

Annexe 1

Programme de physique-chimie et mathématiques de terminale STL

Les éléments surlignés sont exclus de l'épreuve terminale
(BOEN spécial n°2 du 13-2-2020 et BOEN n°31 du 29-07-2021)

Sommaire

Introduction générale

Programme de physique-chimie

Préambule

Organisation des programmes

Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

Repères pour l'enseignement

Mesure et incertitudes

Constitution de la matière

Transformation de la matière

Mouvements et interactions

Énergie : conversions et transferts

Programme de mathématiques

Intentions majeures

Analyse

Introduction générale

L'enseignement de spécialité de physique-chimie et mathématiques vise à donner aux élèves une formation scientifique solide les préparant aux poursuites d'études dans les domaines des sciences appliquées ou de la production, notamment en instituts universitaires de technologie et en sections de techniciens supérieurs mais aussi en classes préparatoires (TB, TSI et TPC) et dans certaines filières de l'université.

Si les disciplines qui composent cet enseignement de spécialité ont chacune leurs enjeux propres, le programme qui suit donne une cohérence et une unité à l'ensemble. Les modes de pensée spécifiques à chaque champ disciplinaire s'acquièrent au travers d'un corpus limité de savoirs, savoir-faire et méthodes qui trouvent leur efficacité lors de l'étude de problèmes communs sur lesquels les différentes disciplines apportent des éclairages complémentaires.

Les professeurs de physique-chimie et de mathématiques s'attachent à travailler conjointement les notions qui se prêtent à un croisement fructueux, notamment celles qui sont signalées dans le texte du programme. Il est en effet essentiel d'organiser les passerelles pédagogiques afin que les apports de chacune de ces deux disciplines puissent enrichir la compréhension de concepts communs et l'assimilation de méthodes partagées. C'est notamment le cas du calcul infinitésimal (dérivée, primitive, intégrale) où il est essentiel de préciser les démarches à l'œuvre dans les calculs menés avec des variations Δx ou Δt arbitrairement petites mais finies et leurs liens avec les résultats acquis par passage à la limite. Il importe notamment d'adopter des notations parlantes et concertées. De même, l'approche statistique des incertitudes de mesure ou encore la modélisation du travail d'une force par le produit scalaire et, en terminale, l'introduction des équations différentielles appellent une réelle collaboration entre les deux professeurs.

Les contenus et méthodes abordés dans l'enseignement de spécialité de physique-chimie et mathématiques sont suffisamment riches pour permettre aux élèves de conduire des projets variés en vue de l'épreuve orale terminale du baccalauréat.

Programme de physique-chimie

Préambule

• Objectifs de formation

Dans la continuité de la classe de première STL, le programme de physique-chimie de la classe terminale vise à former aux méthodes et démarches scientifiques en mettant particulièrement en avant la **pratique expérimentale** et l'activité de **modélisation**. L'objectif est triple :

- donner une vision authentique de la physique et de la chimie ;
- permettre de poursuivre des études supérieures scientifiques et technologiques dans de nombreux domaines ;
- transmettre une culture scientifique et ainsi permettre aux élèves de faire face aux évolutions scientifiques et technologiques qu'ils rencontreront dans leurs activités professionnelles.

Le programme accorde une place importante aux **concepts** et à la **modélisation**. Il porte l'ambition de permettre aux élèves d'accéder à une compréhension des phénomènes abordés et de leur faire percevoir la portée unificatrice et universelle des lois de la physique et de la chimie. La démarche de **modélisation** occupe une place centrale dans l'activité du physicien et du chimiste pour établir un lien entre le « monde » des objets, des expériences,

des faits et le « monde » des modèles et des théories. Une telle approche, dans laquelle le **raisonnement** occupe une place importante, permet de construire une image à la fois fidèle et motivante de ce qu'est un enseignement de physique et de chimie dans une formation post-baccalauréat. L'atteinte de ces objectifs implique une approche concrète et **contextualisée** des concepts et notions du programme, ces derniers offrant un large domaine d'applications et de supports concrets de travail.

L'enseignement proposé s'attache à apporter certains éléments constitutifs de cette démarche, tels que : simplifier la situation initiale ; établir des liens entre des grandeurs ; choisir un modèle adapté pour expliquer des faits ; procéder à des prévisions et les confronter aux faits ; exploiter des analogies pertinentes ; recourir à une simulation pour expérimenter sur un modèle ; réaliser des mesures et estimer leur précision ; analyser et critiquer un protocole de mesure ; choisir, concevoir et mettre en œuvre un dispositif expérimental pour tester une loi, vérifier une prévision issue d'un modèle et mesurer une grandeur.

Autre composante essentielle de la formation scientifique, la pratique expérimentale joue un rôle fondamental dans l'enseignement de la physique et de la chimie.

