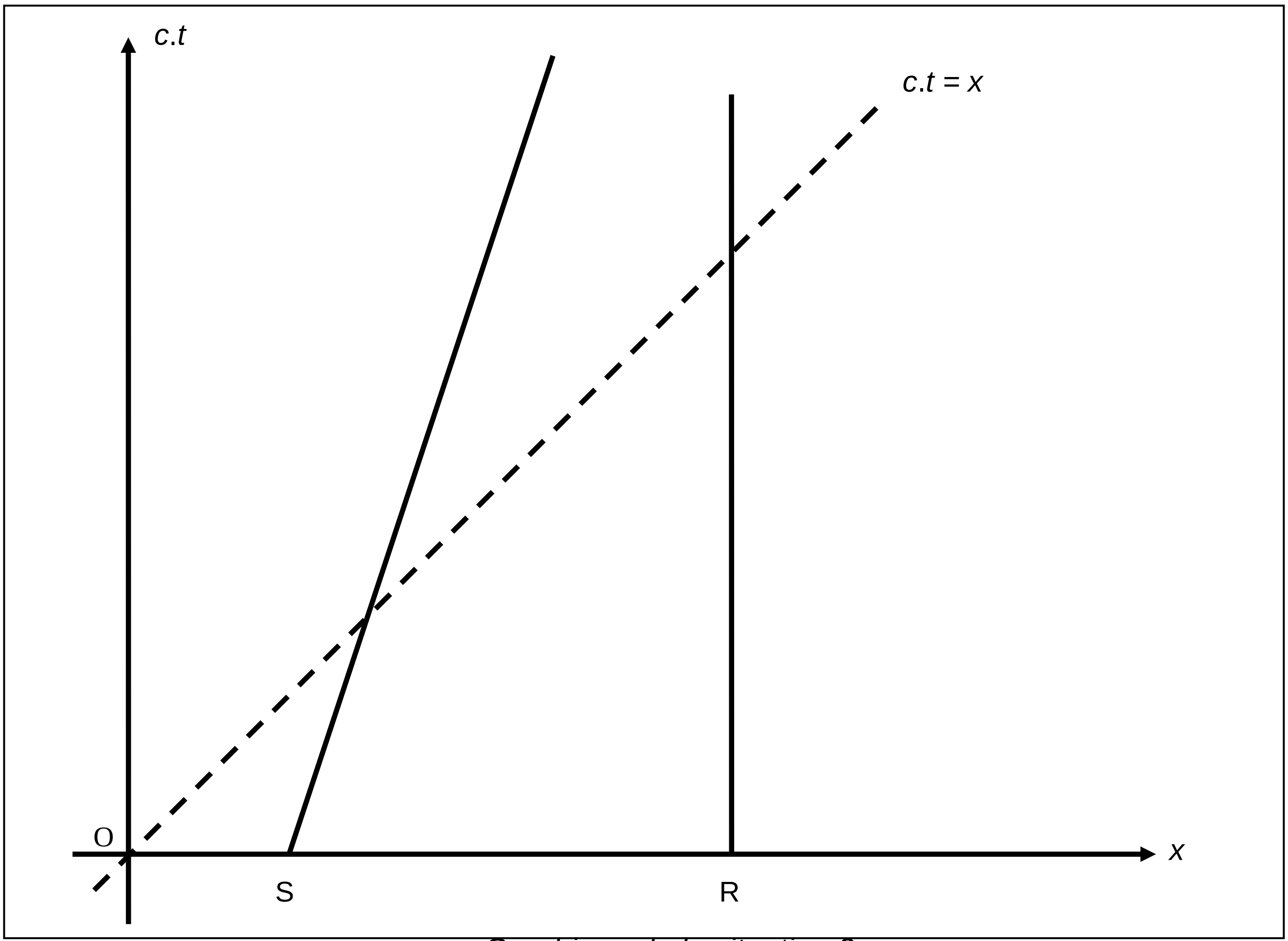
3. Que se passe-t-il du point de vue de la physique si V_r est plus grand que c ? Comment cela se traduit-il sur le graphique ?

4. Représenter sur le graphique l'ensemble des positions (demi-droites) associées au repérage de quelques bips sonores consécutifs émis par la source ainsi que la durée T_S.

5. En déduire sur le graphique les points associés à la réception de ces bips sonores par le récepteur et représenter la durée T_R entre deux bips sonores reçus.

6. Comparer qualitativement T_S et T_R. Quel est l'effet mis en évidence ici ?

Situation 2



Graphique de la situation 2

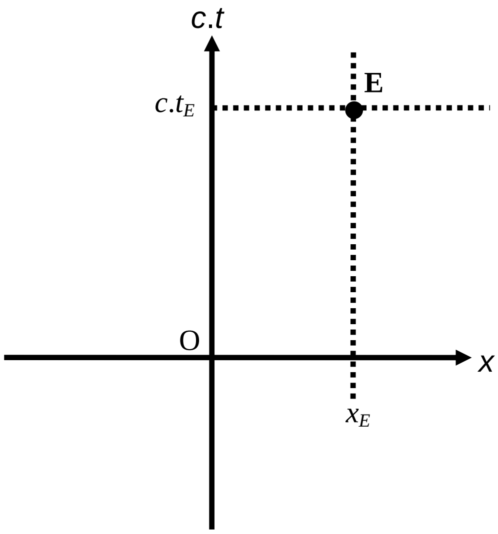
7. À quel contexte correspond la situation 2 ?
8. Représenter T_S et T_R et comparer qualitativement ces deux durées. Quel est l'effet également mis en évidence ici ?

Relativité restreinte et géométrie

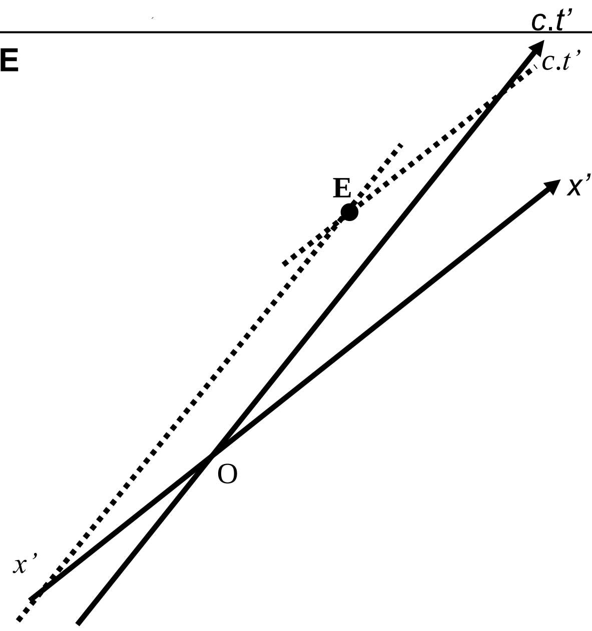
On se propose d'étudier une expérience de pensée, c'est-à-dire qui n'est pas réalisable au sens strict du terme mais qui peut éventuellement être transposée à des situations expérimentales réelles. Une route horizontale comporte trois dispositifs émettant des flashs lumineux afin de repérer un danger.
Daniel est immobile sur le côté de la route qui peut être modélisée par une droite O*x* orientée. Une voiture conduite par Armineh se déplace dans le sens des x positifs à une vitesse de + 0,8.*c* sur cette route et se dirige vers les dispositifs lumineux.
L'origine des dates et des positions correspond à l'événement pour lequel les coordonnées d'espace et de temps de Daniel et Armineh coïncident.
Dans le référentiel associé à la route (à Daniel), les deux premiers dispositifs notés S_1 et S_2 se trouvent à + 3 mètres de Daniel et le troisième, noté S_3, se trouve à + 9 mètres de lui.
Dans le référentiel associé à Daniel, S_1 émet un flash au bout de 10 ns, S_2 au bout de 23 ns et S_3 au bout de 27 ns.
Les positions et les dates d'émissions des flashs de S_1, S_2 et S_3 permettent de définir les trois événements E_1, E_2 et E_3. Le référentiel lié à la voiture et en translation rectiligne uniforme par rapport à celui lié à la route sera nommé pour simplifier référentiel associé à Armineh.

Le but de cette activité est de repérer les trois événements E_1, E_2 et E_3 dans les repères des référentiels associés à Daniel et à Armineh et d'en déduire des résultats remarquables.

Document 1 : Coordonnées d'un événement E



Coordonnées d'un événement E dans un repère (xO$c.t$) du référentiel associé à Daniel



Coordonnées d'un événement E dans un repère (x'O$c.t'$) du référentiel associé à Armineh

Document 2 : Dilatation des durées, durée propre et durée mesurée dans un référentiel en mouvement

La durée propre, notée Δt_p, correspond à la durée entre deux événements A et B ayant les mêmes coordonnées spatiales, dans un référentiel galiléen donné. Cette durée est mesurée par une horloge unique, fixe dans ce référentiel, et ayant les mêmes coordonnées spatiales que les deux événements.

Une durée impropre, notée Δt_m, correspond à la durée entre les deux mêmes événements A et B, mesurée dans un second référentiel galiléen en mouvement par rapport au premier. Cette durée est mesurée par deux horloges, fixes dans ce second référentiel et situées aux coordonnées spatiales associées aux deux événements A et B et mesurées dans ce second référentiel.

Les durées Δt_m et Δt_p sont reliées par la relation suivante : $\Delta t_m = \gamma.\Delta t_p$.

Donnée : $c = 3{,}00.10^8$ m.s^{-1}. c représente la vitesse de la lumière dans le vide.

Placer les trois événements E_1, E_2 et E_3 dans le diagramme de Minkowski donné ci-après en utilisant tout d'abord le repère (xOc.t) du référentiel associé à Daniel.

1. Que peut-on dire des abscisses des événements E_1 et E_2 dans les référentiels associés à Daniel et à Armineh ?

2. Comment s'appellent les durées entre les événements E_2 et E_1 mesurées dans les référentiels associés à Daniel et à Armineh ? La relation $\Delta t_m = \gamma.\Delta t_p$ est-elle applicable ?

3. Que peut-on dire des abscisses des événements E_2 et E_3 dans les référentiels associés à Daniel et à Armineh ?

4. Est-ce que les durées prises entre les événements E_3 et E_2 dans les référentiels associés à Daniel et à Armineh sont des durées propres ? La relation $\Delta t_m = \gamma.\Delta t_p$ est-elle applicable ?

5. La situation précédente est transposée à une expérience se déroulant dans un accélérateur de particules linéaire. En conservant les couples de valeurs (3 m ; 23 ns) et (9 m ; 27 ns) relatifs aux événements E_2 et E_3 dans le référentiel terrestre, est-il possible d'associer l'événement E_2 à la création d'une particule élémentaire se déplaçant à la vitesse de 0,8.c par rapport au référentiel terrestre et l'événement E_3 à la désintégration de cette même particule élémentaire ? Discuter.

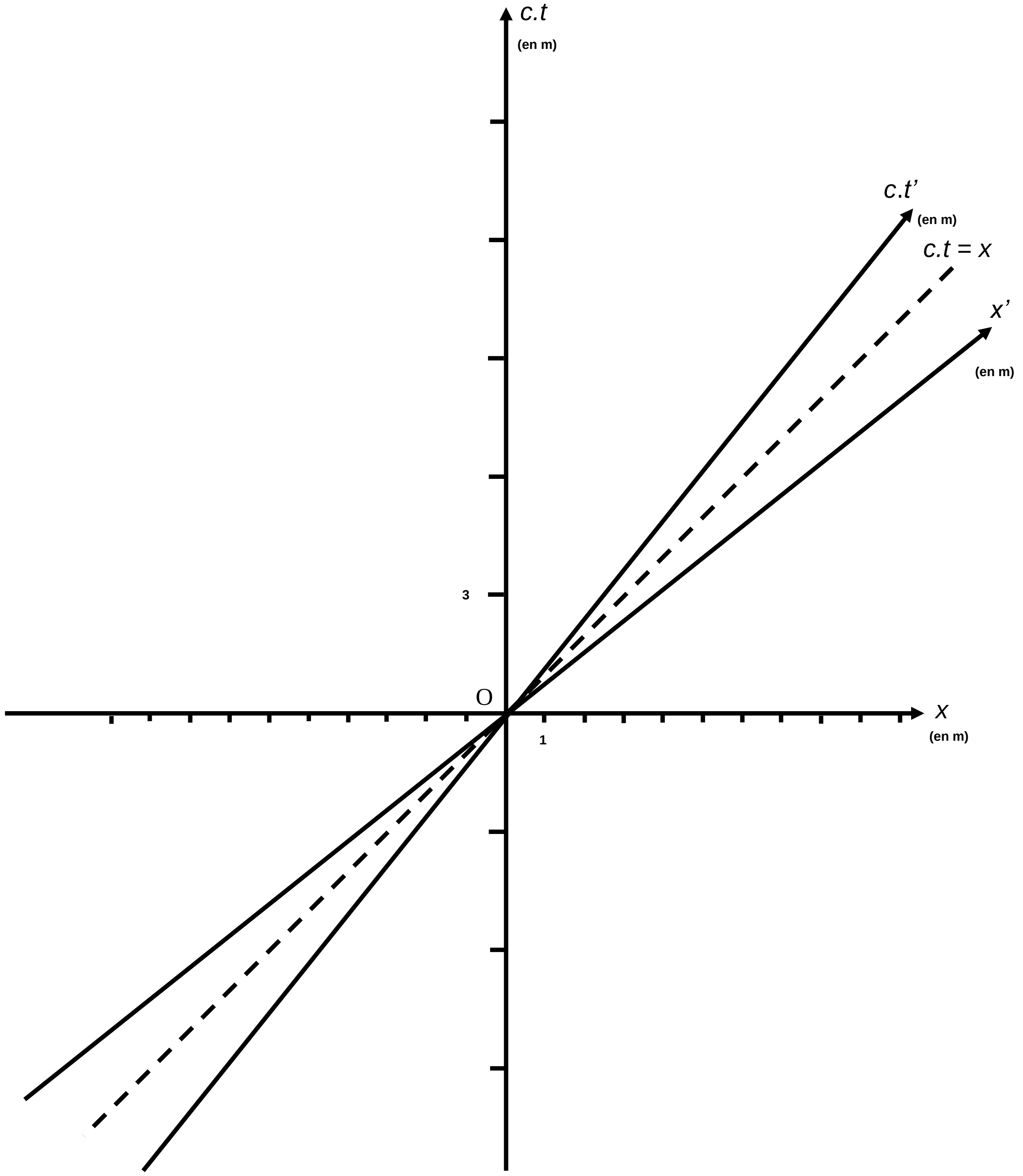


Diagramme de Minkowski de la situation

Aides pour l'activité relativité restreinte

S'APPROPRIER

• L'axe $c.t$ est homogène à une distance.
• La cordonnée suivant l'axe $c.t$ est proportionnelle à t.
• Les projections se font parallèlement aux axes afin de trouver les coordonnées d'un événement.
• Une durée propre est mesurée entre deux événements ayant la même abscisse.

ANALYSER

• Dans le diagramme de Minkowski, le repère du référentiel associé à Daniel est orthonormé.

REALISER

• On trace la parallèle à l'axe Ox passant par l'événement E. Elle coupe l'axe O$c.t$ en $c.t_E$.
• On trace la parallèle à l'axe O$c.t$ passant par l'événement E. Elle coupe l'axe Ox en x_E.
• On trace la parallèle à l'axe Ox' passant par l'événement E. Elle coupe l'axe O$c.t'$ en $c.t'_E$.
• On trace la parallèle à l'axe O$c.t'$ passant par l'événement E. Elle coupe l'axe Ox' en x'_E.
• Il faut diviser la valeur de $c.t$ ou $c.t'$ par c pour obtenir la valeur de t en secondes.

VALIDER

• Deux événements n'ayant pas la même abscisse ne pourront pas conduire à la mesure d'une durée propre.
• Si on obtient une durée t_B - t_A négative, cela veut dire que l'événement B a eu lieu avant l'événement A.

Eléments de réponse

Exemples de production attendue :

Activité « Effet Doppler »

S'APPROPRIER	*Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.*

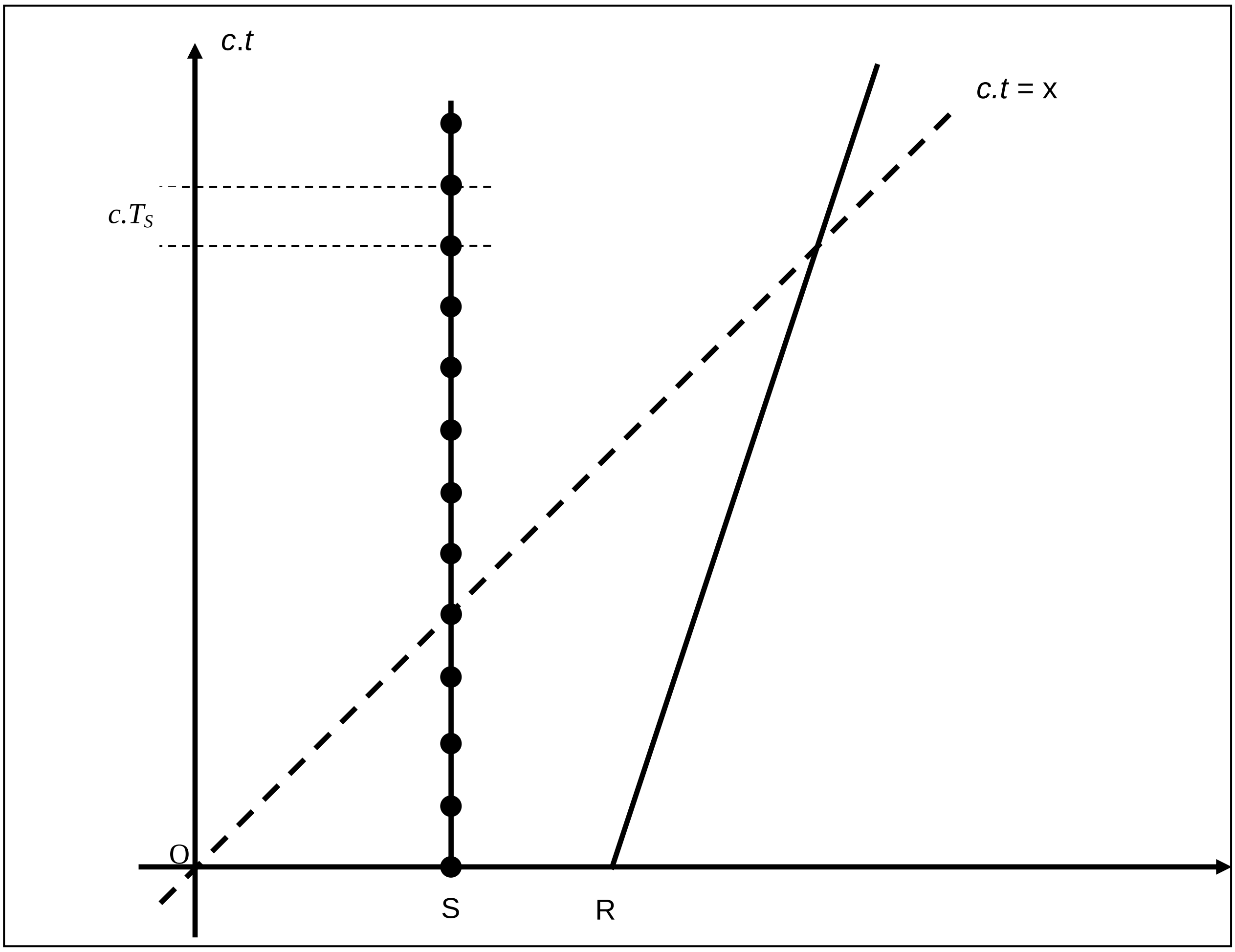
1. La source est immobile dans le référentiel terrestre. La ligne d'univers de la source correspond à la droite verticale car x est constante. La ligne d'univers du récepteur correspond à la droite oblique vers la droite car le récepteur s'éloigne de la source.
2. La droite $c.t = x$ correspond à la propagation d'un signal sonore.

ANALYSER	*Conduire un raisonnement scientifique qualitatif ou quantitatif.*

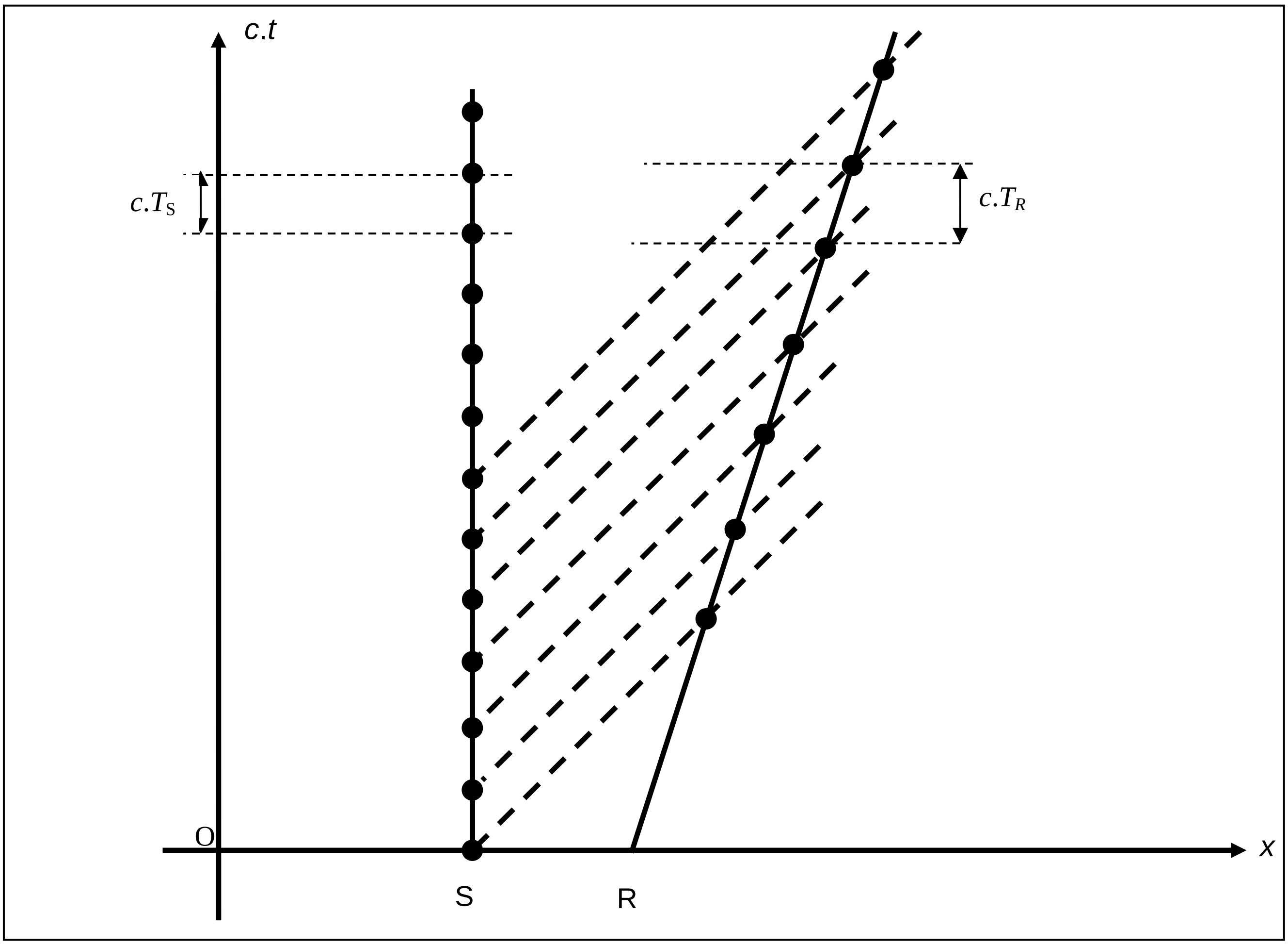
3. Si V_r est plus grand que c, le récepteur a un déplacement supersonique. La pente de la ligne d'univers du récepteur est plus petite que celle de la droite $c.t = x$.

REALISER	*Décrire un phénomène à travers la lecture d'un graphe.*

4.



5.



VALIDER	*Confronter le contenu du document avec ses connaissances et savoir-faire.*

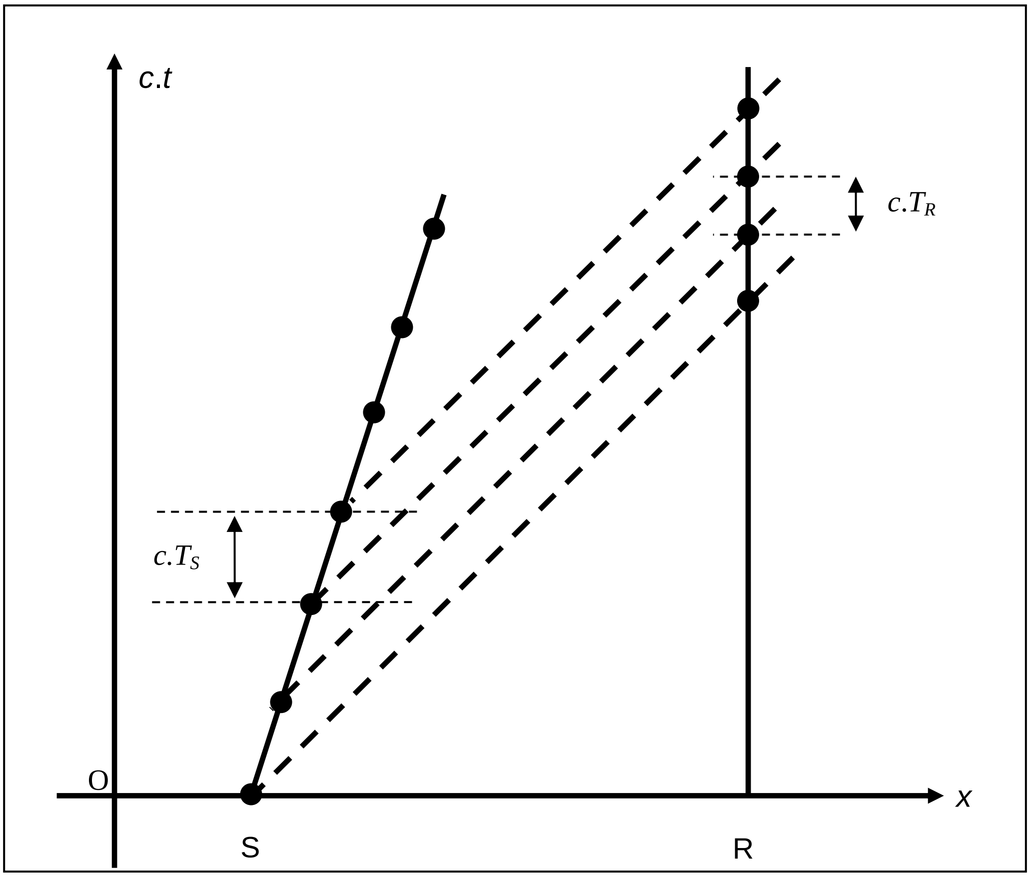
6. On a $c.T_R > c.T_S$ d'où $T_R > T_S$. Cela correspond à l'effet Doppler et est conforme au décalage Doppler quand l'émetteur s'éloigne du récepteur.

S'APPROPRIER	*Dégager la problématique principale.*

7. Une source sonore se rapproche d'un récepteur immobile.

REALISER	*Décrire un phénomène à travers la lecture d'un graphe.*
VALIDER	*Confronter le contenu du document avec ses connaissances et savoir-faire.*

8.



On a $c.T_S > c.T_R$ d'où $T_S > T_R$. Cela correspond également à l'effet Doppler avec les résultats du décalage Doppler quand l'émetteur se rapproche du récepteur.

Activité « relativité restreinte »

E_1	x_{E1} = 3 m	$t_{E1} = 1{,}0.10^{-8}$ s	$c.t_{E1}$ = 3 m
E_2	x_{E2} = 3 m	$t_{E2} = 2{,}3.10^{-8}$ s	$c.t_{E2}$ = 6,9 m
E_3	x_{E3} = 9 m	$t_{E3} = 2{,}7.10^{-8}$ s	$c.t_{E3}$ = 8,1 m

S'APPROPRIER	*Acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.*
ANALYSER	*S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse.*
REALISER	*Utiliser un modèle décrit.*

1. Les abscisses des événements E_1 et E_2 sont identiques dans le référentiel associé à Daniel. Elles sont différentes dans le référentiel associé à Armineh.

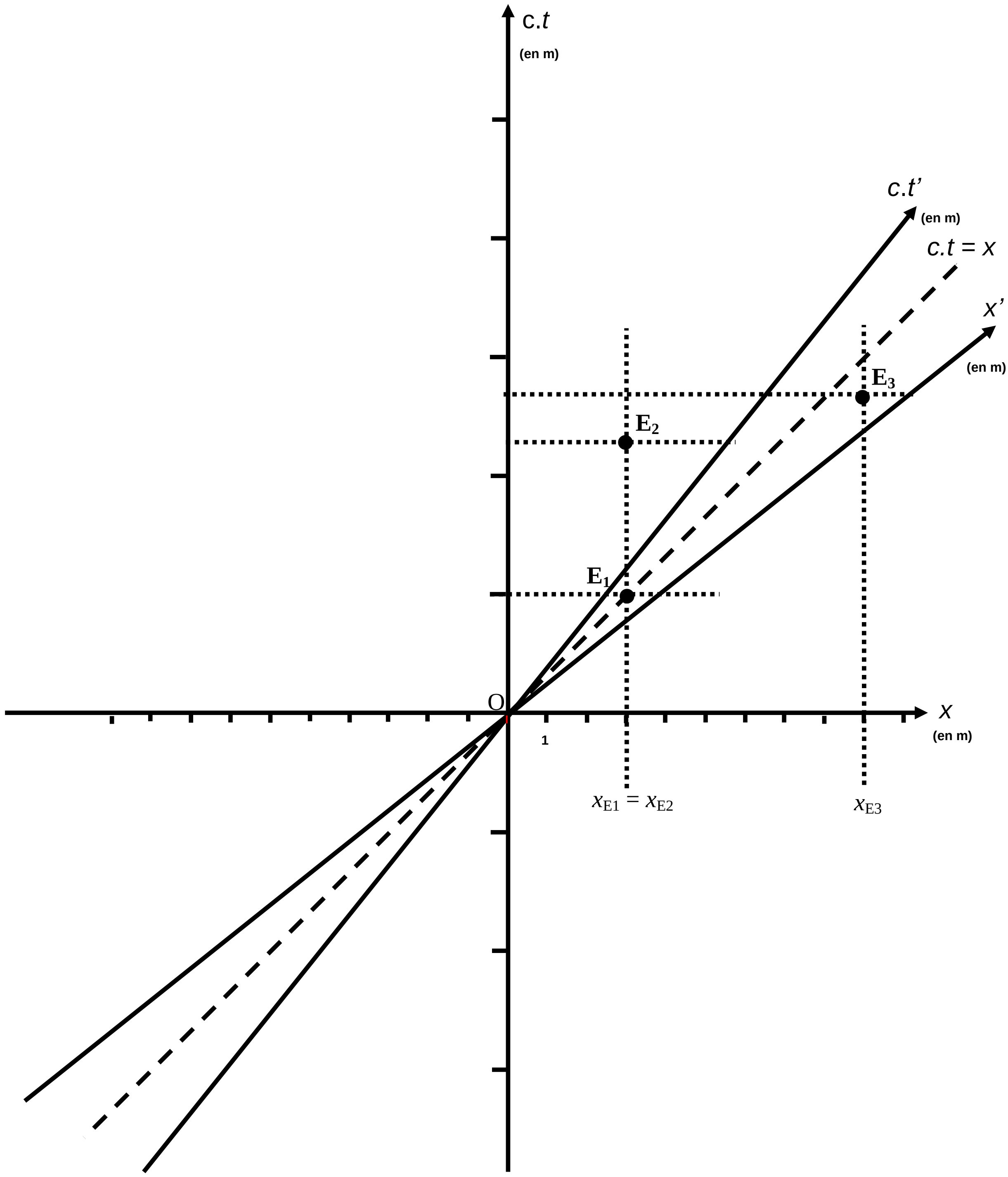
2. La durée entre les événements E2 et E1 s'appelle une durée propre dans le référentiel associé à Daniel car leur abscisse est identique. Elle est notée par exemple Δtp. C'est une durée impropre dans le référentiel associé à Armineh car les abscisses des événements sont différentes. Elle est notée par exemple Δtm. La relationΔtm = $\gamma.\Delta$tp est donc bien applicable.

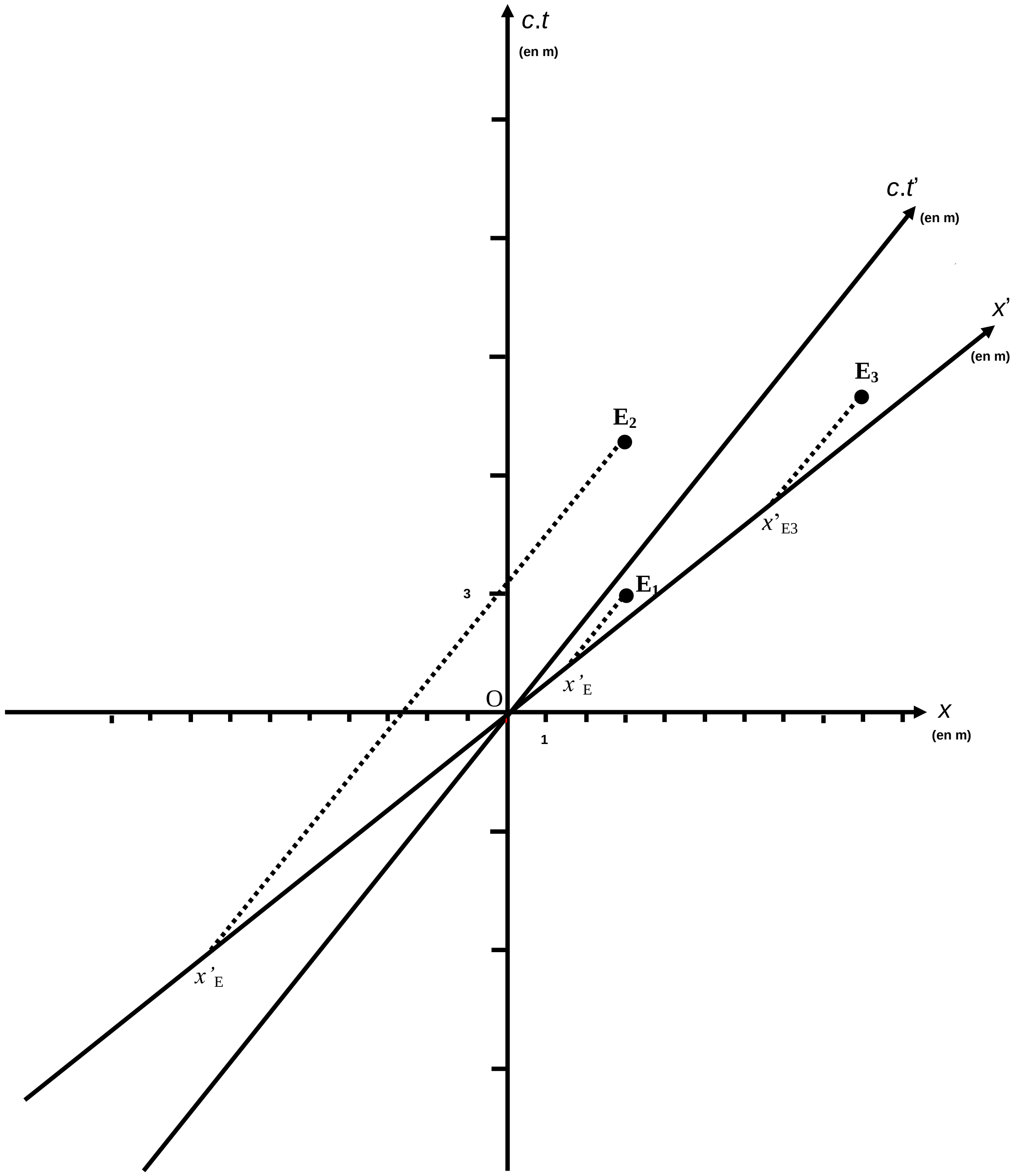
3. Les abscisses des événements E_2 et E_3 sont différentes dans le référentiel associé à Daniel comme dans le référentiel associé à Armineh.

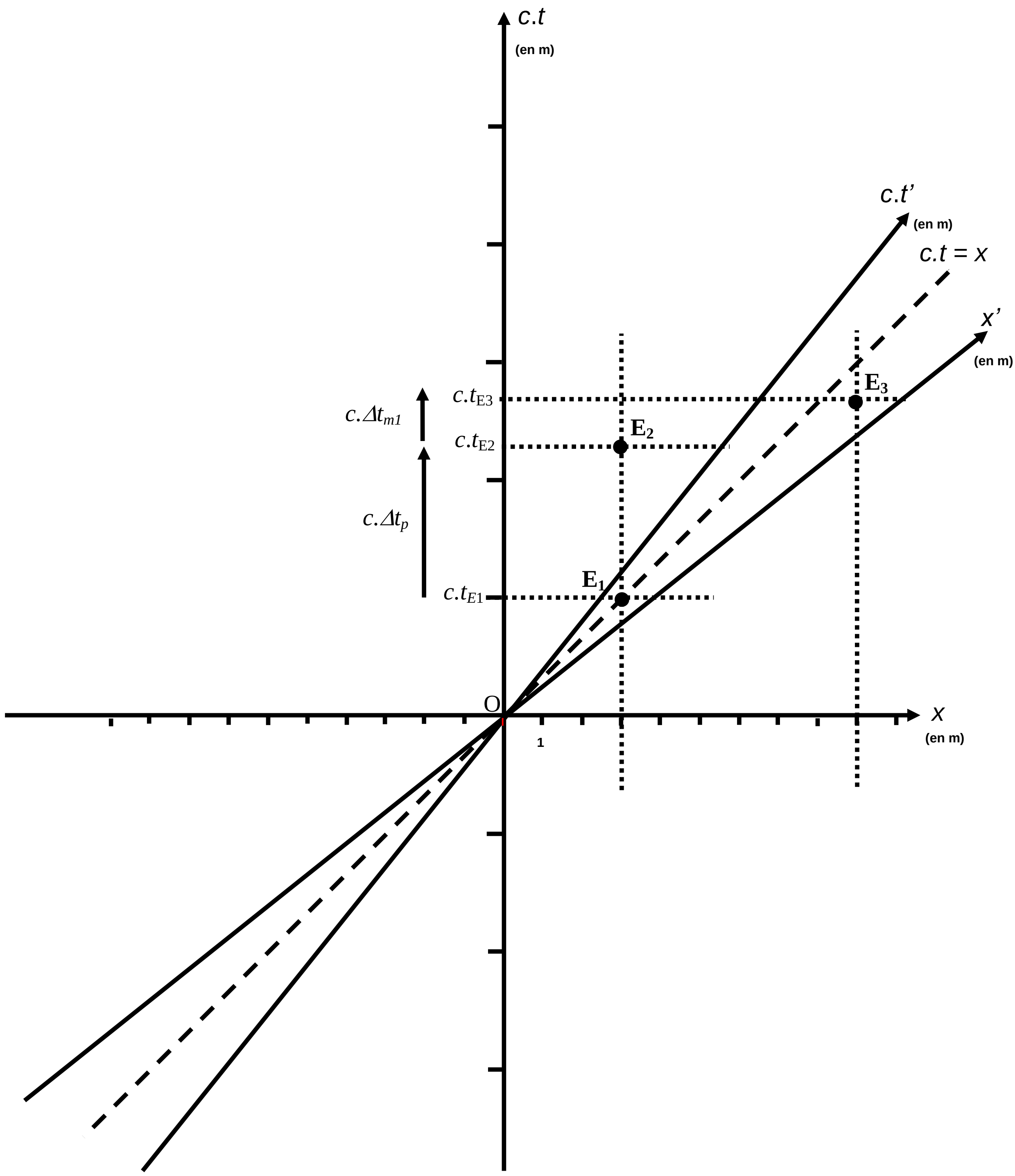
ANALYSER	*S'appuyer sur ses connaissances et savoir-faire et sur les documents proposés pour enrichir l'analyse.*
REALISER	*Utiliser un modèle décrit.*
VALIDER	*Confronter le contenu du document avec ses connaissances et savoir-faire.*