Elle établit un rapport critique avec le monde réel, où les observations sont parfois déroutantes, où des expériences peuvent échouer, où chaque geste demande à être analysé et maîtrisé, où les mesures, toujours entachées d'erreurs aléatoires ou systématiques, ne permettent de déterminer des valeurs de grandeurs qu'avec une incertitude qu'il faut pouvoir évaluer au mieux. La maîtrise de la précision dans le contexte des activités expérimentales participe à l'éducation des élèves à la construction d'une vision critique des informations données sous forme numérique, et permet de les confronter à une norme, étape indispensable à l'évaluation des risques et à la prise de décision.

La formation scientifique passe aujourd'hui par la maîtrise d'outils de programmation, de codage et de traitements de données. Les programmes de physique-chimie sont l'occasion d'exploiter ces outils et de développer les compétences des élèves dans ce domaine.

Organisation des programmes

Une attention particulière est portée à la continuité et à la complémentarité avec les programmes de la classe de première. Le programme de terminale est structuré autour des quatre thèmes : « Constitution de la matière », « Transformation de la matière » qui intègre les transformations nucléaires, « Mouvements et interactions » et « Énergie : conversions et transferts ». L'approche énergétique, amorcée en classe de première, est renforcée. Elle est présentée dans le thème « Énergie : conversions et transferts » du programme qui a pour objectif de construire des liens entre les différents domaines de la physique-chimie par l'intermédiaire de l'énergie.

Ces thèmes permettent un dialogue fructueux avec les autres disciplines scientifiques et en particulier les mathématiques : les notions de nombre dérivé, de fonction dérivée, d'équation différentielle et de produit scalaire se trouvent réinvesties dans l'enseignement de la physique-chimie ; l'étude de la désintégration de noyaux radioactifs, de la cinétique chimique et de la chute libre dans un fluide visqueux permet de travailler explicitement les liens avec les mathématiques. D'autre part, cet enseignement étant commun aux élèves qui suivent les spécialités de biochimie-biologie-biotechnologies et sciences physiques et chimiques en laboratoire, les concepts introduits dans les quatre thèmes du programme trouvent des applications dans les domaines de la biologie-biochimie et des biotechnologies.

Dans l'écriture des programmes, chaque thème comporte plusieurs parties, chacune d'elles présente une introduction spécifique indiquant les objectifs de formation. Cette introduction est complétée par un tableau en deux colonnes identifiant, d'une part, les **notions et contenus** à connaître et, d'autre part, les **capacités exigibles** dans lesquelles sont précisées les capacités expérimentales à construire et les capacités numériques qui peuvent

être exploitées et développées. Le langage de programmation conseillé est le langage Python. Par ailleurs, la dernière ligne du tableau précise les notions du programme de mathématiques associées qui sont mobilisées.

L'organisation du programme n'impose pas la progression qui relève de la liberté pédagogique du professeur.

Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

Les compétences retenues pour caractériser la démarche scientifique visent à structurer la formation et l'évaluation des élèves. L'ordre de leur présentation ne préjuge en rien de celui dans lequel les compétences sont mobilisées par l'élève dans le cadre d'activités. Quelques exemples de capacités associées précisent les contours de chaque compétence, l'ensemble n'ayant pas vocation à constituer un cadre rigide.

Compétences	Quelques exemples de capacités associées
S'approprier	<ul style="list-style-type: none"> - Énoncer une problématique. - Rechercher, sélectionner et organiser l'information en lien avec la problématique. - Représenter la situation par un schéma.
Analyser/ Raisonnement	<ul style="list-style-type: none"> - Formuler des hypothèses. - Proposer une stratégie de résolution. - Planifier des tâches. - Évaluer des ordres de grandeur. - Choisir un modèle ou des lois pertinentes. - Choisir, élaborer, justifier un protocole. - Faire des prévisions à l'aide d'un modèle. - Procéder à des analogies.
Réaliser	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre les étapes d'une démarche. - Utiliser un modèle. - Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, collectes de données, etc.). - Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité..
Valider	<ul style="list-style-type: none"> - Faire preuve d'esprit critique, procéder à des tests de vraisemblance. - Identifier des sources d'erreur, estimer une incertitude, comparer une valeur mesurée à une valeur de référence. - Confronter un modèle à des résultats expérimentaux. - Proposer d'éventuelles améliorations à la démarche ou au modèle.
Communiquer	<p>À l'écrit comme à l'oral :</p> <ul style="list-style-type: none"> - présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente ; utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés ; - échanger entre pairs.

Le niveau de maîtrise de ces compétences dépend de **l'autonomie et de l'initiative** requises dans les activités proposées aux élèves sur les notions et capacités exigibles du programme. La mise en œuvre des programmes est aussi l'occasion de développer le travail d'équipe et d'aborder avec les élèves des questions citoyennes mettant en jeu la responsabilité individuelle et collective, la **sécurité** pour soi et pour autrui, l'éducation à **l'environnement** et au **développement durable**.