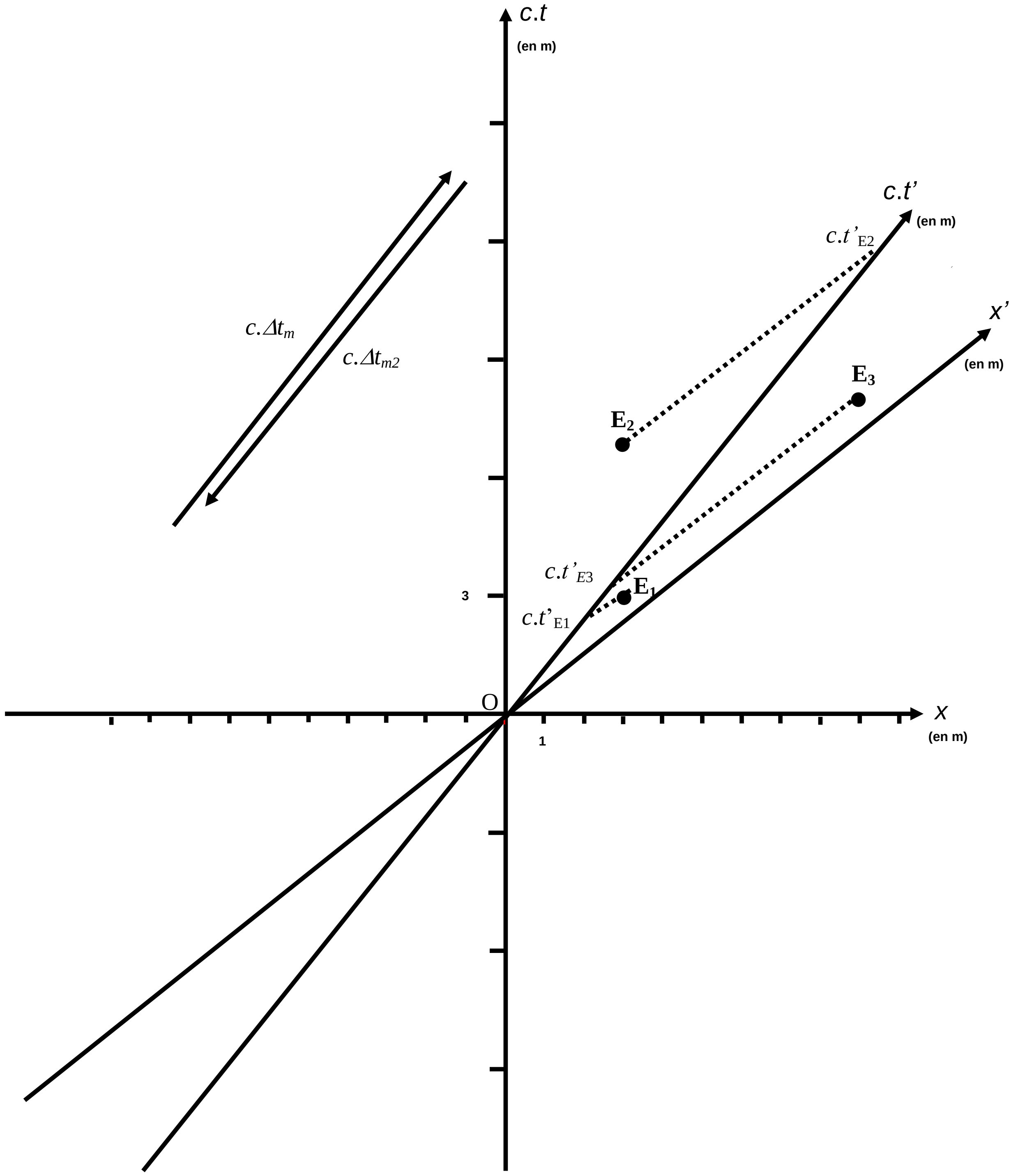
4. Les durées entre les événements E_3 et E_2 ne sont pas des durées propres ni dans le référentiel associé à Daniel ni dans le référentiel associé à Armineh car leurs abscisses ne sont pas identiques. Ce sont des durées impropres, notée par exemple respectivement Δt_{m1} et Δt_{m2}. La relation $\Delta t_m = \gamma.\Delta t_p$ n'est donc plus applicable. De plus Δt_{m1} est positive alors que Δt_{m2} est négative.

5. Les événements E_2 et E_3 ne peuvent pas être reliés par un lien de causalité de type création-désintégration car en fonction des référentiels considérés, une inversion chronologique de ces deux événements est observée (E_2 avant E_3 dans le référentiel terrestre, E_3 avant E_2 dans le référentiel de la particule élémentaire). Les événements E_2 et E_3 ne peuvent donc pas être attribués à la même particule élémentaire. La théorie de la relativité restreinte ne remet pas en cause la relation de causalité entre deux événements.


c.t
(en m)
c.t'
(en m)
c.t = x
x'
(en m)
E3
E2
E1
O
x
(en m)
1
xE1 = xE2
xE3


c.t
(en m)
c.t'
(en m)
x'
(en m)
E3
E2
x'E3
E1
3
O
x'E
x
(en m)
1
x'E


c.t
(en m)
c.t'
(en m)
c.t = x
x'
(en m)
E3
c.tE3
c.Δtm1
E2
c.tE2
c.Δtp
E1
c.tE1
O
x
(en m)
1


c.t
(en m)
c.t'
(en m)
c.t'E2
x'
(en m)
c.Δtm
c.Δtm2
E3
E2
c.t'E3
E1
3
c.t'E1
O
x
1
(en m)

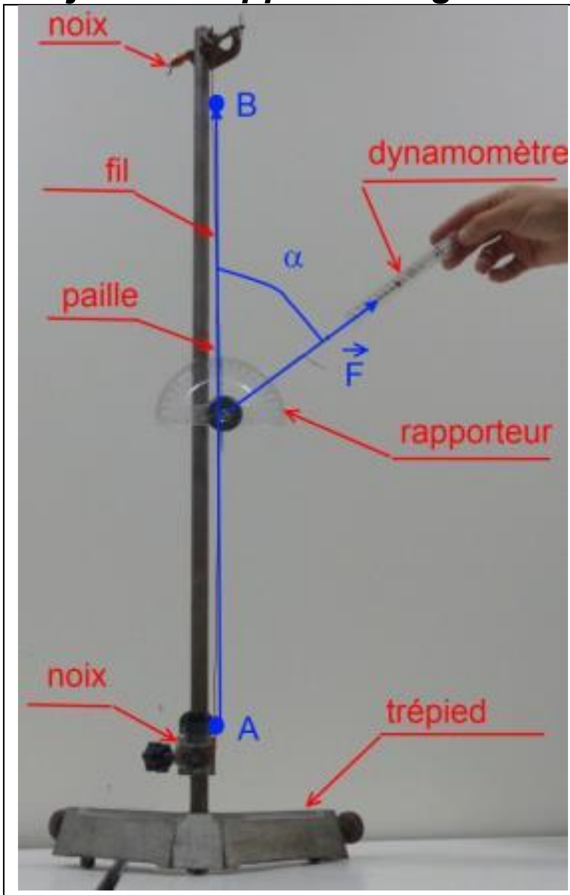
Travail d'une force

Niveau : **terminale S**
Thème en physique-chimie : mécanique

Résumé de l'activité

L'activité propose des manipulations pour illustrer expérimentalement les paramètres intervenant dans les effets d'une force, tout en donnant un sens physique au travail d'une force et au produit scalaire.

Objectifs d'apprentissage



Le produit scalaire est étudié par les élèves en mathématiques en classe de première S. Le concept de travail d'une force est étudié pour la première fois en physique en terminale S. Il s'agit donc de donner du sens au concept mathématique de produit scalaire grâce au concept physique de travail d'une force ($W = \overrightarrow{AB}.\vec{F} = \|\overrightarrow{AB}\|.\|\vec{F}\|.\cos(\alpha)$), dans l'esprit du programme de physique.
Nous proposons un dispositif expérimental simple, réalisable au laboratoire de physique de lycée, qui permet, via une approche quasiment kinesthésique, de prendre conscience expérimentalement du concept de produit scalaire à travers du travail d'une force de traction.
Le dispositif est composé d'un trépied sur lequel est fixé un fil métallique (électrique) qui contraint un mobile (en fait un rapporteur sur lequel sont scotchés une paille et un bouton) à se déplacer verticalement entre les points A et B. L'opérateur tire sur le mobile via un dynamomètre accroché par un fil au rapporteur
Le rapporteur permet d'estimer l'angle α que font les vecteurs déplacement $\overrightarrow{AB}$ et force $\vec{F}$, dont on peut mesurer la norme $\|\vec{F}\|$ grâce au dynamomètre.

Extraits du programme de physique de terminale S

Notions et contenus	**Compétences exigibles**
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).

Bagages mathématiques de l'élève de terminale S

Programme de mathématiques de seconde	**Programme de mathématiques de 1$^{\text{ière}}$ S**	**Programme de mathématiques de terminale S**
Définition du sinus et du cosinus d'un nombre réel.	Cercle trigonométrique. Radian. Mesure d'un angle orienté, mesure principale. Produit scalaire. Applications du produit scalaire : calculs d'angles et de longueurs.	Produit scalaire de deux vecteurs dans l'espace.

Présentation de la séquence

Prérequis nécessaires à la séquence :

Les énergies cinétique, potentielle de pesanteur et mécanique ont été vues.

Séance précédente :

Dans une séance préalable à l'activité présentée, on pourra, par exemple, proposer :

- comme **contextualisation**, une situation déclenchante, celle de la traction d'un bateau le long d'une rive, par exemple par des hommes autour du tableau «Les haleurs de la Volga » d'Illya Repine.

Reproduction du tableau « les haleurs de la Volga » d'Ilya Repine
(dans le domaine public, disponible ici).

- Il s'agira donc d'amener les élèves à faire **un raisonnement préalable**, afin de faire émerger les paramètres pertinents (norme de la force, vecteur déplacement, angle entre la force et le déplacement) grâce à un schéma.
- Enfin, il s'agira d'amener les élèves à dégager la **problématique** avant l'activité qui suit.

Parmi les questions qui doivent se poser, on peut citer : « Comment tirer un objet de la façon la plus efficace possible ? » « Quelle est la grandeur relative à l'énergie dépensée ? » etc.

Séance présentée :

La construction du dispositif nécessite :

- Un trépied
- Deux noix
- Deux mètres de fil électrique
- Un rapporteur
- Une paille
- Du scotch
- Un bouton à coudre et du fil de couture
- Un dynamomètre de 1N maximum.

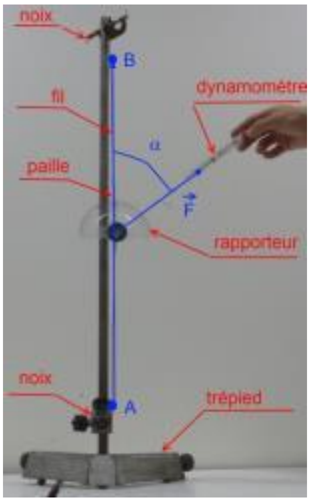
La séance présentée peut durer une demi-heure, la manipulation (présentée sur la vidéo disponible ici) pouvant se faire en quelques minutes. Dans le cas où un unique dispositif a été construit, les élèves peuvent passer à la paillasse du professeur pour faire cette expérimentation par roulement.

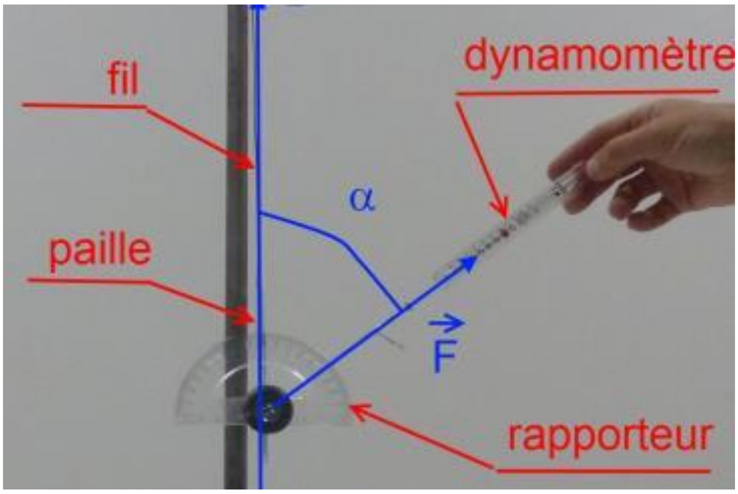
Séances suivantes :

Afin d'achever la séquence, plusieurs pistes sont possibles. Nous proposons en particulier de **revenir sur la contextualisation initiale,** de **proposer plusieurs exemples** afin de déterminer sans calcul si le travail est moteur, résistant ou nul.

Enoncé de l'activité

On dispose d'un système (un rapporteur guidé par une paille et lesté par un bouton) de masse $m = 12g$. Le système est guidé par un fil qui passe dans la paille : il ne peut que se déplacer verticalement, du point A (en bas) jusqu'au point B (en haut).
Une ficelle permet d'accrocher au rapporteur un dynamomètre qui mesure la norme d'une force $\vec{F}$ appliquée au système.
On note α l'angle entre les vecteurs $\vec{F}$ et $\overrightarrow{AB}$. Cet angle α se lit directement sur le rapporteur :





On cherche à savoir si la force à exercer sur le système pour le faire monter de A à B dépend de l'angle α.

1) Etude théorique

a) Mesurer la longueur AB dont peut monter un point du rapporteur le long du fil.

b) En déduire la valeur numérique de la différence d'énergie potentielle de pesanteur $\Delta_{A \to B} E_{pp}$ du système $\{$rapporteur + paille + bouton$\}$ lorsqu'il se déplace de A jusqu'en B. On prendra pour le champ de pesanteur $g = 9{,}81 N/kg$.

c) Appliquer le théorème de l'énergie mécanique pour trouver la valeur de la somme des travaux des forces lorsque le système se déplace de A jusqu'en B (il part et arrive avec une vitesse nulle).

d) Rappeler la définition du travail W de la force $\vec{F}$ pour déplacer le système de A jusqu'en B.

On supposera que cette force est constante lors du déplacement du système.

e) Exprimer W en fonction de AB, $\|\vec{F}\|$ et α, l'angle entre $\overrightarrow{AB}$ et $\vec{F}$.

2) Etude expérimentale

En tirant doucement sur le dynamomètre accroché à la ficelle faisant un angle α par rapport à la verticale, on peut lire sur ce dynamomètre la norme $\|\vec{F}\|$ de la force nécessaire pour faire monter le rapporteur.

a) Peut-on déplacer le rapporteur si on le tire perpendiculairement à la direction $\overrightarrow{AB}$? Est-ce cohérent avec les résultats théoriques ?

b) Quelle est la valeur de l'angle α qui rend la norme $\|\vec{F}\|$ de la force minimale pour faire monter le rapporteur ? Est-ce cohérent avec les résultats théoriques ?

Exemple de correction de l'activité

1) Etude théorique

a) On mesure $\left\|\overrightarrow{AB}\right\| = 70cm$.

b) La différence d'énergie potentielle de pesanteur est $\Delta_{A\to B}E_{pp} = m.g.(z_B - z_A) = m.g.\left\|\overrightarrow{AB}\right\| = 12\times10^{-3}\times9{,}81\times70\times10^{-2} = 0{,}082J$.

c) Le théorème de l'énergie mécanique s'écrit : $\Delta_{A\to B}E_c + \Delta_{A\to B}E_{pp} = W$ et se simplifie puisque les vitesses initiale et finale sont nulles en $W = \Delta_{A\to B}E_{pp} = 82mJ$.

d) La définition du travail W de la force $\vec{F}$ pour déplacer le système de A jusqu'en B est $W = \overrightarrow{AB}.\vec{F}$.

e) Soit $W = \left\|\overrightarrow{AB}\right\|.\left\|\vec{F}\right\|.\cos(\alpha)$.

2) Etude expérimentale

a) Si on tire le système perpendiculairement à $\overrightarrow{AB}$, $\alpha = 90°$ donc $W = \left\|\overrightarrow{AB}\right\|.\left\|\vec{F}\right\|.\cos(\alpha) = 0$. Le travail étant nul, on ne peut faire monter le système, ce dont on se rend compte expérimentalement.

b) On s'aperçoit expérimentalement que la valeur de l'angle α qui rend la norme $\left\|\vec{F}\right\|$ de la force minimale pour faire monter le rapporteur est $\alpha = 0$. Ceci est cohérent avec les résultats théoriques car pour que $\left\|\vec{F}\right\|$ soit minimal, il faut que $\dfrac{W}{\left\|\overrightarrow{AB}\right\|.\cos(\alpha)}$ soit minimal, donc que $\cos(\alpha)$ soit maximal, c'est-à-dire égal à 1. Or $\cos(\alpha) = 1$ si α est nul.

Éclairement et nombre d’ouverture

Niveau : **première STL – SPCL, module « Image »**
Thème : Image photographique

Résumé de l’activité :

L’objectif de cette activité est « *d’établir expérimentalement la relation entre l’éclairement et le nombre d’ouverture* » d'un appareil photographique. Cette étude sera l'occasion de faire prendre conscience aux élèves que toutes les grandeurs ne sont pas reliées par des relations de proportionnalité. Les notions de proportionnalité et de non proportionnalité, qui font parties intégrantes des programmes de collège et de lycée en mathématiques et en sciences-physiques, posent des difficultés aux élèves. Ainsi, quand on demande aux élèves de collège et de lycée comment évoluent deux grandeurs, les réponses sont souvent vagues. Yves Chevallard, didacticien des mathématiques, montre dans *Les mathématiques à l'école : pour une révolution épistémologique et didactique (Bulletin de l'APMEP (471), 439-461.54)* le flou dans l'utilisation des mots *proportionnel* et *exponentiel* chez certains élèves. La multiplication du nombre de situations de proportionnalités étudiées en sciences-physiques n'aurait-elle pas tendance à induire chez les élèves la **conception erronée** selon laquelle *« lorsque l'augmentation d'une grandeur A entraîne l'augmentation d'une grandeur B, alors on peut affirmer que ces deux grandeurs, A et B, sont reliées par une relation de proportionnalité » ?*

Programme de physique-chimie :

Extrait du programme de spécialité SPCL en $1^{ère}$ STL - Module « image », thème Image photographique, paru au Bulletin officiel spécial n°3 du 17 mars 2011 :

Notions et contenus	**Capacités**
Appareil photographique numérique : mise au point, ouverture, temps de pose.	Illustrer expérimentalement le principe de mise au point automatique. Associer l'éclairement et l'énergie reçus au nombre d'ouverture et au temps de pose. Etablir expérimentalement la relation entre l'éclairement et le nombre d'ouverture.

Les programmes de mathématiques associés :

Extraits du programme de mathématiques de la classe de seconde paru au Bulletin officiel n°30 du 23 juillet 2009 :

CONTENUS	CAPACITÉS ATTENDUES	COMMENTAIRES
Fonctions Image, antécédent, courbe représentative.	• Traduire le lien entre deux quantités par une formule. Pour une fonction définie par une courbe, un tableau de données ou une formule : • identifier la variable et, éventuellement, l’ensemble de définition ; • déterminer l’image d’un nombre ; • rechercher des antécédents d’un nombre.	Les fonctions abordées sont généralement des fonctions numériques d’une variable réelle pour lesquelles l’ensemble de définition est donné. Quelques exemples de fonctions définies sur un ensemble fini ou sur **N**, voire de fonctions de deux variables (aire en fonction des dimensions) sont à donner.