Cet enseignement contribue au développement des compétences orales à travers notamment la pratique de l'argumentation. Celle-ci conduit à préciser sa pensée et à expliciter son raisonnement de manière à convaincre. Elle permet à chacun de faire évoluer sa pensée, jusqu'à la remettre en cause si nécessaire, pour accéder progressivement à la vérité par la preuve. Elle prend un relief particulier pour ceux qui choisiront de préparer l'épreuve orale terminale du baccalauréat en l'adossant à cet enseignement de spécialité.

Repères pour l'enseignement

Dans le cadre de la mise en œuvre du programme de physique-chimie pour la classe terminale en STL, le professeur est invité à privilégier la mise en activité des élèves, à valoriser **l'approche expérimentale**, à contextualiser les apprentissages, à procéder régulièrement à des **synthèses** pour structurer les savoirs et savoir-faire pour ensuite les appliquer dans des contextes différents et à tisser des liens avec les autres enseignements de la série. Le recours ponctuel à des « **résolutions de problèmes** » qui peuvent aussi être de nature expérimentale est encouragé. Ces activités contribuent efficacement à l'acquisition des compétences de la démarche scientifique et développent l'esprit d'initiative des élèves. L'usage du numérique est privilégié lors du traitement des données et de l'exploitation des modèles. Dès que l'occasion le permet, une mise en perspective de ces savoirs avec **l'histoire des sciences** et **l'actualité scientifique** est à mettre en œuvre.

Les évaluations, variées dans leurs formes et dans leurs objectifs, valorisent les compétences différentes de chaque élève. Une identification claire des attendus favorise l'autoévaluation des élèves.

Mesure et incertitudes

La pratique de laboratoire conduit à confronter les élèves à la conception, la mise en œuvre et l'analyse critique de protocoles de mesure. Évaluer l'incertitude d'une mesure, caractériser la fiabilité et la validité d'un protocole sont des éléments essentiels de la formation dans la série Sciences et technologies de laboratoire. L'étude de ces notions, transversales au programme de physique-chimie, s'appuie sur le contenu de chacun des modules des enseignements de spécialité du programme du cycle terminal.

En classe de première, les élèves ont été sensibilisés à la variabilité de la mesure qui a été quantifiée par l'incertitude-type évaluée soit de manière statistique (type A), soit à partir d'une seule mesure (type B). La compatibilité entre le résultat d'une mesure et la valeur de référence, si elle existe, est appréciée en exploitant les incertitudes-types. La comparaison de deux protocoles de mesure se fait en analysant la dispersion des résultats en termes de justesse et de fidélité. En classe terminale, en prenant appui sur les notions travaillées en classe de première, les élèves identifient les principales sources d'erreurs dans un protocole, comparent leur poids à l'aide d'une méthode fournie, proposent des améliorations au protocole et estiment l'incertitude-type de la mesure finale.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Dispersion des mesures, incertitude-type sur une série de mesures. Incertitude-type sur une mesure unique. Sources d'erreurs.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Procéder à une évaluation de type A d'une incertitude-type. - Procéder à une évaluation de type B d'une incertitude-type pour une source d'erreur en exploitant une relation fournie et/ou les notices constructeurs. - Identifier qualitativement les principales sources d'erreurs lors d'une mesure. - Comparer le poids des différentes sources d'erreurs à l'aide d'une méthode fournie. - Identifier le matériel adapté à la précision attendue. - Proposer des améliorations dans un protocole afin de diminuer l'incertitude sur la mesure. - Évaluer, à l'aide d'une relation fournie ou d'un logiciel, l'incertitude-type d'une mesure obtenue lors de la réalisation d'un protocole dans lequel interviennent plusieurs sources d'erreurs.
<p>Expression du résultat.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Exprimer un résultat de mesure avec le nombre de chiffres significatifs adaptés et l'incertitude-type associée.
<p>Valeur de référence.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Valider un résultat en évaluant la différence entre le résultat d'une mesure et la valeur de référence en fonction de l'incertitude-type.
<p>Justesse et fidélité.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter la dispersion de séries de mesures indépendantes pour comparer plusieurs protocoles de mesure d'une grandeur physique en termes de justesse et de fidélité. <p>Capacités numériques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utiliser un tableur, un logiciel ou un programme informatique pour : <ul style="list-style-type: none"> - traiter des données expérimentales ; - représenter les histogrammes associés à des séries de mesures ; - évaluer l'incertitude-type finale d'une mesure.

Constitution de la matière

• Structure spatiale des espèces chimiques

Cette partie du programme est l'occasion de revenir sur la notion d'atome de carbone asymétrique abordée en classe de première et sur la géométrie des molécules. Les notions de chiralité et de diastéréoisomérisation sont introduites en complément de la notion d'énantiomérisation. Elles sont primordiales pour l'étude des synthèses chimiques dans lesquelles la géométrie des molécules joue un rôle important. Le monde du vivant est asymétrique, la plupart des biomolécules étant chirales. Les processus biologiques (catalyse enzymatique, reconnaissance récepteur-hormone ou neurotransmetteur ...) discriminent les différents stéréoisomères, ce qui induit des réponses physiologiques différentes. Ces notions ont des implications dans les domaines pharmaceutique, agro-alimentaire ou de la bioproduction.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Représentations spatiales. Chiralité. Diastéréoisométrie, énantiométrie. Règles de Cahn, Ingold et Prelog (CIP). Configuration absolue <i>R</i> et <i>S</i> . Isométrie <i>Z</i> et <i>E</i> .	<ul style="list-style-type: none"> - Représenter une molécule en perspective de Cram avec plusieurs atomes de carbone asymétriques. - Définir une molécule chirale. - Représenter des énantiomères ou des diastéréoisomères. - Déterminer la configuration absolue d'un atome de carbone asymétrique. - Identifier des couples d'énantiomères et des diastéréoisomères. - Extraire et exploiter des informations sur les propriétés biologiques de stéréoisomères. <p>Capacités expérimentale et numérique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Repérer une molécule chirale. - Identifier les relations d'énantiométrie et de diastéréoisométrie entre différents stéréoisomères sur des modèles moléculaires ou en utilisant un logiciel de représentation moléculaire.

Transformation de la matière

• Réactions acido-basiques en solution aqueuse

Cette partie du programme s'appuie sur les notions abordées en classe de première, comme le diagramme de prédominance et le pKa, notamment dans le cas des acides aminés. Les équilibres acido-basiques sont présents dans de nombreux processus naturels. Par exemple, les couples impliquant le dioxyde de carbone trouvent une place particulière dans les domaines de la biologie et de l'environnement (corail). On introduit le coefficient de dissociation afin de montrer que l'état d'équilibre dépend de la concentration initiale et de la valeur du pKa. L'influence du pH lors d'une extraction permet de revenir sur la notion de solubilité vue en classe de première. L'ensemble de ces notions est réinvesti dans les enseignements de spécialité.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Constante d'équilibre acido-basique ; pKa. Coefficient de dissociation d'un acide faible. Solution tampon. Dissolution de dioxyde de carbone en solution aqueuse.	<ul style="list-style-type: none"> - Définir la constante d'équilibre acido-basique (ou constante d'acidité) et le pKa d'un couple acide/base. - Utiliser la conservation de la matière pour déterminer le coefficient de dissociation d'un acide faible dans l'eau, connaissant l'état initial et le pH à l'équilibre. - Prévoir qualitativement l'effet de la dilution sur le coefficient de dissociation d'un acide faible. - Choisir le couple acide/base adapté à la préparation d'une solution tampon en utilisant des valeurs tabulées. - Relier la solubilité du dioxyde de carbone dans différents milieux aux effets associés (physiologie, environnement) à partir de ressources documentaires.

	<p>Capacités expérimentales :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre un protocole expérimental pour montrer l'invariance du pKa d'un couple acide/base par spectrophotométrie. - Réaliser une extraction ou une séparation faisant intervenir une espèce acide ou basique.
<p>Notion du programme de mathématiques associée : Logarithme décimal.</p>	

• **Réactions d'oxydo-réduction**

Les réactions d'oxydo-réduction sont introduites à l'aide du nombre d'oxydation qui permet d'identifier l'oxydant et le réducteur d'une réaction ainsi que le nombre d'électrons échangés au cours de la réaction. L'étude de la constitution et du fonctionnement d'une pile permet de faire le lien avec la partie « Énergie : conversions et transferts » qui présente la pile comme un outil de stockage d'énergie. De nombreuses réactions d'oxydo-réduction se déroulent en conditions biologiques, par exemple dans la chaîne respiratoire. Ces réactions mettent en jeu des couples redox biochimiques comme NAD^+/NADH , FAD/FADH_2 ou les cytochromes contenant un ion fer(II).