Étude qualitative de fonctions Fonction croissante, fonction décroissante ; maximum, minimum d'une fonction sur un intervalle.	• Décrire, avec un vocabulaire adapté ou un tableau de variations, le comportement d'une fonction définie par une courbe. • Dessiner une représentation graphique compatible avec un tableau de variations.	Les élèves doivent distinguer les courbes pour lesquelles l'information sur les variations est exhaustive, de celles obtenues sur un écran graphique.
Fonctions de référence Fonctions linéaires et fonctions affines Variations de la fonction carré, de la fonction inverse.	• Donner le sens de variation d'une fonction affine. • Donner le tableau de signes de $ax + b$ pour des valeurs numériques données de a et b. • Connaître les variations des fonctions carré et inverse. • Représenter graphiquement les fonctions carré et inverse.	On fait le lien entre le signe de $ax + b$, le sens de variation de la fonction et sa courbe représentative. Exemples de non-linéarité. En particulier, faire remarquer que les fonctions carré et inverse ne sont pas linéaires.

Extrait du programme de mathématiques de la classe de 1ère des séries STI2D et STL paru au Bulletin officiel spécial n° 3 du 17 mars 2011 :

Lien entre signe de la dérivée et sens de variation. Extremum d'une fonction.	- Exploiter le tableau de variation d'une fonction f pour obtenir : - un éventuel extremum de f ; - le signe de f ; - le nombre de solutions d'une équation du type $f(x)=k$.	Pour les fonctions étudiées, le tableau de variation est un outil pertinent pour localiser la ou les solutions éventuelles de l'équation $f(x)=k$. Cette partie du programme se prête particulièrement à l'étude de situations issues des autres disciplines.

On constate à la lecture de ces référentiels que les notions nécessaires à l'analyse et à la modélisation de l'évolution de deux grandeurs physiques sont travaillées en classe de 2de et approfondies en classe de 1ère STL. Un travail commun entre les enseignants de mathématiques et de physique-chimie sur la notion de *sens de variation de fonction*, aussi bien au niveau verbal , en ce qui concerne le vocabulaire, qu'au niveau des registres algébrique et graphique, est encouragé.

Présentation de la séquence

La séquence proposée s'inscrit dans le cadre du thème *Image photographique* du module « Image » de la spécialité SPCL de la classe de 1ère STL.

- Une approche historique peut être proposée en introduction sous forme de recherche documentaire ou d'activité expérimentale autour du *sténopé* et de la *chambre noire*. Cette séance est l'occasion de retravailler les notions de *propagation rectiligne de la lumière* et du modèle du *rayon lumineux* tout en introduisant la notion de *grandissement.*
- Dans un second temps, l'étude expérimentale de la formation des images par les lentilles convergentes permet de faire émerger les *propriétés des images optiques* en s'appuyant sur les *règles de tracés des rayons lumineux*, *la relation de conjugaison* et *la formule de grandissement*.
- Une concertation avec le professeur qui assure l'enseignement de tronc commun semble judicieuse afin que les grandeurs photométriques de *flux lumineux* et d'*éclairement* puissent être définies et étudiées en amont de l'activité proposée.

Séance précédant l'activité

- Afin d'étudier la structure d'un appareil photographique, une séance de « démontage » d'appareils photographiques jetables usagés ou une recherche documentaire peuvent être menées. Les élèves sont ainsi amenés à identifier et nommer les différents éléments constitutifs d'un appareil photographique et à s'interroger sur leur nature et leur fonction.
- Des réalisations de photographies (sans flash) dans des conditions d'éclairement faible peuvent être proposées : les photographies obtenues sont sous-exposées.

Cette séance permet de dégager la **problématique** suivante : ***« Comment obtenir une photographie convenablement exposée dans des conditions d'éclairement faible ? »***

- Une discussion avec les élèves doit leur permettre de proposer différentes hypothèses pour répondre à cette question.

Les différents paramètres qui influencent la luminosité de l'image doivent émerger de cette discussion : le *temps d'exposition ou temps de* pose, le *diamètre du diaphragme* et éventuellement la *sensibilité du capteur.*

Déroulement de l'activité proposée

Cette activité expérimentale est prévue sur une séance de deux heures de travaux pratiques. Les élèves réalisent cette activité en binôme.
Cette séance peut éventuellement être complétée par une étude des incertitudes liées à la mesure de l'éclairement *E* dans le cadre du cours de *Mesure et instrumentation*.

Cette activité a été testée lors d'une séance de TP de deux heures avec deux groupes de 12 élèves de 1ère STL – SPCL.

- Partie 1 : dans cette étude préliminaire, les élèves sont amenés à formuler avant manipulation une hypothèse sur l'évolution de l'éclairement en fonction du diamètre du diaphragme de l'appareil photographique. L'analyse des documents 1 et 2 doit leur permettre d'énoncer que plus le diamètre du diaphragme augmente et plus l'éclairement reçu augmente.
  La seconde question vise à pointer une difficulté langagière de taille. En effet, le terme « *ouverture* » utilisé pour nommer le *nombre d'ouverture* N qui caractérise l'objectif de l'appareil photographique constitue un obstacle. Une majorité d'élèves associent implicitement de façon erronée, mais non sans une certaine logique, ce nombre « *d'ouverture* » à la dimension physique de l'ouverture du diaphragme. Ils développent alors l'idée préconçue selon laquelle l'éclairement reçu par le capteur augmente lorsque le nombre d'ouverture augmente.

- Partie 2 : dans cette partie, les élèves réalisent des mesures expérimentales de l'éclairement *E* reçu par un luxmètre placé dans le plan focal image d'un objectif d'appareil photographique pour différentes valeurs du nombre d'ouverture N. Le calcul du diamètre associé au nombre d'ouverture *N* peut représenter une difficulté pour les élèves. Le choix est fait de ne pas exiger des élèves ce calcul dans le cadre de cette séance expérimentale afin de se concentrer sur la partie modélisation.

- Partie 2.1 : les élèves confrontent les prédictions de l'étude préliminaire à leur série de mesures expérimentales. Le calcul du rapport *E/N* pour chacun des couples (*E,N*) aboutit à un coefficient différent. Ceci permet d'écarter une relation de proportionnalité entre *E* et *N*.
  Ce résultat permet, par la suite, de ne conserver parmi les quatre modèles proposés que ceux qui rendent compte de cette évolution. Afin d'aider les élèves à repérer que les quatre modèles proposés sont du point de vue mathématique des fonctions, la notation *E(N)* a été retenue pour faire écho à la notation f(x) utilisée en mathématiques.

- Parties 2.2. et 2.3. : l'exploitation de deux représentations graphiques à l'aide d'un tableur-grapheur permet d'exclure une relation de proportionnalité entre *E* et *1/N* et de valider une relation de proportionnalité entre *E* et $1/N^2$.

- Partie 3 : utilisation prédictive du modèle $E(N) = k \times \frac{1}{N^2}$ et confrontation du résultat à la mesure expérimentale.

Nature du document étudié

Il s'agit de trois documents qui apportent des informations aux élèves.

Le document 1 rappelle la constitution et le rôle du diaphragme présent à l'intérieur de l'objectif d'un appareil photographique. Il définit le nombre d'ouverture N par la relation mathématiques $N = \frac{f'}{D}$ et explicite qu'à focale *f'* constante les évolutions de *N* et *D* sont inverses l'une de l'autre : « *plus le diamètre D du diaphragme est grand et plus le nombre d'ouverture N est petit* ».

Le document 2 présente le luxmètre et les grandeurs photométriques flux lumineux et éclairement. Ces grandeurs sont au programme de l'enseignement de physique-chimie du tronc commun de 1ère STI2D – STL ainsi qu'à celui de la spécialité SPCL.

Le document 3 sert de support et d'aides mathématiques pour les élèves en leur rappelant comment identifier une situation de proportionnalité ou de non proportionnalité, d'une part à partir d'un tableau de valeurs et d'autre à partir de représentations graphiques.

Compétences travaillées lors de l'activité

Physique			Mathématiques
Compétences travaillées	**Capacités travaillées**		**Capacités mises en œuvre**
S'APProprier	Étudier les documents et en extraire les informations nécessaires.		
REAliser	Former l'image d'un objet lumineux donnée par un objectif photographique sur un écran		
REAliser	Mesurer l'éclairement lumineux à l'aide d'un luxmètre		
ANAlyser	Analyser plusieurs modèles proposés		Décrire avec un vocabulaire adapté ou un tableau de variation le comportement d'une fonction décrit par une courbe Connaître les variations des fonctions carrée et inverse Représenter graphiquement les fonctions carré et inverse
ANAlyser / VALider	Établir expérimentalement la relation entre l'éclairement et le nombre d'ouverture		Traduire le lien entre de quantités par une formule
VALider	Exploitation prédictive d'un modèle		

Séances suivantes

Plusieurs pistes de travail peuvent être envisagées à l'issue de cette séance :

- Étude de l'influence du *nombre d'ouverture* sur la *profondeur de champ* de l'image activité expérimentale sur banc d'optique).
- Étude de l'influence de la *durée d'exposition* sur la luminosité de l'image (activité expérimentale avec appareils photographiques).

L'ensemble des études expérimentales menées au cours de cette séquence doit amener les élèves à faire émerger la nécessité du compromis à réaliser entre *temps de pose* et *nombre d'ouverture* selon le type de photographie souhaité (profondeur de champ faible ou élevée). Un second compromis sera à faire, en éclairage faible, entre un ISO élevé (qui entraînera une image fortement bruitée) et un temps de pose élevé (qui entraînera un *effet de bouger* si le sujet de la prise de vue est en mouvement). Le recours au flash pourra alors être discuté.

Enoncé de l’activité

Quelle relation entre le diamètre du diaphragme et l’éclairement sur le capteur CCD ?

1. <u>Étude préliminaire</u>

a. A l'aide des documents prévoir comment évolue l'éclairement *E* reçu par le capteur CCD d'un appareil photographique lorsque le diamètre du diaphragme *D* augmente.

b. En déduire comment évolue l'éclairement *E* reçu par le capteur CCD lorsque le nombre d'ouverture *N* du diaphragme augmente.

2. <u>Étude expérimentale</u>

Former sur un écran l’image d’un objet lumineux diffusant donnée par l’objectif de l’appareil photographique ($f' = 210$ mm).

Afin de mesurer l’éclairement *E* reçu, remplacer l’écran par un luxmètre et veiller à ce que l’image soit reçue par la surface sensible de celui-ci.

Pour les différentes valeurs de nombre d’ouverture *N* mesurer l’éclairement *E* reçu par le capteur. Regrouper les mesures effectuées dans le tableau suivant :

Nombre d'ouverture *N* (sans unité)	5,6	11	16	22	32
Diamètre du diaphragme *D* (en mm)	38	19	13	9,5	6,6
Éclairement *E* (en lx)					

2.1 Exploitation des résultats

a. En analysant les mesures expérimentales, expliquer en quelques mots comment évolue l'éclairement *E* reçu par le capteur lorsque l'on modifie le nombre d'ouverture *N* de l'objectif photographique.

b. Ces observations sont-elles en accord avec les prédictions de l'étude préliminaire ?

c. En analysant le tableau de valeurs précédent, peut-on affirmer qu'il existe une relation de proportionnalité entre l'éclairement *E* le nombre d'ouverture *N* ? Argumenter votre réponse en vous appuyant sur le document 3.

d. En déduire, parmi les relations suivantes, celles qui restent compatibles avec les observations expérimentales précédentes (k est une constante positive) :

☐ $E(N) = k \times N$ ☐ $E(N) = k \times \dfrac{1}{N}$ ☐ $E(N) = k \times \dfrac{1}{N^2}$ ☐ $E(N) = k \times N^2$

2.2. Recherche d'une modélisation de l'évolution de *E*(*N*)

Proposer une méthode graphique permettant de choisir parmi les expressions compatibles le modèle le mieux adapté à la modélisation de *E*(*N*).

3. Conclusion

a. Parmi l'ensemble des relations proposées, laquelle est compatible avec l'étude expérimentale ?

b. Préciser la valeur du coefficient k pour le modèle choisi (préciser son unité).

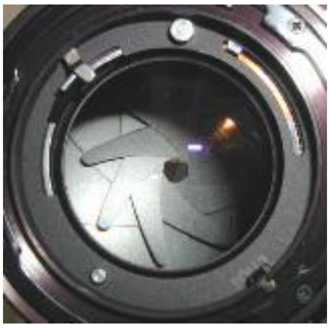
c. A l'aide de votre calculatrice, déterminer la valeur de l'éclairement $E_{\text{modèle}}$ prédit par ce modèle pour un nombre d'ouverture de $N = 8{,}0$.

d. A l'aide du luxmètre, mesurer la valeur de l'éclairement $E_{\text{expérimental}}$ reçu par le capteur pour un nombre d'ouverture $N = 8{,}0$. Cette valeur expérimentale est-elle compatible avec la valeur précédente ?

Documents

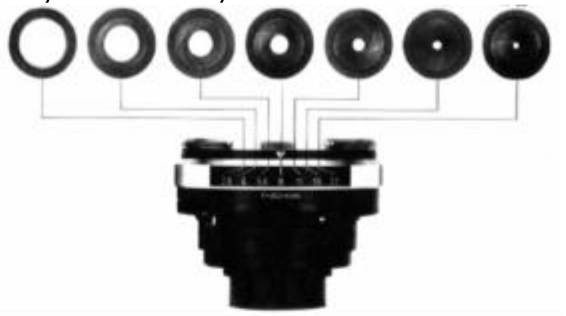
Document 1 – Le diaphragme de l'appareil photographique

Le diaphragme est une ouverture circulaire qui laisse entrer plus ou moins de lumière dans un appareil photographique. C'est un écran métallique percé d'un **trou circulaire de diamètre D** variable (voir photographie ci-contre).
Le diaphragme est caractérisé par son **ouverture numérique** également appelé **nombre d'ouverture N** : $N = \frac{f'}{D}$
avec : f ' la focale de l'objectif et D le diamètre d'ouverture du diaphragme. N est sans unité.



Plus le diamètre D du diaphragme est grand et plus le nombre d'ouverture N est petit :

N=2,6 N=4 N=5,6 N=8 N=11 N=16 N=22

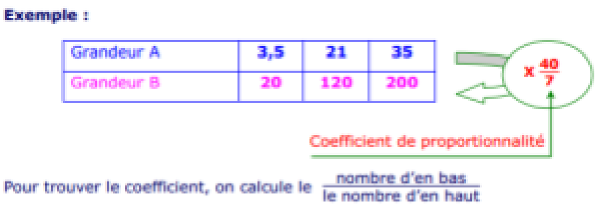


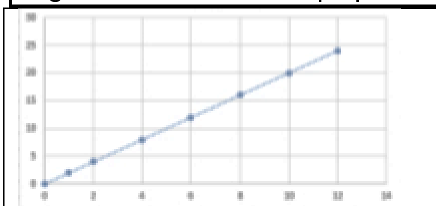
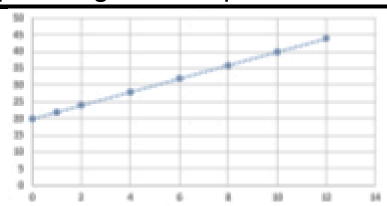
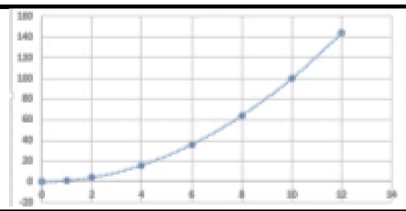
Document 2 – L'éclairement d'une surface

L'éclairement E d'une surface S correspond au flux lumineux Φ qu'elle reçoit par unité de surface : $E = \frac{\Phi}{S}$ avec E en lux (lx), Φ en lumen (lm) et S en mètre carré (m²)
L'éclairement reçu par une surface se mesure avec un luxmètre muni d'une cellule photoélectrique.

Document 3 – Relation de proportionnalité

Deux grandeurs dans un tableau sont proportionnelles s'il est possible de passer de l'une à l'autre en multipliant par un même nombre appelé coefficient de proportionnalité.
Une situation de proportionnalité est représentée graphiquement par des points alignés sur une droite qui passe par l'origine du repère :



		
Relation de proportionnalité (fonction linéaire)	Relation de NON proportionnalité (fonction affine)	Relation de NON proportionnalité (fonction ni affine ni linéaire)

Éléments de correction pour le professeur

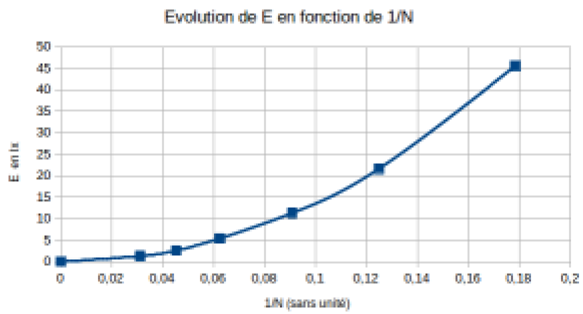
Exploitation des résultats

Nombre d'ouverture ***N* (sans unité)**	5,6	11	16	22	32
Diamètre du diaphragme ***D* (en mm)**	38	19	13	9,5	6,6
Éclairement ***E* (en lx)**	45,5	11,3	5,4	2,6	1,3
Rapport E/N ***(en lx)***	*8,13*	*1,03*	*0,34*	*0,12*	*0,04*
Le rapport E/N n'est pas constant donc il n'y a pas de relation de proportionnalité entre E et N					

eules les relations $E(N) = k \times \dfrac{1}{N}$ et $E(N) = k \times \dfrac{1}{N^2}$ sont compatibles avec les observations expérimentales : elles rendent compte de l'augmentation de E lorsque N diminue.

Modélisation : E en fonction de 1/N

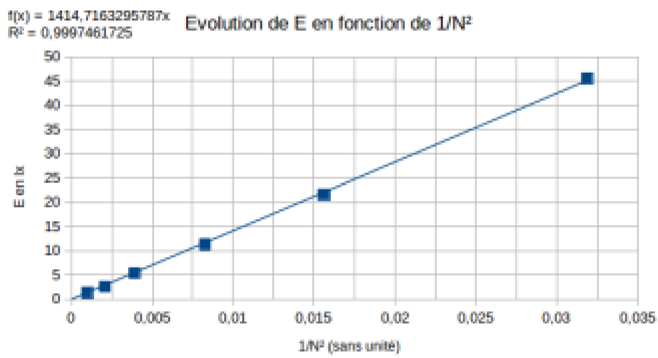
La courbe représentative de l'évolution de l'éclairement E en fonction de 1/N n'est pas caractéristique d'une fonction linéaire, il n'y a donc pas de relation de proportionnalité entre E et 1/N.



Une autre modélisation : E en fonction de 1/N²

La courbe représentative de l'évolution de l'éclairement E en fonction de $1/N^2$ est une droite passant par zéro : caractéristique d'une fonction linéaire. Il existe donc une relation de proportionnalité entre E et $1/N^2$.