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Oxydant, réducteur, nombre d'oxydation.</p> <p>Couple oxydant / réducteur (redox).</p> <p>Équations de demi-réaction.</p> <p>Réaction d'oxydo-réduction.</p> <p>Demi-pile, pile, pont salin.</p> <p>Anode, cathode.</p> <p>Quantité d'électricité.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Déterminer le nombre d'oxydation d'un élément dans une espèce inorganique. - Identifier l'oxydant et le réducteur dans une réaction donnée à l'aide du nombre d'oxydation. - Définir l'oxydant et le réducteur d'un couple redox, dans le cadre du modèle par transfert d'électrons. - Écrire une équation de demi-réaction. - Citer et donner la formule de quelques oxydants ou réducteurs usuels, gazeux (dihydrogène, dioxygène, dichlore) ou en solution aqueuse (diiode, eau oxygénée, ion fer(II)). - Écrire l'équation d'une réaction d'oxydo-réduction en milieu acide. - Représenter une pile comme l'association de deux demi-piles reliées par un pont salin. Préciser la polarité, le nom de chaque électrode, le sens de déplacement des électrons, du courant et des ions (y compris dans le pont salin). - Écrire l'équation de la réaction modélisant le fonctionnement de la pile à partir de la polarité de la pile et des couples redox impliqués. - Déterminer la quantité d'électricité disponible dans une pile à partir des quantités de matière initiales. <p>Capacité expérimentale :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réaliser une pile et mesurer la tension pour identifier l'anode et la cathode, l'oxydant et le réducteur.

• **Cinétique d'une réaction chimique**

Dans la continuité de la classe de première, la vitesse d'une transformation chimique est décrite en introduisant la loi de vitesse et l'ordre de réaction qui peut être déterminé expérimentalement en réalisant un suivi cinétique. Cette partie du programme est réinvestie dans la partie traitant de la radioactivité.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Loi de vitesse, constante de vitesse. Ordre de réaction. Temps de demi-réaction.	<ul style="list-style-type: none"> - Établir la loi d'évolution de la concentration d'une espèce en fonction du temps pour une réaction d'ordre 0 ou d'ordre 1. - Déterminer l'ordre d'une réaction et la constante de vitesse en exploitant des données issues d'un suivi cinétique. - Déterminer le temps de demi-réaction. <p>Capacités expérimentale et numérique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réaliser le suivi cinétique d'une transformation chimique et l'exploiter pour déterminer l'ordre de réaction.

Notions du programme de mathématiques associées :

Équations différentielles. Exponentielle. Logarithme népérien.

• **Radioactivité**

Cette partie aborde les différents types de radioactivité et fait le lien avec les mathématiques et la cinétique chimique. L'exploitation de documents permet de comparer l'activité de différentes sources naturelles ou artificielles et de choisir des modalités de protection des rayonnements radioactifs. Les exemples d'illustration de la notion d'activité d'une source sont nombreux dans les domaines médicaux et technologiques (radiothérapie, scintigraphie, datation).

Notions et contenus	Capacités exigibles
Radioactivité α , β^- , β^+ et émission γ . Lois de conservation. Évolution de la population moyenne d'un ensemble de noyaux radioactifs. Loi de décroissance radioactive. Constante de désintégration λ . Temps de demi-vie. Activité.	<ul style="list-style-type: none"> - Définir la radioactivité α, β^-, β^+ et l'émission γ. - Écrire l'équation d'une réaction nucléaire en utilisant les lois de conservation de la charge électrique et du nombre de nucléons. - Interpréter la relation $dN = -\lambda N dt$ en explicitant les différents termes. - Établir la loi de décroissance radioactive et montrer l'analogie avec une réaction d'ordre 1. - Exploiter une courbe de décroissance radioactive. - Définir le temps de demi-vie. - Relier la constante de désintégration λ au temps de demi-vie. - Définir l'activité et son unité (le becquerel). - Citer des exemples d'application de la radioactivité dans le domaine médical ou industriel. - Comparer l'activité de différentes sources naturelles ou artificielles et choisir des modalités de protection des rayonnements radioactifs à partir de documents.

	<p>Capacités numériques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exploiter les données issues d'un appareil de comptage. - Tracer la courbe de décroissance radioactive d'un noyau, la modéliser et l'exploiter.
<p>Notions du programme de mathématiques associées :</p> <p>Équations différentielles. Limites de la fonction exponentielle. Logarithme népérien.</p>	

Mouvements et interactions

Cette partie s'inscrit dans la continuité de l'enseignement de physique-chimie et mathématiques de la classe de première. La force électrostatique, introduite en classe terminale, permet de réinvestir les notions de mécanique vues en classe de première en prenant appui, par exemple, sur l'électrophorèse et ainsi de faire le lien avec l'enseignement de biochimie-biologie-biotechnologies. Dans le cas de mouvements à force constante, l'étude des mouvements rectilignes en première s'élargit aux mouvements plans en classe terminale. Comme pour le programme de première, tout en restant dans le cadre d'objets dont le mouvement est modélisable par un point matériel.

L'étude des mouvements à accélération non uniforme est limitée aux mouvements rectilignes. Elle permet de confronter les élèves à des situations différentes et d'identifier des limites de modèle comme celui de la chute libre. Seule l'étude de la chute verticale avec une force de frottement proportionnelle à la vitesse est étudiée analytiquement, ce qui est l'occasion de construire des liens avec l'enseignement de mathématiques. Dans tous les autres cas de figure, l'étude est conduite à partir d'une analyse de résultats expérimentaux ou de simulations numériques ; on attend des élèves qu'ils caractérisent le régime permanent. Les notions d'énergie mécanique sont traitées dans la partie « Énergie : conversions et transferts ».

La rédaction est volontairement concise et centrée sur les notions et méthodes de la mécanique ; il ne s'agit cependant pas de proposer aux élèves une présentation décontextualisée de la mécanique.

• Mouvements

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Accélération. Coordonnées du vecteur accélération : $a_x = \frac{dv_x}{dt}$ et $a_y = \frac{dv_y}{dt}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Citer et exploiter la relation entre les coordonnées du vecteur vitesse et celles du vecteur accélération. <p>Capacités expérimentales :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mesurer une accélération. - Réaliser et exploiter un enregistrement d'un objet en mouvement. <p>Capacités numériques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utiliser un tableur, un logiciel ou un programme informatique pour calculer : <ul style="list-style-type: none"> - les coordonnées des vecteurs vitesse et accélération à partir des coordonnées des positions dans le cas d'un mouvement plan ; - la composante du vecteur vitesse à partir d'un tableau de valeurs de l'accélération dans le cas d'un mouvement rectiligne.
<p>Notion du programme de mathématiques associée :</p> <p>Calcul approché d'une primitive par la méthode d'Euler.</p>	

• **Interactions**

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Force électrostatique. Champ électrostatique.</p> <p>Bilan des forces.</p> <p>Lois de Newton.</p> <p>Chute verticale avec frottement visqueux (force de frottement proportionnelle à la vitesse).</p> <p>Régime permanent, vitesse en régime permanent, temps caractéristique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Citer et exploiter la relation entre la force électrostatique et le champ électrostatique. - Caractériser le champ électrostatique entre deux armatures planes. - Exploiter la relation entre le champ électrostatique, la tension et la distance entre les deux armatures. - Effectuer un bilan des forces sur des objets en mouvement plan. - Citer et exploiter les lois de Newton. - Établir et exploiter les lois horaires du mouvement plan de chute libre. - Établir l'expression de la vitesse en régime permanent lorsqu'il existe des forces de frottement fluide (électrophorèse, chute dans un fluide ...). - Modéliser un mouvement vertical avec frottement visqueux : <ul style="list-style-type: none"> - établir l'équation différentielle vérifiée par la vitesse ; - caractériser le régime permanent ; - identifier le temps caractéristique ; - établir la loi horaire d'évolution de la vitesse. - Exploiter des résultats expérimentaux pour identifier le régime permanent et estimer le temps caractéristique. <p>Capacité expérimentale :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre un protocole expérimental pour mesurer la vitesse en régime permanent.
<p>Notions du programme de mathématiques associées : Équations différentielles. Limite de la fonction exponentielle. Primitives des polynômes.</p>	

Énergie : conversions et transferts

L'objectif de cette partie du programme est de sensibiliser les élèves aux enjeux associés à l'énergie. Ils ont déjà appréhendé les notions de chaîne et de forme d'énergie au collège. L'approche énergétique des systèmes leur permet de croiser différents domaines de la physique-chimie. L'étude est limitée aux domaines de la mécanique, de la chimie, de l'électricité et des ondes électromagnétiques. L'objectif est de conduire l'élève à effectuer des bilans énergétiques qualitatifs et quantitatifs ou à estimer l'énergie disponible dans un système donné. Les transferts thermiques sont introduits qualitativement pour expliciter la dissipation d'énergie. Cet enseignement prend appui sur des exemples concrets qui peuvent être modélisés simplement par des conversions et transferts d'énergie : barrage hydroélectrique, éolienne, cellule photovoltaïque, centrale thermique, découpe laser, moteurs à combustion, accumulateurs, etc.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Chaînes énergétiques. Stockage et conversion de l'énergie. Principe de la conservation de l'énergie. Rendement. Dissipation et transferts thermiques.	<ul style="list-style-type: none"> - Schématiser une chaîne énergétique en identifiant les formes, les réservoirs et les convertisseurs d'énergie. - Évaluer une quantité d'énergie transférée, convertie ou stockée. - Exploiter le principe de conservation de l'énergie pour réaliser un bilan énergétique, estimer l'énergie dissipée et calculer un rendement. - Associer une dissipation d'énergie à un transfert thermique.