Équation de la droite : $E(N) = 1{,}4.10^3 \times \dfrac{1}{N^2}$



Conclusion

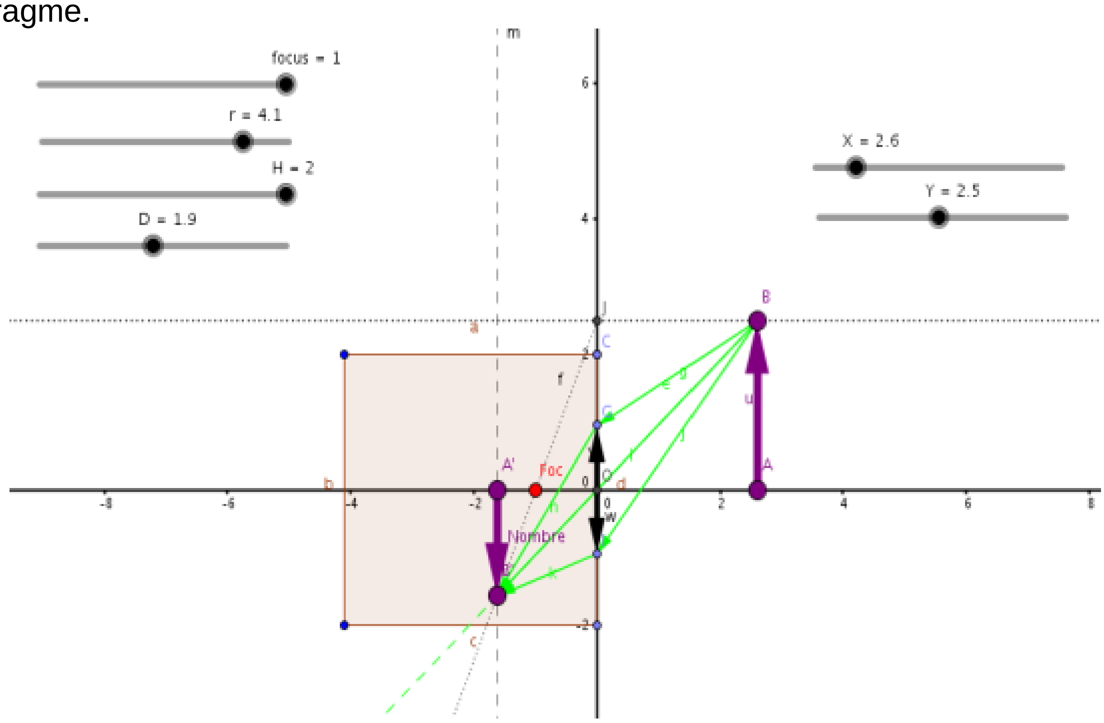
Prédiction du modèle pour N<i=8,0 : $E_{\text{modèle}}$ = 22,1 lx

Mesure de *E* pour *N* = 8,0 : $E_{\text{expérimental}}$ = 21,6 lx

Aides

1. L'appareil photographique : constitution, principe de fonctionnement et rôle du diaphragme

Pour les élèves pour qui la compréhension du principe d'un appareil photographique n'est pas acquise, l'utilisation du fichier *GeoGebra* suivant peut les aider à répondre aux questions de la partie préliminaire de l'activité. Cette simulation permet en effet d'étudier, entre autres, l'influence de la distance focale de l'objectif ainsi que celle du diamètre *D* du diaphragme.



Ce fichier est téléchargeable à l'adresse: https://www.geogebra.org/m/184469

2. Analyse des quatre modèles proposés

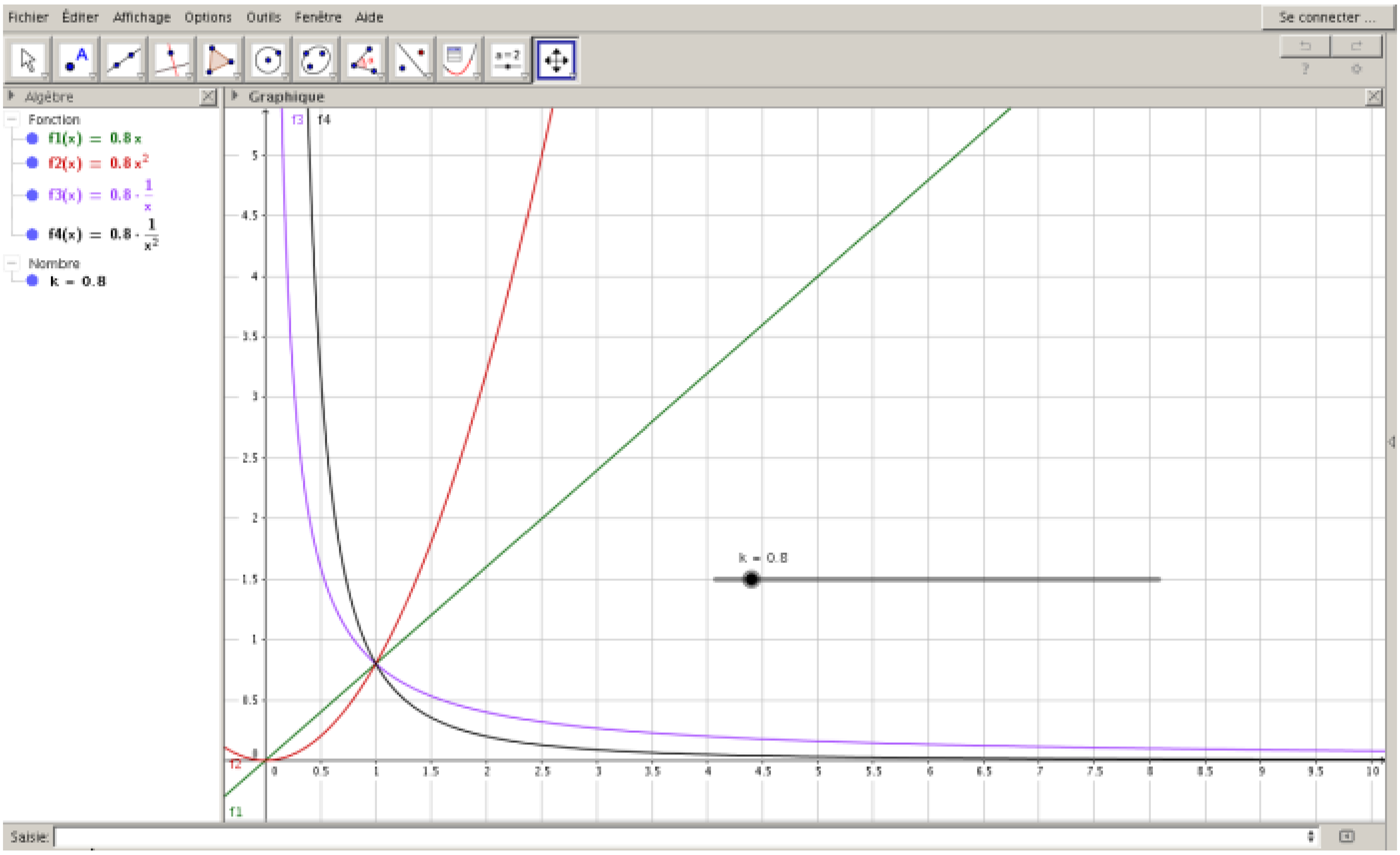
$$E(N) = k \times N \qquad E(N) = k \times \frac{1}{N} \qquad E(N) = k \times \frac{1}{N^2} \qquad E(N) = k \times N^2$$

Donner du sens à ces quatre relations n'est pas facile pour les élèves de 1ère STL. Afin de pouvoir répondre à la question 2.1.d., les élèves doivent déterminer le **sens de variation** de chacune de ses fonctions. Hors, le programme de seconde ne semble pas exiger des élèves de savoir donner le sens de variation d'une fonction qui n'est définie qu'à partir d'une courbe. Les fonctions *inverse* et *carrée* sont étudiées en classe de seconde. Ce n'est qu'en classe de 1ère que la notion de dérivée d'une fonction est étudiée.

Une première aide consiste à « *traduire* » en langage mathématiques chacun des modèles proposés afin d'expliciter leur lien direct avec les études de fonctions réalisées en mathématiques :

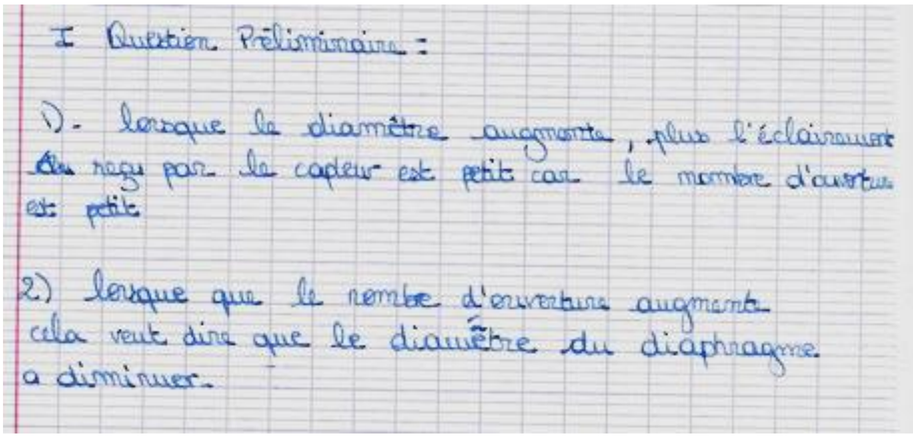
$$f(x) = k \times x \qquad f(x) = k \times \frac{1}{x} \qquad f(x) = k \times \frac{1}{x^2} \qquad f(x) = k \times x^2$$

Il peut être également très efficace de demander aux élèves, moins à l'aise avec le registre algébrique formel, d'étudier le sens de variation de ces fonctions à partir d'une représentation graphique. Le logiciel *GeoGebra* permet ainsi de tracer les représentations graphiques de ces fonctions. L'utilisation d'un curseur pour la constante positive k permettra d'étudier l'influence de sa valeur sur l'allure des courbes obtenues :



Exemples de productions d'élèves

1. Étude préliminaire



I Question Préliminaire :

1). lorsque le diamètre augmente, plus l'éclairement Eu reçu par le capteur est petit car le nombre d'ouverture est petit

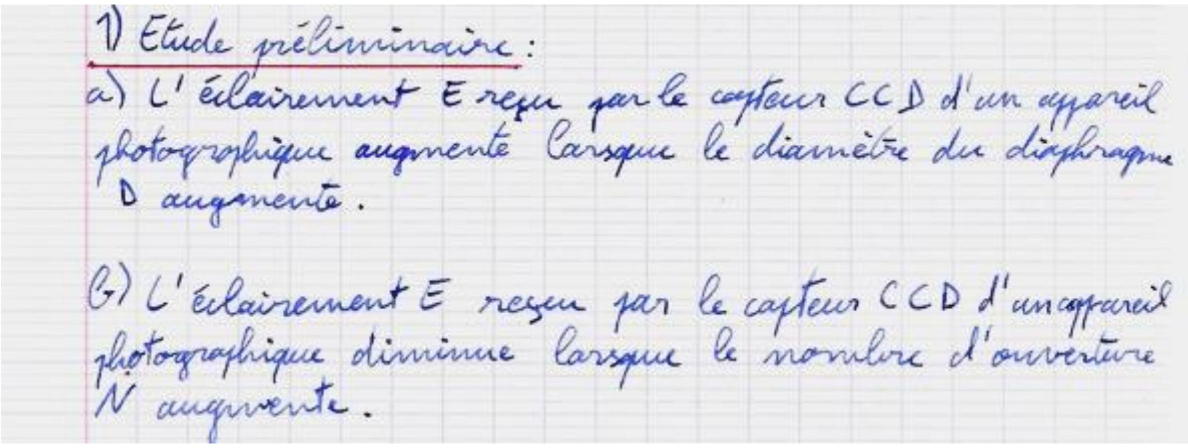
2) lorsque que le nombre d'ouverture augmente cela veut dire que le diamètre du diaphragme a diminuer.

On remarque que :

- pour ce binôme l'expression écrite et l'usage des liens logiques ne sont pas encore correctement maîtrisés ;
- pour ce binôme, le nombre *d'**ouverture*** est implicitement associé à la taille de l'**ouverture** circulaire qui laisse entrer la lumière dans l'appareil photographique. La définition du nombre d'ouverture donnée par le document 1 n'a pas à ce stade encore pris tout son sens. Pour ces élèves, si le nombre d'ouverture est grand l'éclairement reçu par le capteur après la traversée de l'objectif sera grand.

En revanche :

- La réponse à la question 2 montre que ce binôme a bien pris en compte l'évolution inverse de *D* et de *N*. La réponse proposée est erronée mais cohérente avec la réponse à la question 1.



1) Etude préliminaire :

a) L'éclairement E reçu par le capteur CCD d'un appareil photographique augmente Lorsque le diamètre du diaphragme D augmente.

b) L'éclairement E reçu par le capteur CCD d'un appareil photographique diminue Lorsque le nombre d'ouverture N augmente.

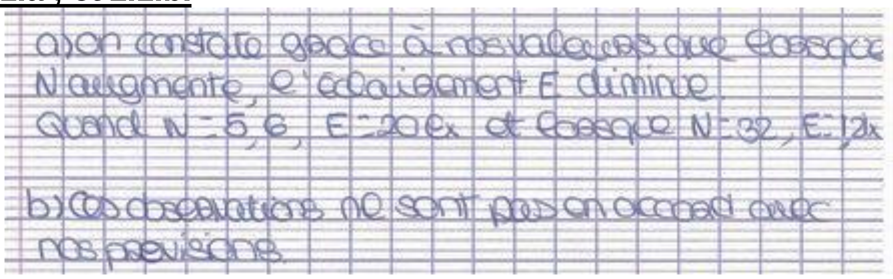
On remarque que pour ce binôme les réponses proposées sont correctes. Les paramètres *D* et *N* ont pris du sens pour ces élèves.

2. Étude expérimentale

La mise en place du dispositif expérimental et la réalisation de la série de mesures ne posent pas de difficulté particulière pour ces élèves de la voie technologique dans la mesure où les élèves ont déjà étudié, en début d'année, la formation des images par les systèmes optiques. Les compétences expérimentales associées sont maîtrisées.

2.1. Exploitation des résultats

Questions 2.1.a ; et 2.1.b.

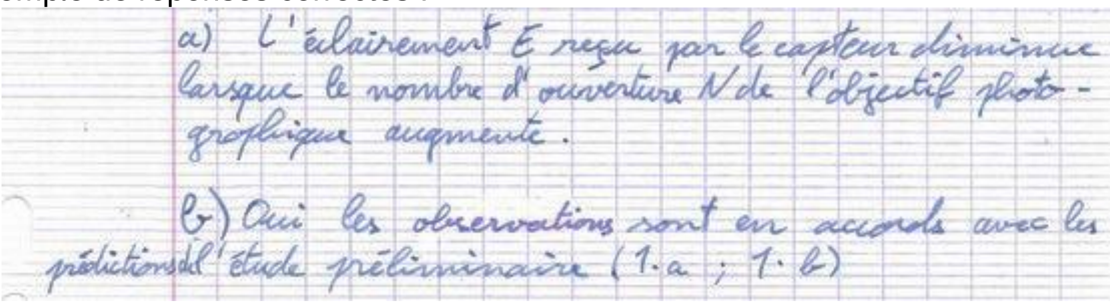

a) on constate grâce à nos valeurs que lorsque N augmente, l'éclairement E diminue. Quand N = 5,6, E = 20 lx et lorsque N = 32, E = 12 lx

b) ces observations ne sont pas en accord avec nos prévisions.

On remarque que :

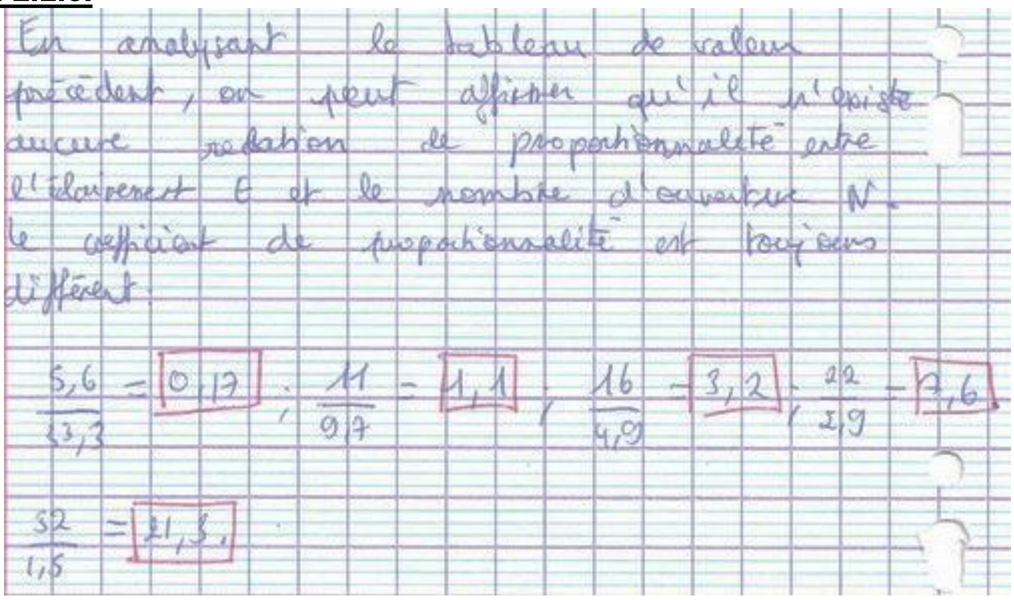
- les mesures effectuées par ce binôme et leur interprétation sont correctes. La question b. permet de confronter leur prédiction à la mesure expérimentale. Ce *conflit* permet aux élèves de revenir sur leur prédiction et de prendre conscience que la notion de nombre d'ouverture n'avait pas été initialement correctement comprise.

Un exemple de réponses correctes :


a) L'éclairement E reçu par le capteur diminue lorsque le nombre d'ouverture N de l'objectif photographique augmente.

b) Oui les observations sont en accords avec les prédictions de l'étude préliminaire (1.a ; 1.b)

Question 2.1.c.


En analysant le tableau de valeur précédent, on peut affirmer qu'il n'existe aucune relation de proportionnalité entre l'éclairement E et le nombre d'ouverture N. le coefficient de proportionnalité est toujours différent.

$\frac{5,6}{33,3} = \boxed{0,17}$; $\frac{11}{9,7} = \boxed{1,1}$; $\frac{16}{4,9} = \boxed{3,2}$; $\frac{22}{2,9} = \boxed{7,6}$

$\frac{32}{1,5} = \boxed{21,3}$

L'utilisation des informations données dans le document 3 a permis à la plupart des élèves de répondre convenablement à cette question. Les rapports N/E ou N/E étant suffisamment différents les uns des autres pour affirmer sans difficulté qu'ils ne sont pas constants. La relation de proportionnalité entre *E* et *N* est écartée par l'ensemble des élèves au cours de l'analyse de ce tableau de valeurs. On peut toutefois regretter sur cette copie l'absence d'unité pour le rapport *N/E.*

La formulation de la dernière phrase n’est pas rigoureuse (dans la mesure où il n’existe pas de coefficient de proportionnalité), mais les élèves ont globalement compris la démarche.

Question 2.1.d.

Cette question a posé des difficultés à la majorité des élèves qui ont testé cette activité. En effet, il est apparu lors de l'expérimentation que les élèves de 1ère STL rencontrent des difficultés à faire le lien entre l'expression algébrique de la fonction $E(N)$ et son sens de variation.

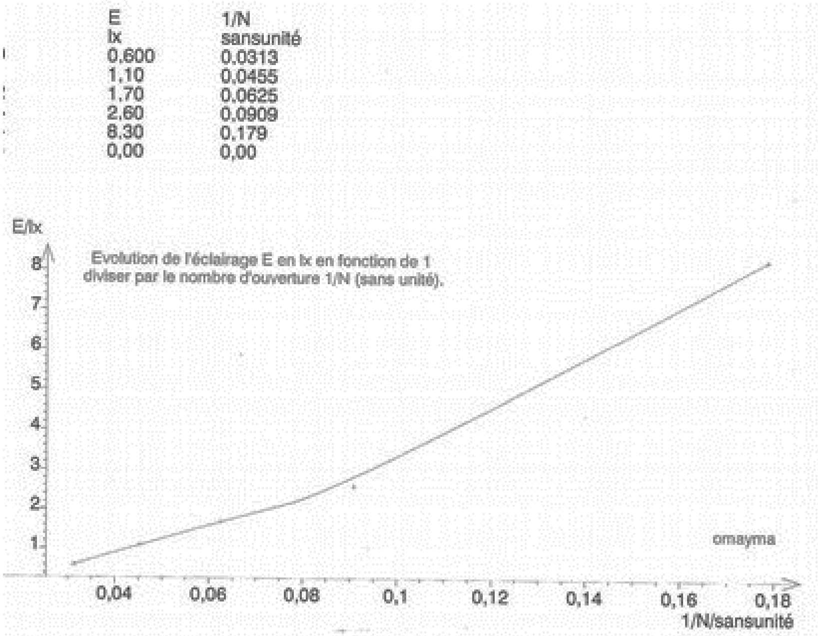
Ainsi, les élèves qui décrivent correctement par écrit ou à l'oral le sens de variation de $E(N)$ sont peu nombreux à sélectionner une expression algébrique convenable.