• **Énergie mécanique**

Cette partie s'inscrit dans la continuité de l'enseignement de la classe de première et du thème « Mouvements et interactions » du programme de la classe terminale. Les notions d'énergie potentielle et d'énergie mécanique sont introduites à partir du travail du poids. L'objectif est de montrer que l'analyse des mouvements peut se faire par une approche énergétique en caractérisant les échanges, par exemple lors de l'étude d'une chute ou d'un pendule. Cette approche énergétique permet aussi de calculer l'énergie disponible dans un réservoir d'énergie mécanique comme une retenue d'eau ou un écoulement d'air.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Travail élémentaire d'une force. Travail du poids. Énergie potentielle de pesanteur. Énergie mécanique. Conservation de l'énergie.	<ul style="list-style-type: none"> - Exprimer le travail d'une force pour un déplacement élémentaire. - Identifier les forces dont le travail est nul. - Exprimer le travail d'une force constante. - Relier le travail du poids à la variation de l'énergie potentielle de pesanteur. - Citer et exploiter la relation définissant l'énergie potentielle de pesanteur. - Citer et exploiter la relation définissant l'énergie mécanique. - Exploiter la conservation de l'énergie mécanique. - Analyser les transferts énergétiques au cours du mouvement d'un point matériel. - Associer une variation d'énergie mécanique au travail des forces de frottement.
Puissance et énergie disponibles.	<ul style="list-style-type: none"> - Exploiter des documents pour estimer l'énergie stockée dans un réservoir d'énergie mécanique ou la puissance moyenne disponible. <p>Capacité expérimentale :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réaliser et exploiter un enregistrement pour étudier l'évolution de l'énergie cinétique, de l'énergie potentielle et de l'énergie mécanique d'un système.

Notion du programme de mathématiques associée :

Produit scalaire (programme de première).

• **Énergie chimique**

En classe de première ont été abordées les énergies de liaisons et de changement d'état. En classe terminale, la transformation chimique est étudiée à pression constante, ce qui permet d'introduire la notion d'enthalpie. La liaison chimique, qu'elle soit intermoléculaire ou intramoléculaire, est ainsi vue comme un réservoir d'énergie permettant de stocker ou de restituer de l'énergie. L'estimation expérimentale du pouvoir calorifique est l'occasion de revenir sur les incertitudes et les sources d'erreur.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Diagramme d'état d'un corps pur.	- Prévoir l'état physique d'un corps pur à température et pression données à l'aide de son diagramme d'état.
Enthalpie de changement d'état.	- Définir une enthalpie de changement d'état.
Enthalpie standard de formation.	- Prévoir le signe d'une enthalpie de changement d'état lors du passage d'un état physique à un autre.
Enthalpie standard de réaction.	- Définir une enthalpie standard de formation.
	- Calculer une enthalpie standard de réaction à partir de données tabulées en utilisant la loi de Hess.
	- Identifier le caractère exothermique, endothermique ou athermique d'une réaction.
Capacité thermique.	- Citer et exploiter la relation entre variation d'enthalpie, capacité thermique et variation de température pour une phase condensée.
Pouvoir calorifique.	- Définir et utiliser le pouvoir calorifique pour comparer différents combustibles.
	Capacité expérimentale :
	- Mettre en œuvre une expérience pour estimer le pouvoir calorifique d'un combustible.

• **Énergie électrique**

Cette partie du programme réinvestit les notions d'électricité abordées en classe de seconde. Elle est centrée sur l'utilisation de dipôles électrocinétiques permettant de modéliser le comportement de systèmes électriques simples. L'étude des circuits électriques, en particulier lors de l'approche expérimentale, est l'occasion de sensibiliser les élèves aux risques et au respect des règles de sécurité.

L'approche énergétique permet d'ouvrir les champs d'application et de tisser des liens avec d'autres domaines de la physique-chimie, l'électricité intervenant de manière quasi-systématique dans les chaînes énergétiques. Il est attendu de l'élève qu'il soit capable d'analyser le fonctionnement d'un circuit électrique simple en termes d'échanges énergétiques, de caractériser et de mesurer le rendement de convertisseurs en limitant l'étude aux dispositifs fonctionnant en courant continu.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Loi des nœuds, loi des mailles.	- Citer et exploiter la loi des nœuds et la loi des mailles dans le cas d'un circuit simple.
Loi d'Ohm.	- Citer et exploiter la loi d'Ohm.
	- Citer et exploiter l'expression de la puissance électrique fournie par un générateur et reçue par un récepteur.
Puissance et énergie	- Citer et exploiter la relation entre puissance et énergie.