Le passage par le registre graphique semble constituer une aide efficace pour surmonter cette difficulté. Le recours à un logiciel comme Ombrage pour tracer les courbes représentatives des quatre fonctions *E*(<<i) proposées permet de donner davantage de sens à ces relations et constitue une étape visuelle intermédiaire importante dans la progression.

2.2. Recherche d'un modèle

Modélisation : E en fonction de $1/N$

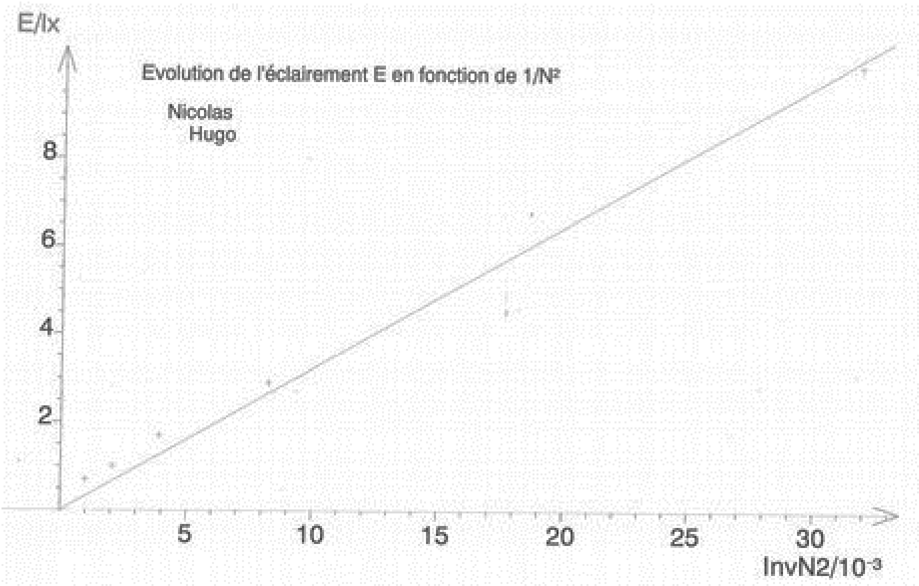
Les élèves ont tracé la courbe représentative de l'évolution de l'éclairement E en fonction de l'inverse du nombre d'ouverture $1/N$ à l'aide du logiciel *Regressi*. Voici un exemple de représentation obtenue :



A nouveau, l'utilisation du document 3 a permis à la majorité des élèves d'écarter une relation de proportionnalité entre E et $1/N$.

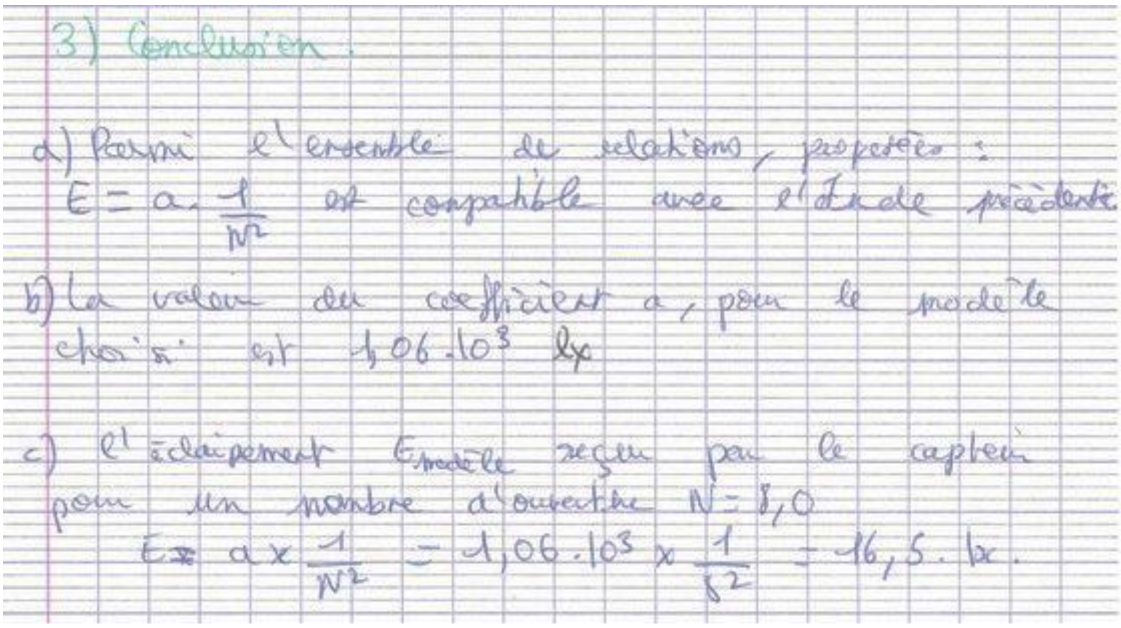
Modélisation : E en fonction de $1/N^2$

Les élèves ont tracé la courbe représentative de l'évolution de l'éclairement E en fonction de l'inverse du carré du nombre d'ouverture $1/N^2$ à l'aide du logiciel *Regressi*. Voici un exemple de représentation obtenue :



La modélisation par une fonction linéaire est convaincante pour les élèves si les sources de lumière parasite sont peu nombreuses dans la salle. Dans le cas contraire, la droite de modélisation ne passe pas par l'origine.

3. <u>Conclusion</u>


3) Conclusion :

a) Parmi l'ensemble de relations proposées : $E = a \cdot \frac{1}{N^2}$ est compatible avec l'étude précédente

b) La valeur du coefficient a, pour le modèle choisi est $1{,}06 . 10^3$ lx

c) l'éclairement $E_{modèle}$ reçu par le capteur pour un nombre d'ouverture $N = 8{,}0$

$E = a \times \frac{1}{N^2} = 1{,}06 . 10^3 \times \frac{1}{8^2} = 16{,}5$ lx.

3) Conclusion.

a) Seul $E = a \cdot \frac{1}{N^2}$ est compatible avec l'étude précédente

b) $a = 321 \pm 25$ S.I.

c) $E_{modèle} = 321 \times \frac{1}{8{,}0^2} = \frac{321}{64} \approx 5{,}01$ lux.

d) $E_{expérimental} = 5{,}21$ lux
Les deux valeurs sont compatible à $\approx 0{,}20$ lux près.

L'exploitation de la modélisation choisie permet de prédire la valeur théorique de l'éclairement mesuré par le capteur pour un nombre d'ouverture N=8. Cette prédiction est ensuite confrontée à la mesure expérimentale non encore réalisée. Une mesure expérimentale proche de la valeur prédite par le modèle permet de le valider à posteriori et de mettre en avant l'intérêt prédictif des modèles développés en sciences.

Une évaluation de l'activité

Afin de tenter d'évaluer la fréquence de la conception selon laquelle *« lorsque l'augmentation d'une grandeur A entraîne l'augmentation d'une grandeur B alors on peut affirmer que A et B sont reliées par une relation de proportionnalité »* chez les élèves et afin d'évaluer les effets de cette activité son évolution, un questionnaire a été proposé avant puis après la séance.

<u>Énonce du questionnaire</u> :

Q1 Comment évolue l'éclairement E reçu par le capteur CCD lorsque le diamètre du diaphragme augmente ?

*Q2 Répondre par **Vrai** ou **Faux** à l'affirmation suivante :*
« Si l'éclairement E augmente lorsque le diamètre D du diaphragme augmente alors on peut affirmer que E et D sont proportionnels »

Réponses données par les élèves interrogés AVANT et APRES la séance :

Réponses à **Q1**	Nombre de réponses AVANT la séquence	Nombre de réponses APRES la séquence
E augmente	**9**	**10**
E diminue	2	1

Réponses à **Q2**	Nombre de réponses AVANT la séquence	Nombre de réponses APRES la séquence
VRAI	**10**	3
FAUX	1	**8**

Les élèves répondent majoritairement de façon correcte à la première question, même avant la séance, ce qui montre qu'ils analysent correctement la situation et lui donnent du sens.

Les réponses apportées à la seconde question montrent de façon significative que les élèves entretiennent en grande majorité des idées préconçues erronées autour de la notion de proportionnalité. Même si on peut supposer qu'en classe de 1ère cette notion est globalement comprise par une majorité d'élèves, on constate tout de même que des extrapolations erronées persistent et coexistent dans leurs esprits.

Ce questionnaire témoigne par ailleurs du fait que, pour les 2/3 des élèves du groupe qui avaient répondu faux, le travail effectué lors de cette activité autour de la modélisation leur a permis de dépasser un obstacle conceptuel et d'affiner leur travail de construction des notions de proportionnalité et de non proportionnalité.

Titrage acide-base suivi par conductimétrie

Niveau : **1ère STL-SPCL, module « Chimie et développement durable »**
Thème : Analyses physico-chimiques

Résumé de l'activité

Cette activité expérimentale permet de travailler l'interprétation graphique d'une courbe de titrage suivi par conductimétrie et la détermination du volume équivalent.

Objectifs d'apprentissage

A l'issue de cette activité, l'élève doit être capable d'interpréter de manière qualitative un titrage, l'allure d'une courbe de titrage suivi par conductimétrie et la position du point équivalent.
Les obstacles principaux à pallier sont au nombre de deux : l'allure de la courbe n'est pas habituelle (elle ne se limite pas à une simple droite) et l'interprétation de l'allure de celle-ci nécessite un raisonnement élaboré avec des approximations à ce stade des apprentissages.

Extrait du programme de physique-chimie de la spécialité SPCL

Notions et contenus	Compétences exigibles
Dosages par titrage Équivalence d'un titrage. Titrages directs et indirects. Réactions support de titrage - oxydation-réduction (espèces colorées en solution) : - acide-base (suivis conductimétrique et pHmétrique).	- Définir l'équivalence d'un titrage. - Citer les espèces présentes dans le milieu réactionnel au cours du titrage. - Déterminer la concentration d'une solution inconnue à partir des conditions expérimentales d'un titrage. - Suivre et concevoir un protocole de titrage direct et de titrage indirect d'espèces colorées. - Réaliser des titrages suivis par conductimétrie et par pH-métrie. - Interpréter qualitativement l'allure des courbes de titrages conductimétriques. - Citer et écrire les formules de quelques espèces usuelles : - acides (acide nitrique, acide sulfurique, acide phosphorique, acide chlorhydrique, acide éthanoïque) ; - bases (ion hydroxyde, soude et potasse, ammoniac) ; - oxydants (ion permanganate, peroxodisulfate, diiode, dioxygène, eau oxygénée) ; - réducteurs (ion thiosulfate, ion sulfite, ions iodure, métaux courants).

Bagage mathématique de l'élève de 1ère STL-SPCL (programme de seconde)

Contenus	Capacités attendues
Coordonnées d'un point du plan Abscisse et ordonnée d'un point dans le plan rapporté à un repère orthonormé.	• Repérer un point du plan, placer un point connaissant ses coordonnées.

Présentation de la séquence

Prérequis pour la séquence :

- Généralités sur les dosages par titrage : réactif limitant, équivalence.
- Principe de la conductimétrie.

Séances précédentes

- Séance précédente

L'activité expérimentale proposée intervient lors d'une seconde séance sur la conductimétrie afin de s'affranchir des problèmes techniques de manipulation et d'axer l'activité sur l'interprétation de la courbe obtenue et la détermination du volume équivalent.

- Contextualisation / situation déclenchante

Comment repérer l'équivalence d'un titrage dont les espèces ne sont pas colorées, mais ioniques ?

- Hypothèses émises

Il est possible de suivre l'évolution d'une grandeur physique (pH, conductivité), autre que la couleur, lors du titrage.

Séance présentée

- Nature et origine du document étudié

Ce document a été construit à partir d'une activité initialement proposée par l'académie d'Amiens (lycée Pierre Méchain de Laon).

- Déroulement de l'activité

La durée de cette activité expérimentale est de 2 heures.
Cette activité a été testée en classe et des copies d'élèves commentées se trouvent dans ce document.

Séances suivantes

- Fin de la séquence autour de la contextualisation

La variation de la conductivité lors du titrage de l'hydroxyde de sodium par l'acide chlorhydrique a permis de déterminer graphiquement le volume équivalent et ainsi d'en déduire la concentration en hydroxyde de sodium contenue dans le Destop®, qui peut-être confrontée à celle annoncée par l'étiquette.

- Pistes de prolongement

Une activité d'approfondissement peut être proposée aux élèves ayant acquis les connaissances et capacités visées à l'issue de cette activité expérimentale (voir Activité 1 bis) : l'influence du volume d'eau ajouté sur l'aspect de la courbe de titrage suivi par conductimétrie peut être étudié expérimentalement. Cette activité peut être proposée lors de la même séance de TP – si les élèves sont particulièrement rapides - ou lors d'une séance d'AP ultérieure.
Un fichier Géogébra est à disposition pour visualiser l'effet du volume d'eau ajouté sur l'aspect la courbe de titrage conductimétrique. Ce fichier peut être utilisé par le professeur ou par l'élève lui-même

Enoncé de l'activité

Le Destop® est un produit ménager utilisé pour déboucher les canalisations grâce (entre autres) à l'hydroxyde de sodium - également appelé soude caustique – qu'il contient.

Figure 1. Etiquette présente sur le Destop®

Produit efficace, le Destop® est néanmoins dangereux. Il provoque de graves brûlures au contact de la peau et des yeux.

L'étiquette d'une bouteille de Destop® indique que la solution contient de l'hydroxyde de sodium à 20 %. Cela signifie que 20% de sa masse est de la soude caustique. Un calcul de concentration amène à une concentration molaire en hydroxyde de sodium de 6,2 mol.L^{-1}. **On cherche à vérifier cette affirmation en titrant l'hydroxyde de sodium présent dans le Destop® par de l'acide chlorhydrique**.

La solution commerciale Destop® étant très concentrée, il convient de la diluer pour manipuler des solutions de concentrations plus faibles et donc moins dangereuses, Une solution diluée, notée S_B, a été préparée en diluant 100 fois la solution commerciale.
Dans cette activité expérimentale, on va réaliser le titrage d'un volume V_B = 20,0 mL de la solution S_B (solution titrée contenue dans le bécher) de concentration molaire C_B inconnue en hydroxyde de sodium par de l'acide chlorhydrique (solution titrante S_A contenue dans la burette graduée) de concentration molaire connue C_A = 0,100 mol.L^{-1}.

<u>Toxicité des réactifs</u> :

Réactifs	Pictogrammes de sécurité
Hydroxyde de sodium en solution	
Acide chlorhydrique	

Quelles précautions particulières faut-il prendre lors de la manipulation des solutions d'hydroxyde de sodium et d'acide chlorhydrique ?

I. Etude préliminaire

On donne les couples acido-basiques suivants : H_3O^+/H_2O et H_2O/HO^-.

1. Faire le schéma légendé du montage avec les éléments d'information données dans la l'introduction.
2. Citer les ions présents dans l'acide chlorhydrique et la solution d'hydroxyde de sodium.

3. a. Etablir l'équation de la réaction support du titrage sachant qu'il s'agit d'une réaction acido-basique, puis représenter le schéma du titrage.
   b. Que peut-on dire pour les ions chlorure Cl^- et les ions sodium Na^+ ?

On rappelle qu'à l'équivalence, il y a changement de réactif limitant pour la réaction.

4. Faire le bilan des ions présents dans le bécher avant l'équivalence, puis après.
5. Indiquer, dans le tableau suivant, l'évolution des quantités de matière des différents ions lors du titrage (↗ , ↘ , = ou 0) et les quantités des ions à l'équivalence (en fonction de n_0, quantité initiale d'hydroxyde de sodium dans la solution titrée).

Ions	Quantités à l'état initial	Evolution avant l'équivalence	Quantités à l'équivalence	Evolution après l'équivalence
Cl^-	0			
Na^+	n_0			
HO^-	n_0			
H^+	0			

6. Tracer l'allure des courbes représentant l'évolution des différentes quantités de matière au cours du titrage.

II. Manipulation

Ajouter 100 mL d'eau distillée au 20,0 mL de Destop® dilué (solution S_B) dans le bécher avant de réaliser le titrage conductimétrique. Relever les valeurs de conductivité tous les millilitres et verser jusqu'à 25 mL d'acide chlorhydrique dans le bécher.

Tracer le graphe représentant l'évolution de la conductivité σ en fonction du volume d'acide chlorhydrique versé V, σ = f(V), sur une feuille de papier millimétré (***ne pas relier les points***).

III. Etude qualitative

La conductivité σ d'une solution dépend de la conductivité molaire ionique λ de chacun des ions présents en solution et de leur concentration.

Elle s'écrit pour ce titrage : $\sigma = \lambda_{HO^-} \times [HO^-] + \lambda_{Na^+} \times [Na^+] + \lambda_{H^+} \times [H^+] + \lambda_{Cl^-} \times [Cl^-]$

Le tableau ci-dessous présente les conductivités molaires ioniques λ des ions mis en jeu lors du titrage.

Ions	H^+	HO^-	Cl^-	Na^+
λ ($mS.m^2.mol^{-1}$)	35,0	19,9	7,63	5,01

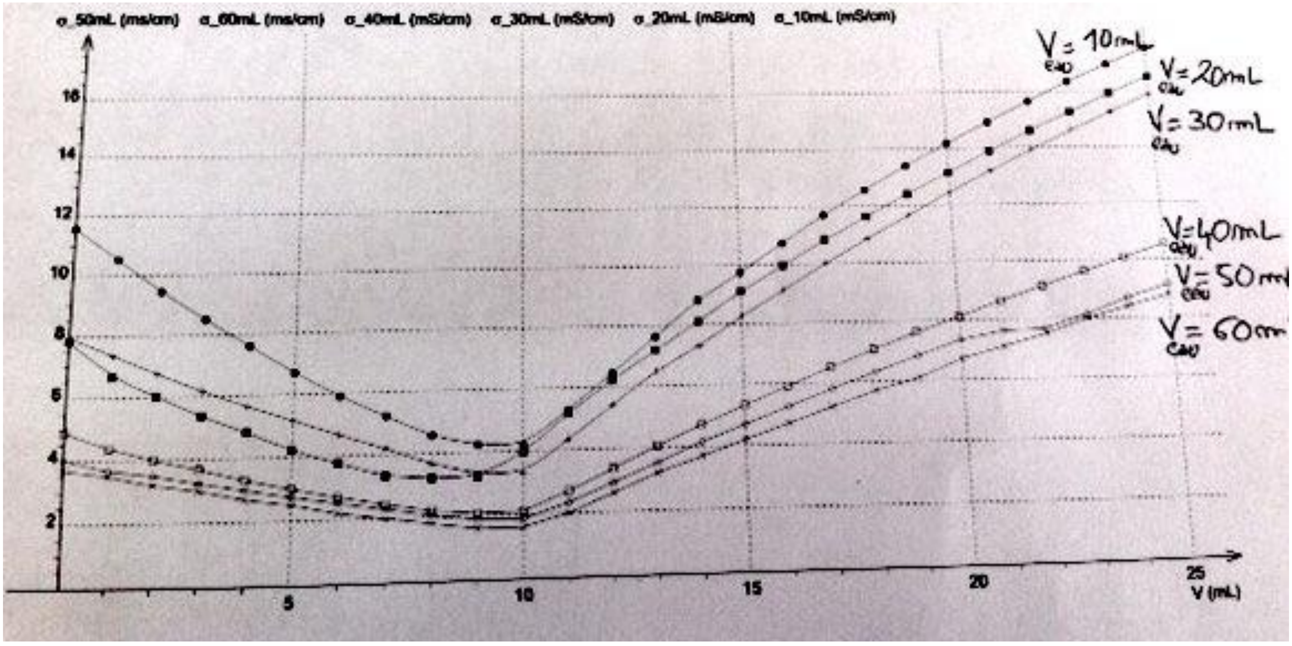
Figure 2. Tableau des conductivités molaires ioniques de H^+, HO^-, Cl^- et Na^+

1. Comparer les conductivités molaires ioniques de H^+ et de HO^- à celles des deux autres ions.
2. En prenant appui sur le graphique représentant l'évolution des quantités de matière lors du titrage (question 6) du I)., prévoir l'évolution de la conductivité de la solution avant l'équivalence, puis après l'équivalence.
3. En déduire comment repérer l'équivalence et déterminer le volume équivalent du dosage.

IV. Etude quantitative

1. Que peut-on dire des quantités de matière des réactifs introduits à l'équivalence ? présents à l'équivalence ? Etablir la relation entre les grandeurs C_A, V_{eq}, C_B et V_B.
2. En déduire la valeur de la concentration C_B en soluté apporté dans la solution diluée $S_{B,}$ et la valeur de la concentration C_{exp} en hydroxyde de sodium déterminée par le titrage pour la solution de Destop® .
3. La concentration molaire indiquée sur l'étiquette présente sur le Destop® est-elle conforme à la valeur trouvée lors de ce titrage ?

Approfondissement possible de l'activité élève



V. Influence du volume d'eau ajouté sur l'aspect de la courbe conductimétrique

Figure 3. Courbes obtenues pour différents volumes d'eau ajoutés initialement dans le bécher au 20 mL de Destop® dilué

1) Après avoir analysé les différentes courbes fournies, à quel volume d'eau distillée correspond la courbe la plus facilement exploitable, c'est-à-dire qui peut être modélisée le plus facilement par deux droites, l'une pour $V < V_{éq}$ et l'autre pour $V > V_{éq}$?
2) Quelle est la difficulté rencontrée sur les courbes plus difficilement exploitables ?
3) Conclure quant à l'influence du volume d'eau ajouté sur l'allure de la courbe de titrage et donc sur la détermination du volume équivalent $V_{éq}$.

Éléments de correction pour le professeur

I. Etude préliminaire

1. Schéma du montage
2. Les ions présents dans la solution d'acide chlorhydrique sont H_3O^+ et Cl^- et les ions présents dans la solution d'hydroxyde de sodium sont Na^+ et HO^-.
3. a. L'équation support du titrage acido-basique est : $H_3O^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)} = 2\ H_2O_{(l)}$

b. Les ions chlorure et les ions sodium n'interviennent pas dans la réaction de dosage, ce sont des ions spectateurs.

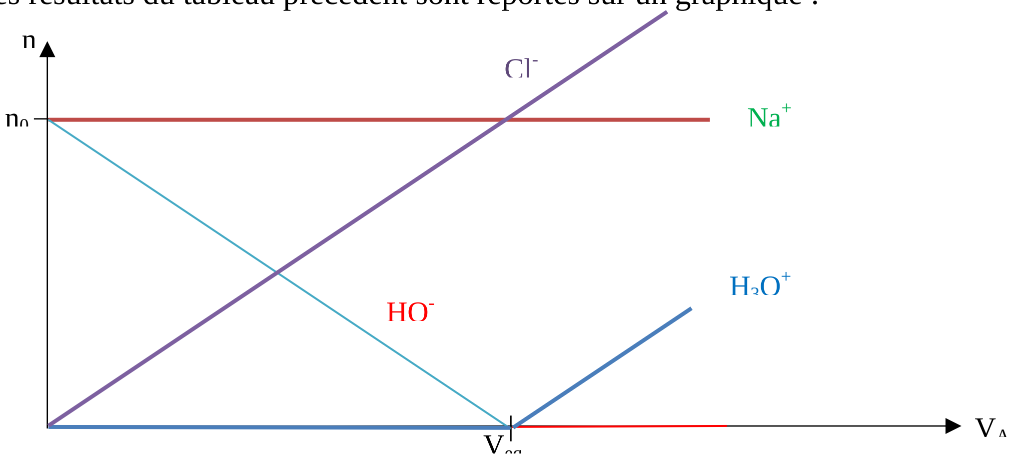
4. Les espèces présentes dans le bécher avant l'équivalence sont
   - les ions présents initialement dans le Destop®, soit Na^+ et HO^-, HO^- qui vont disparaître petit à petit en réagissant avec les ions H_3O^+ introduits progressivement dans le bécher.
   - parmi les ions apportés par l'acide chlorhydrique, seul les ions Cl^- restent présents car H_3O^+ réagit dès son introduction dans le bécher avec HO^- pour former de l'eau.

Après l'équivalence, tous les ions hydroxyde initialement présents ont été consommés pour former de l'eau, donc il reste les ions spectateurs Cl^- et Na^+, ainsi les sont les ions H_3O^+, versés en excès, qui ne réagissent plus car il n'y a plus d'ions hydroxyde.

5. Les variations des quantités de matière des différents ions dans le bécher peuvent être répertoriées dans le tableau suivant :

Ions	Quantités à l'état initial	Evolution avant l'équivalence	Quantités à l'équivalence	Evolution après l'équivalence
Cl^-	0	↗	n_0	↗
Na^+	n_0	=	n_0	=
HO^-	n_0	↘	0	0
H^+	0	0	0	↗

6. Les résultats du tableau précédent sont reportés sur un graphique :



II. Manipulation

III. Etude qualitative

1. Les conductivités molaires ioniques des ions hydroxyde HO^- et les ions oxonium H_3O^+ sont (2,5 à 7 fois) plus grandes que celles des deux autres ions.

2. Avant l'équivalence, la quantité d'ions Cl^- augmente autant que celle d'ions HO^- diminue. Or, la conductivité molaire ionique des ions HO^- est environ de 2,5 fois plus grande que celle des ions Cl^- donc l'évolution de la conductivité de la solution suit l'évolution de la quantité d'ion hydroxyde : elle diminue.
   Après l'équivalence, la quantité d'ions augmente dans la solution (ajout d'ions H_3O^+ et Cl^-), donc la conductivité de la solution augmente.
3. Ainsi, lorsque la conductivité de la solution cesse de diminuer pour augmenter, cela signifie que l'équivalence est atteinte. Le volume versé à l'équivalence est donc le volume pour lequel la conductivité de la solution est minimale, soit ici V_{eq} = 12,2 mL.

IV. Etude quantitative

1. A l'équivalence, les réactifs ont été introduits en quantité stoechiométrique : n_{H3O+} versés de la burette = n_{HO-}, présents initialement dans le bécher soit $C_A \times V_{éq} = C_B \times V_B$.
   A l'équivalence, la réaction étant totale, les réactifs ont totalement disparu et leurs quantités de matière respectives sont nulles dans le bécher (confer tableau d'évolution des quantités de matière)
2. On a donc : $C_B = \frac{C_A \times V_{eq}}{V_B} = \frac{0{,}100 \times 12{,}2.10^{-3}}{20.10^{-3}} = 6{,}10.10^{-2}\, mol.L^{-1}$
   D'où : $C_{exp} = 100 \times C_B$ = 6,10 $mol.L^{-1}$.
3. L'hydroxyde de sodium à 20% dans le flacon de Destop® correspond à une concentration molaire de 6,2 $mol.L^{-1}$.
   On trouve expérimentalement une valeur très proche de celle indiquée sur l'étiquette.
   La différence peut s'expliquer par :
   - des erreurs de manipulation ;
   - une incertitude associée à la valeur mesurée, mais non évaluée dans le cadre de cette activité ;
   - une valeur approximative indiquée sur l'étiquette de la bouteille de Destop®.

Approfondissement - Eléments de correction pour le professeur

V. Influence du volume d'eau ajouté sur l'aspect de la courbe conductimétrique

1. La courbe la plus facilement exploitable est celle pour laquelle le volume d'eau initialement introduit est le plus important. En effet, pour ce volume d'eau, on obtient une modélisation très proche de deux droites, l'une avant et l'autre après l'équivalence ; il n'y a donc pas d'ambiguïté pour le tracé des deux droites puisqu'elles passent aisément par l'ensemble des points expérimentaux.
2. En revanche, pour des volumes d'eau plus faibles, on constate qu'il est difficile de tracer rigoureusement deux droites à partir des différents points expérimentaux. Il semble plus pertinent de tracer ces deux droites à partir des points proches de l'équivalence, même si la courbe reste tout de même difficilement exploitable.
3. Pour conclure, pour que le volume d'eau ajouté permette d'obtenir deux portions de droite et une détermination aisée de l'équivalence, il faut qu'il soit suffisant pour pouvoir négliger le volume d'acide versé par rapport au volume du mélange réactionnel. Pour cela, deux solutions sont envisageables. Si le volume d'eau ajouté n'est pas suffisant, il est possible de tracer une fonction de la conductivité qui prend en compte cette évolution du volume versé, soit $\sigma(V+V_A) = f(V_A)$

(***voir fichier GeoGebra sur l'influence du volume d'eau ajouté sur le tracé d'une courbe conductimétrique pour illustrer ces deux solutions***).

Exemples et analyses de productions d'élèves

Remarque : L'activité ayant évolué à plusieurs reprises, il n'y a donc pas de réponses à l'intégralité des questions de la dernière version.

- **Copie 1**

I. Etude préliminaire

2.

1) les ions présents dans l'acide chlorhydrique sont H^+ et Cl^- et ceux dans l'hydroxyde de sodium sont HO^- et Na^+

A ce stade des acquisitions des élèves, « H^+ » peut tout à fait convenir pour « H_3O^+ ».

3.a. $H^{\oplus} + HO^{\ominus} \rightarrow H_2O$

	Avant eq	Eq	Après eq
HO^-	↘	0	0
Na^+	→		→
H^+	0	0	↗
Cl^-	↗		↗

5.

les ions H^+ disparaissent en 1er et les ions HO^- en derniers.

La tournure de la phrase est incorrecte, mais le tableau montre que l'élève a bien compris ce qu'il se passait au cours du titrage.

III. Etude qualitative

1.

λ_{H^+}, λ_{HO^-} > λ_{Cl^-}, λ_{Na^+} les ions H^+ et HO^- portent plus l'électricité

la conductivité est minimale à l'équi-valence.

Cette propriété est affirmée sans aucune argumentation.

IV. Etude quantitative

1. On peut écrire la relation suivante

$\frac{n_{NaOH}}{1} = \frac{n_{HCl}}{1}$ donc

L'élève s'est interrompu ici : il ne parvient pas à faire le lien entre la relation avec les quantités de matière à l'équivalence et les données de la situation.
Aucune argumentation n'est présente pour établir la relation entre les quantités de matière.
Il n'utilise pas le tableau d'évolution des quantités de matière
Il n'indique pas de quelles quantités de matière il s'agit : présentes dans le bécher initialement pour les ions hydroxyde et versés à l'équivalence pour les ions oxonium.

V. Influence du volume d'eau ajouté sur l'aspect de la courbe conductimétrique

1) La courbe la plus exploitable est celle du binôme Omayma et Abdallah avec un volume d'eau distillée de 0 mL
2) La difficulté avec les autres courbes est de tracer des droites passant par le maximum de point.
3) Plus on met de l'eau distillée, plus la courbe est précise donc le Veq est plus précis également.

Il y a une erreur dans le volume d'eau distillée, mais il est possible que ce soit un oubli suite à une valeur effacée (trace de blanc correcteur).
Le cœur du problème a été compris : plus le volume d'eau ajouté au départ est important et plus il est facile de tracer une droite passant par le plus de points expérimentaux possibles.

- **Copie 2**

I. Etude préliminaire

2.

2) Les ions Na^+ et Cl^- sont les ions spectateurs, ils ne réagissent pas dans des réactions acido-basique

$H^+ + HO^- \rightarrow H_2O$

5.

	Avnt Éq	Aprs Éq	
HO^-	→	0 ○	HO^- : après le volume d'équivalence, tous ions HO^- ont été consommés
Na^+	→	→	Na^+ : ions spectateurs, sa quantité ne chg pas
H^+	○	0 ↗	H^+ : après que tous les ions HO^- aient été consommés, la qtité des ions H^+ augmente
Cl^-	0 ↗	↗	Cl^- : ions qu'on a rajouté lors du dosage, qtité augmente

L'élève a bien compris ce qu'il se passait dans la solution. La notion de titrage semble comprise.

II. Manipulation

III. Etude qualitative

1.

On peut dire que les valeurs de conductivité molaire ionique de H^+ et de HO^- sont plus élevées par rapport aux autres

λ_{H^+}, λ_{HO^-} > λ_{Cl^-}, λ_{Na^+}

2.

b.

La conductivité de la solution se résume finalement aux ions H^+ et HO^- car ils ont une conductivité molaire plus élevés que les autres. Les ions H^+ font augmenter la conductivité tandis que les ions HO^- font baisser la conductivité.

Il y a ici une confusion, ou du moins un raccourci, entre l'évolution des quantités de matière et l'évolution de la conductivité. L'élève a peut-être compris l'idée mais n'arrive pas à l'exprimer de façon rigoureuse.

IV. Etude quantitative

1.

On a la relation suivante :

$$\underbrace{C_A}_{mol.L^{-1}} \times \underbrace{V_{Eq}}_{L} = \underbrace{C_B}_{mol.L^{-1}} \times \underbrace{V_B}_{L}$$

La relation est correcte mais aucune justification n'est établie.

2.

On a $C_B = \dfrac{C_A \times V_{éq}}{V_B} = \dfrac{0,100 \times 10,0.10^{-3}}{10.10^{-3}}$

$= 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$

Dans cette activité, la solution de Destop® dosée était diluée 50 fois et le volume dosé était de 10,0mL. L'élève a fait une application numérique correcte mais n'avait pas un volume équivalent correct et il n'a pas tenu compte des chiffres significatifs.

4. Oui, elle est conforme.

La validation du résultat n'est pas réalisée : le calcul de la concentration initial n'est pas fait, et il ne peut donc pas comparé à ce qui était attendu.

<u>V. Influence du volume d'eau ajouté sur l'aspect de la courbe conductimétrique</u>

V) 1) La courbe la plus facilement exploitable correspond à un ajout de l'eau distillé de 60 mL, où on peut modeliser distinctement les deux droites $V < V_{éq}$ et

$V > V_{éq}$.

2) La difficulté rencontrée sur les courbes plus difficilement exploitables est que celles-ci ne forment pas distinctement les deux droites $V < V_{éq}$ et $V > V_{éq}$ mais elles ont une forme très courbé, on a donc plus du mal à modéliser ces courbes et connaître le volume d'équivalence

3) Après avoir analyser la forme des courbes en fonction du volume d'eau distillée rajouté, on en conclut que plus on rajoute de l'eau distillée, on obtient une meilleur courbe. En effet, l'on peut modéliser les droites $V < V_{éq}$ et $V > V_{éq}$ plus facilement car celles-ci sont très droites et nous permettent de connaître le volume d'équivalence plus précis.

Les trois réponses montrent que l'élève a compris l'influence du volume d'eau ajouté sur l'aspect de la courbe, malgré des imprécisions de vocabulaire.

- **Copie 3**

I. Etude préliminaire

Acide chlorhydrique : $HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$

2. Hydroxyde de sodium : $NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$

3.a.

$NaOH + Cl^- \rightarrow \cancel{HCl + Na^+}$ $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$

L'écriture de l'équation de réaction a été problématique, l'élève ayant cherché à faire intervenir les ions spectateurs à tout prix. Il n'est pas parti des ions, mais des molécules. Le résultats final est finalement correct.

5.

	Avant Equ	Equ	Après Equ.
HO^-	↘	0	0
H^+	0	0	↗
Na^+	→	→	→
Cl^-	↗	↗	↗

L'élève a fait apparaître des variations au moment de l'équivalence (cela a valu une modification dans le sujet initial pour bien indiqué que ce sont les quantités de matière qui sont attensues dans cette colonne et éviter ce genre de confusion).

II. Manipulation

III. Etude qualitative

1.

Les valeurs de conductivités molaires ioniques de H^+ et OH^- sont beaucoup plus élevées que les autres.

3.

C'est le moment où les réactifs ont été introduit dans les proportions stœchiométriques.
Donc la conductivité est minimale à l'équivalence.

Il n'est pas certain que l'élève ait compris : le lien entre la définition de l'équivalence et la conductivité de la solution n'est pas réalisé.

IV. Etude quantitative

1.

$$\frac{n(H^+)}{1} = \frac{n(OH^-)}{1}$$

$$C_B = \frac{C_A \times V_{EQ}}{V_A \times 1}$$

La relation à l'équivalence n'est pas justifiée.

2.

$$C_B = \frac{0{,}100 \times 9{,}968}{10 \times 1} = 9{,}968.10^{-2}\ mol.L^{-1}$$

$$C_{EXP} = C_B \times 50 = 4{,}984\ mol.L^{-1}$$

Le nombre de chiffres significatifs est excessif.
La valeur obtenue est néanmoins faible.

3.

Lors de ce titrage on a obtenue une concentrat-ion $C_{EXP} = 4{,}984\ mol.L^{-1} \Leftrightarrow C_{EXP} \approx 5\ mol.L$

On a : $C_{Destop} > C_{EXP} \Leftrightarrow 6{,}2\ mol.L^{-1} > 5\ mol.L^{-1}$
La concentration indiquée sur l'étiquette du Destop n'est pas la bonne. Elle est trop faible.

La valeur trouvée est bien comparée à la valeur indiquée sur l'étiquette de Destop®.

Annexe 1

Présentation synthétique des programmes de mathématiques du cycle 3 aux terminales scientifiques

Programmes de Mathématiques – Du cycle 3 à la classe de Terminale S

	Cycle 3	Cycle 4	2nde	1ère S	Terminale S
Nombres / Grandeurs	Fractions et nombres décimaux : Quotients de nombres entiers. Nombres décimaux jusqu'au 10000ème. Étude d'une grandeur, exploration des unités du SI. Unités de longueur, d'aire, de volume, d'angle, de durée. Comparaison de grandeurs.	Écriture décimale ou fractionnaire, notation scientifique. Puissances d'un nombre (exposants entiers, positifs ou négatifs). Les préfixes de nano à giga. Calcul exact ou approché, mental, à la main ou instrumenté. Ordre de grandeur. Calculs numériques simples en utilisant la notation scientifique. Simplifier une fraction donnée pour la rendre irréductible.			Complexes : forme algébrique, conjugué, somme, produit, quotient.
Calculs / Equations / Inéquations	Multiplication de deux nombres décimaux. Résolution de problèmes nécessitant l'organisation de données multiples ou la construction d'une démarche avec plusieurs supports (texte, tableau, représentation graphique).	Mettre un problème en équation en vue de sa résolution. Développer et factoriser des expressions algébriques dans des cas très simples. Notions de variable, d'inconnue. Calcul littéral. Résoudre - des équations ou des inéquations du premier degré.	Transformations d'expressions algébriques en vue d'une résolution de problème. Résolution graphique et algébrique d'équations et d'inéquations.		

	Cycle 3	Cycle 4	2^{nde}	$1^{ère}$ S	Terminale S
	Utilisation des pourcentages Application d'un taux en lien avec la proportionnalité.	- des problèmes de recherche de quatrième proportionnelle, de pourcentage. - des problèmes modélisés par des fonctions (équations, inéquations). Vérifier les unités.			
Suites				Suites arithmétiques et suites géométriques. Sens de variation d'une suite numérique. Approche de la notion de limite d'une suite à partir d'exemples.	Raisonnement par récurrence. Limite finie ou infinie d'une suite. Comportement à l'infini de la suite (q^n). Suite majorée, minorée, bornée.
Fonctions	Identification d'une situation de proportionnalité. Représentation graphique des variations entre deux grandeurs.	» Dépendance d'une grandeur mesurable en fonction d'une autre. » Notion de variable mathématique. » Notion de fonction, d'antécédent et d'image. » Notations f(x) et x ->f(x).	Image, antécédent, courbe représentative. Fonction croissante, décroissante. Maximum, minimum d'une fonction sur un intervalle.	Fonction dérivée. Lien entre signe de la dérivée et sens de variation. Extremum d'une fonction.	Limites de fonctions en un point ou à l'infini Asymptote parallèle à l'un des axes de coordonnées. Intégration. Valeur moyenne.
Fonctions de référence		Cas particulier d'une fonction linéaire, d'une fonction affine. Reconnaitre une situation de proportionnalité ou de non-proportionnalité.	Fonctions linéaires et affines. Variations de la fonction carré, de la fonction inverse. Fonctions polynômes de degré 2. Ensemble de définition d'une fonction homographique.	Dérivée des fonctions usuelles. Dérivée d'une somme, d'un produit et d'un quotient.	Compléments sur le calcul de dérivées. Fonctions sinus et cosinus. Fonction exponentielle. Fonction logarithme népérien.

Trigonométrie		» Caractérisation angulaire du parallélisme. » Triangle : somme des angles, inégalité triangulaire, cas d'égalité des triangles, triangles semblables, hauteurs, rapports trigonométriques dans le triangle rectangle (sinus, cosinus, tangente). » Théorème de Thalès. » Théorème de Pythagore.	« Enroulement de la droite numérique » sur le cercle trigonométrique et définition du sinus et du cosinus d'un nombre réel.	Cercle trigonométrique. Radian. Mesure d'un angle orienté, mesure principale. Formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus.	Forme trigonométrique d'un complexe : - module et argument, - notation exponentielle.
Système de coordonnées	(Se) repérer et (se) déplacer	(Se) repérer sur une droite graduée, dans le plan muni d'un repère orthogonal, dans un parallélépipède rectangle ou sur une sphère. » Abscisse, ordonnée, altitude. » Latitude, longitude.	Abscisse et ordonnée d'un point dans le plan rapporté à un repère orthonormé. Distance de deux points du plan. Milieu d'un segment.		Représentation géométrique d'un complexe. Affixe d'un point, d'un vecteur. Interprétation géométrique d'un complexe dans un repère orthonormé direct
Courbes			Droite comme courbe représentative d'une fonction affine. Équations de droites.	Tangente à la courbe représentative d'une fonction dérivable en un point.	

Vecteurs			Coordonnées d'un vecteur dans un repère. Somme de deux vecteurs. Produit d'un vecteur par un nombre réel. Relation de Chasles.	Vecteur directeur d'une droite. Condition de colinéarité de deux vecteurs Expression d'un vecteur du plan en fonction de deux vecteurs non colinéaires. Produit scalaire. Applications du produit scalaire : calculs d'angles et de longueurs. Condition de colinéarité de deux vecteurs : $xy'-yx'=0$ Vecteur normal à une droite.	Vecteurs coplanaires. Décomposition d'un vecteur en fonction de trois vecteurs non coplanaires. Produit scalaire de deux vecteurs dans l'espace. Vecteur normal à un plan. Équation cartésienne d'un plan.
Statistique		Calculer des effectifs, des fréquences. » Tableaux, représentations graphiques (diagrammes en bâtons, diagrammes circulaires, histogrammes). Calculer et interpréter des caractéristiques de position ou de dispersion d'une série statistique. » Indicateurs : moyenne, médiane, étendue.	médiane, quartiles, moyenne.	variance, écart-type.	Loi uniforme Lois exponentielles. Loi normale Intervalle de confiance Niveau de confiance.
Probabilités		Aborder les questions relatives au hasard à partir de problèmes simples. Calculer des probabilités dans des cas simples. » Notion de probabilité. » Quelques propriétés : la probabilité d'un événement est	Probabilité d'un événement. Réunion et intersection de deux événements.	Variable aléatoire discrète et loi de probabilité. Espérance, variance et écart-type. loi binomiale Coefficients binomiaux, triangle de Pascal.	Conditionnement par un événement de probabilité non nulle. Indépendance de deux événements.

		comprise entre 0 et 1 ; probabilité d'évènements certains, impossibles, incompatibles, contraires.			
Géométrie	Aire d'un triangle rectangle, quelconque, disque. Volume d'un pavé droit (relation L et m^3) Alignement, appartenance, perpendicularité, parallélisme, égalité de longueurs, d'angles, de distance entre deux points, entre un point et une droite, de symétrie, d'agrandissement, de réduction. Maitrise du codage usuel (parenthèses et crochets) Parallélogramme Proportionnalité : notion d'échelle.	Volume d'une pyramide, d'un cylindre, d'un cône ou d'une boule. Déplacement, agrandissement, réduction, translation, d'une symétrie (axiale et centrale), d'une rotation, d'une homothétie.	solides usuels : parallélépipède rectangle, pyramides, cône et cylindre de révolution, sphère. Droites et plans, positions relatives. Droites et plans parallèles.		

Du cycle 3 aux classes de Terminale STL/STI2D

	Cycle 3	Cycle 4	2nde	1ière STI2D/STL	Terminale STI2D/STL
Nombres	Fractions et nombres décimaux : Quotients de nombres entiers. Nombres décimaux jusqu'au 10000ème.	Écriture décimale ou fractionnaire, notation scientifique. Puissances d'un nombre (exposants entiers, positifs ou négatifs). Les préfixes de nano à giga. Calcul exact ou approché, mental, à la main ou instrumenté. Ordre de grandeur. Calculs numériques simples en utilisant la notation scientifique. Simplifier une fraction donnée pour la rendre irréductible.		*Nombres complexes :* Forme algébrique, somme, produit, quotient, conjugué, représentation géométrique,	*Nombres complexes :* Forme exponentielle : produit, quotient, conjugué
Calculs / équations / inéquations	Multiplication de deux nombres décimaux. Résolution de problème nécessitant l'organisation de données multiples ou la construction d'une démarche avec plusieurs supports (texte, tableau, représentation graphique). Utilisation des pourcentages	Mettre un problème en équation en vue de sa résolution. Développer et factoriser des expressions algébriques dans des cas très simples. Notions de variable, d'inconnue. Calcul littéral. Résoudre - des équations ou des	Transformations d'expressions algébriques en vue d'une résolution de problème. Résolution graphique et algébrique d'équations et d'inéquations.	*Équation du second degré* : discriminant, signe du trinôme	

	Cycle 3	Cycle 4	2nde	1ière STI2D/STL	Terminale STI2D/STL
	Application d'un taux en lien avec la proportionnalité.	inéquations du premier degré. - des problèmes de recherche de quatrième proportionnelle, de pourcentage. - des problèmes modélisés par des fonctions (équations, inéquations). Vérifier les unités.			
Suites				*Suites arithmétique et géométriques*: Approche de la notion de limite d'une suite.	*Suites* : limites, suites géométriques (somme de termes consécutifs, limite)
Fonctions	Identification d'une situation de proportionnalité. Représentation graphique des variations entre deux grandeurs.	» Dépendance d'une grandeur mesurable en fonction d'une autre. » Notion de variable mathématique. » Notion de fonction, d'antécédent et d'image. » Notations f(x) et x ->f(x).	Image, antécédent, courbe représentative. Fonction croissante, décroissante. Maximum, minimum d'une fonction sur un intervalle.	*Dérivation* : nombre dérivé et tangente à la courbe, fonction dérivée, extremum d'une fonction.	*Limites de fonctions* : asymptote parallèle aux axes, limite finie à l'infini, limite infinie en un point, limite infinie à l'infini, limites et opérations *Dérivées et primitives* : Calculs de dérivés (compléments), Primitive d'une fonction sur un intervalle *Intégration :* Intégrale d'une fonction et aire sous la courbe, calcul d'aires, valeur moyenne d'une fonction sur un intervalle *Équations différentielles* : $y'+ay=b$, $y''+w^2y=0$, existence et unicité de la solution satisfaisant aux conditions initiales

Fonctions de référence		Cas particulier d'une fonction linéaire, d'une fonction affine. Reconnaitre une situation de proportionnalité ou de non-proportionnalité.	Fonctions linéaires et affines. Variations de la fonction carré, de la fonction inverse. Fonctions polynômes de degré 2. Ensemble de définition d'une fonction homographique.	*Fonctions circulaires :* sinus et cosinus d'un angle orienté *Étude de fonctions* : racine carrée, valeur absolue, inverse.	*Fonctions logarithmes* : fonction logarithme népérien, nombre e, .fonction logarithme en base 10 et en base 2 usuelles : sinus *Fonctions exponentielles*
Trigonométrie		» Caractérisation angulaire du parallélisme. » Triangle : somme des angles, inégalité triangulaire, cas d'égalité des triangles, triangles semblables, hauteurs, rapports trigonométriques dans le triangle rectangle (sinus, cosinus, tangente). » Théorème de Thalès. » Théorème de Pythagore.	« Enroulement de la droite numérique » sur le cercle trigonométrique et définition du sinus et du cosinus d'un nombre réel.	éléments de trigonométrie, cercle trigonométrique ; mesure d'un angle orienté, radian, sinus et cosinus d'un angle orienté.	
Système de coordonnées	(Se) repérer et (se) déplacer	(Se) repérer sur une droite graduée, dans le plan muni d'un repère orthogonal, dans un parallélépipède rectangle ou sur une sphère. » Abscisse, ordonnée, altitude. » Latitude, longitude.	Abscisse et ordonnée d'un point dans le plan rapporté à un repère orthonormé. Distance de deux points du plan. Milieu d'un segment.	Affixe d'un point, d'un vecteur module, argument, interprétation géométrique.	

Courbes			Droite comme courbe représentative d'une fonction affine. Équations de droites.		
Vecteurs			Coordonnées d'un vecteur dans un repère. Somme de deux vecteurs. Produit d'un vecteur par un nombre réel. Relation de Chasles.	*Produit scalaire dans le plan* : vecteur normal à une droite, calculs de longueurs et d'angles.	*Produit scalaire dans le plan :* addition et duplication des sinus et cosinus
Statistique		Calculer des effectifs, des fréquences. » Tableaux, représentations graphiques (diagrammes en bâtons, diagrammes circulaires, histogrammes). Calculer et interpréter des caractéristiques de position ou de dispersion d'une série statistique. » Indicateurs : moyenne, médiane, étendue.	médiane, quartiles, moyenne.	*Statistique descriptive et analyse de données* : dispersion, variance, écart type.	*Prise de décision et estimation* : intervalle de fluctuation d'une fréquence, intervalle de confiance d'une proportion

Probabilités		Aborder les questions relatives au hasard à partir de problèmes simples. Calculer des probabilités dans des cas simples. » Notion de probabilité. » Quelques propriétés : la probabilité d'un événement est comprise entre 0 et 1 ; probabilité d'évènements certains, impossibles, incompatibles, contraires.	Probabilité d'un événement. Réunion et intersection de deux événements.	*Probabilités* : variable aléatoire, schéma de Bernoulli, loi binomiale. Espérance, variance, écart-type de la loi binomiale *Echantillonnage :* utilisation de la loi binomiale pour une prise de décision à partir d'une fréquence.	*Exemples de loi à densité :* loi uniforme sur un segment, espérance et variance d'une variable aléatoire suivant une loi uniforme, loi exponentielle, espérance d'une variable aléatoire suivant une loi exponentielle, loi normale d'espérance μ et écart-type σ ; approximation d'une loi binomiale par une loi normale.
Géométrie	Aire d'un triangle rectangle, quelconque, disque. Volume d'un pavé droit (relation L et $\boldsymbol{m^3}$) Alignement, appartenance, perpendicularité, parallélisme, égalité de longueurs, d'angles, de distance entre deux points, entre un point et une droite, de symétrie, d'agrandissement, de réduction. Maitrise du codage usuel (parenthèses et crochets) Parallélogramme Proportionnalité : notion d'échelle.	Volume d'une pyramide, d'un cylindre, d'un cône ou d'une boule. Déplacement, agrandissement, réduction, translation, d'une symétrie (axiale et centrale), d'une rotation, d'une homothétie.	Solides usuels : parallélépipède rectangle, pyramides, cône et cylindre de révolution, sphère. Droites et plans, positions relatives. Droites et plans parallèles.		

Annexe 2

La proportionnalité dans les programmes de mathématiques

La lecture de cette ressource permettra au professeur de physique-chimie, de concevoir des activités mettant en jeu des situations de proportionnalité ou de non-proportionnalité, en s'appuyant soit sur les connaissances et compétences déjà acquises par les élèves, soit en les co-construisant en collaboration avec le professeur de mathématiques de la classe.

Cycles et seconde	Connaissances et compétences associées	Exemples de situations, d'activités et de ressources pour l'élève
Cycle 3 **Résoudre des problèmes en utilisant des fractions simples, les nombres décimaux et le calcul**	Proportionnalité » Reconnaitre et résoudre des problèmes relevant de la proportionnalité en utilisant une procédure adaptée.	Situations permettant une rencontre avec des échelles, des vitesses constantes, des taux de pourcentage, en lien avec l'étude des fractions décimales. Mobiliser les propriétés de linéarité (additives et multiplicatives), de proportionnalité, de passage à l'unité. Utiliser des exemples de tableaux de proportionnalité.
Cycle 4 **Résoudre des problèmes de proportionnalité**	Reconnaitre une situation de proportionnalité ou de non-proportionnalité. Résoudre des problèmes de recherche de quatrième proportionnelle. Résoudre des problèmes de pourcentage. » Coefficient de proportionnalité. Résoudre des problèmes modélisés par des fonctions (équations, inéquations). » Cas particulier d'une fonction linéaire, d'une fonction affine.	Étudier des relations entre deux grandeurs mesurables pour identifier si elles sont proportionnelles ou non ; ces relations peuvent être exprimées par : » des formules (par exemple la longueur d'un cercle ou l'aire d'un disque comme fonction du rayon, la loi d'Ohm exprimant la tension comme fonction de l'intensité), » des représentations graphiques (par exemple des nuages de points ou des courbes) » un tableau (dont des lignes ou des colonnes peuvent être proportionnelles ou non). Compléter un tableau de proportionnalité en utilisant, par exemple, le produit en croix. Calculer et interpréter des proportions (notamment sous forme de pourcentages) sur des données économiques ou sociales ; appliquer des pourcentages (par exemple, taux de croissance, remise, solde, taux d'intérêt) à de telles données. Etablir le fait que, par exemple, augmenter de 5% c'est multiplier par 1,05 et diminuer de 5% c'est multiplier par 0,95 ; proposer quelques applications (par exemple que l'on n'additionne pas les remises).
Cycle 4 **Comprendre et utiliser la notion de fonction**	Résoudre des problèmes modélisés par des fonctions (équations, inéquations). » Cas particulier d'une fonction linéaire, d'une fonction affine.	Utiliser différents modes de représentation et passer de l'un à l'autre, par exemple en utilisant un tableur ou un grapheur. Lire et interpréter graphiquement les coefficients d'une fonction affine représentée par une droite. Etudier et commenter des exemples (fonction reliant la tension et l'intensité dans un circuit électrique, fonction reliant puissance et énergie, courbes de croissance dans un carnet de santé, tests d'effort, consommation de carburant d'un véhicule en fonction de la vitesse, production de céréales en fonction des surfaces ensemencées, liens entre unités anglo-saxonnes et françaises, impôts et fonctions affines par morceaux…). Faire le lien entre fonction linéaire et proportionnalité.
Cycle 4 **Utiliser le calcul littéral**	Mettre un problème en équation en vue de sa résolution. Développer et factoriser des expressions algébriques dans des cas très simples. Résoudre des équations ou des inéquations du premier degré Utiliser le calcul littéral pour prouver un résultat général, pour valider ou réfuter une conjecture.	Comprendre l'intérêt d'une écriture littérale en produisant et employant des formules liées aux grandeurs mesurables (en mathématiques ou dans d'autres disciplines). Tester sur des valeurs numériques une égalité littérale pour appréhender la notion d'équation. Étudier des problèmes qui se ramènent au premier degré.

Cycle 4 **Interpréter, représenter et traiter des données**	Lire des données sous forme de données brutes, de tableau, de graphique.	Utiliser un tableur, un grapheur pour calculer des indicateurs et représenter graphiquement les données.
Cycle 4 **Comprendre l'effet de quelques transformations sur des grandeurs géométriques**	Comprendre l'effet d'un déplacement, d'un agrandissement ou d'une réduction sur les longueurs, les aires, les volumes ou les angles.	Utiliser un rapport de réduction ou d'agrandissement (architecture, maquettes), l'échelle d'une carte. Utiliser un système d'information géographique (cadastre, géoportail, etc.) pour déterminer une mesure de longueur ou d'aire ; comparer à une mesure faite directement à l'écran.
Seconde **Fonctions**	**Fonctions** **Équations** Résolution graphique et algébrique d'équations. **Fonctions de référence** Fonctions linéaires et fonctions affines	Traduire le lien entre deux quantités par une formule. Pour une fonction définie par une courbe, un tableau de données ou une formule : - identifier la variable et, éventuellement, l'ensemble de définition ; - déterminer l'image d'un nombre ; - rechercher des antécédents d'un nombre. Mettre un problème en équation. Résoudre une équation se ramenant au premier degré Donner le sens de variation d'une fonction affine. Donner le tableau de signes de ax + b pour des valeurs numériques données de a et b.
Seconde **Géométrie**	**Droites** Droite comme courbe représentative d'une fonction affine. Équations de droites.	- Tracer une droite dans le plan repéré. - Interpréter graphiquement le coefficient directeur d'une droite. - Caractériser analytiquement une droite.

Annexe 3

Membres du GRIESP

Stéphane BARDELLI	Professeur
Marie BONNIN	Professeure
Nicolas COPPENS	Professeur
Hélène COSTE	Professeure
Antoine ELOI	Professeur
Adeline FON	Professeure
Julien FORESTIER	Professeur
Julien FUSS	Professeur
Alain LE RILLE	Professeur
Grégory LEY	Professeur
Murielle MASSOTE	Professeure
Laurent MOUTET	Professeur
Fatima RAHMOUN	Professeure
Mélanie PERRIN	IA-IPR
Michel VIGNERON	IA-IPR

Bibliographie - Sitographie

Documents d'accompagnement rédigés par le groupe mathématiques de l'Inspection Générale :

- Le document « grandeurs et mesures au collège », édité pour les programmes de 2007 propose des éléments toujours utiles et pertinents pour aborder le thème « grandeurs et mesures » en vigueur dans le nouveau programme de mathématiques du cycle 4
- Les ressources en mathématiques accompagnant les nouveaux programmes de collège proposent des fiches synthétiques permettant de mieux appréhender les stratégies d'enseignement des mathématiques :
  - Utiliser le calcul littéral
  - Modéliser
  - Représenter
  - Résoudre des problèmes de proportionnalité
  - Comprendre et utiliser la notion de fonction
- Le document "Le calcul sous toutes ses formes au collège et au lycée" téléchargeable sur la page Eduscol des mathématiques (http://eduscol.education.fr/cid45766/mathematiques-au-lycee.html) présente une réflexion et des préconisations sur ce que doit être l'enseignement du calcul au collège et au lycée, à la fois dans ses contenus et dans ses formes.
- Le document " Mathématiques - Physique-chimie" accompagnant les programmes de première STL et « Mathématiques – Physique-Chimie- Sciences et techniques industrielles » téléchargeables sur la page Eduscol des mathématiques (http://eduscol.education.fr/cid45766/mathematiques-au-lycee.html).

Notes d'information de la Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance

- « Les élèves de 15 ans en France selon PISA 2012 en culture mathématique : baisse des performances et augmentation des inégalités par rapport à 2003 », décembre 2013
- « L'évolution des acquis des élèves de 15 ans en compréhension de l'écrit et en culture scientifique - Premiers résultats de l'évaluation », décembre 2013
- De nouvelles notes d'information seront publiées après l'analyse des résultats de PISA 2015 et TIMMS 2015.

Autres publications :

- « Enseigner les sciences physiques : Collège et classe de seconde », de D. Courtillot et M.Ruffenach, Bordas pédagogie, Chapitre : Donner un sens physique aux relations algébriques
- « Enseigner les sciences physiques : De la 3ème à la Terminale », de D. Courtillot et M.Ruffenach, Bordas pédagogie, Chapitres « La démarche de modélisation » et « Donner du sens physique aux mathématiques »
- Pour renouer avec le calcul, Du Primaire au Supérieur : Document synthèse d'un stage du plan académique de formation de l'académie de Créteil, rédigé par David BEYLOT, Bernard GALIN, Sophie MARCUS, Pascal SAUVAGE, GREPhyC-IREM Paris 7, groupes de Liaison Lycée-Université de l'académie de Créteil.
- « Tangente et modélisation », de Pierre López, Groupe Mathématiques et Sciences Physiques au Lycée de l'IREM de Toulouse