<p>électrique. Effet Joule.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Analyser les échanges d'énergie dans un circuit électrique simple. - Interpréter l'effet Joule comme une conversion d'énergie électrique en énergie thermique, en citer des applications. <p>Capacités expérimentales :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réaliser un circuit électrique d'après un schéma donné. - Mesurer une tension électrique et une intensité électrique dans un circuit. - Évaluer expérimentalement le rendement d'un moteur électrique à courant continu.
<p>Générateurs d'énergie électrique. Source idéale. Quantité d'électricité.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Définir une source idéale de tension. - Citer et exploiter la relation entre quantité d'électricité, durée de fonctionnement et intensité. - Déterminer l'énergie disponible dans une pile ou un accumulateur en fonction de la tension à vide et de la quantité d'électricité. - Estimer la durée de fonctionnement d'une pile ou d'un accumulateur en fonction des caractéristiques du récepteur. - Exploiter une documentation pour extraire les caractéristiques utiles d'une pile, d'un panneau photovoltaïque, d'un accumulateur ou d'une pile à combustible. <p>Capacités expérimentales :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Concevoir et réaliser un protocole expérimental pour déterminer la caractéristique intensité-tension d'un panneau photovoltaïque et la comparer à celle d'une source idéale. - Effectuer le bilan énergétique d'un panneau photovoltaïque.

• **Énergie et ondes**

<p>Le programme de première introduit les différentes gammes d'ondes électromagnétiques (des rayonnements gamma aux ondes radio) et les classe sur le plan énergétique. En classe terminale, les grandeurs flux et éclairement énergétiques sont définies de manière à effectuer des bilans énergétiques et à estimer l'énergie électromagnétique reçue par un système. L'énergie reçue par une cellule photovoltaïque et l'énergie déposée par un laser permettent d'illustrer ces notions.</p>	
<p>Notions et contenus</p>	<p>Capacités exigibles</p>
<p>Puissance. Flux énergétique. Éclairement énergétique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Citer et exploiter la relation entre le flux énergétique (en W) et l'éclairement énergétique (en $W \cdot m^{-2}$). - Estimer le rendement d'un panneau photovoltaïque à partir de données expérimentales fournies et identifier les facteurs limitants. <p>Capacité expérimentale :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre un protocole expérimental pour réaliser le bilan énergétique et mesurer le rendement d'un panneau photovoltaïque.

<p>Rayonnement laser.</p>	<ul style="list-style-type: none">- Établir et exploiter la relation entre l'énergie reçue par un système, le flux énergétique et la durée d'exposition.- Citer les principales propriétés d'un faisceau laser (directivité, monochromaticité, concentration d'énergie).
<p>Protection contre les risques du rayonnement laser.</p>	<ul style="list-style-type: none">- Citer les consignes de sécurité et exploiter une norme pour déterminer la durée maximale d'exposition.- Extraire d'une documentation les principales caractéristiques d'un laser et les relier à son utilisation.

Programme de mathématiques

Intentions majeures

En étroite articulation avec le programme de l'enseignement commun qu'il permet à la fois de compléter et d'approfondir, le programme de l'enseignement de spécialité de physique-chimie et mathématiques vise deux objectifs :

- permettre l'acquisition de connaissances et le développement de compétences mathématiques immédiatement utiles pour la physique, la chimie et les biotechnologies (intégration, fonction exponentielle de base e) ;
- développer des capacités d'abstraction, de raisonnement et d'analyse critique dont le rôle est essentiel dans la réussite d'études supérieures.

Plusieurs concepts et outils mathématiques, déjà abordés en classe de première, sont utilement consolidés et réinvestis dans le cadre d'activités conjointes menées avec le professeur de physique-chimie.

La progression retenue pour la partie « Mathématiques » du programme doit tenir compte à la fois de l'avancement de l'enseignement commun de mathématiques et de l'utilisation des notions mathématiques dans l'enseignement de physique-chimie.

Analyse

• Intégration

Contenus

- Définition de l'intégrale entre a et b ($a < b$) d'une fonction f positive sur $[a;b]$ comme aire sous la courbe ; notation $\int_a^b f(x)dx$.
- Approximation d'une intégrale par la méthode des rectangles. Mise en relation des écritures $\sum_{i=1}^n f(x_i)\Delta x_i$ et $\int_a^b f(x)dx$.
- Définition de l'intégrale d'une fonction négative sur $[a;b]$; extension aux fonctions ne gardant pas un signe constant.
- Définition de $\int_a^b f(x)dx$ lorsque $a > b$.
- Propriétés de l'intégrale : linéarité, positivité, croissance, relation de Chasles.
- Valeur moyenne d'une fonction.
- Intégrale dépendant de sa borne supérieure : $F(x) = \int_a^x f(t)dt$; dérivée.
- $\int_a^b f(x)dx = F(b) - F(a)$ où F est une primitive de f .

Capacités attendues

- Calculer l'intégrale d'une fonction sur un intervalle $[a;b]$.
- Calculer la valeur moyenne d'une fonction sur un intervalle $[a;b]$.
- Calculer une aire sous une courbe ou entre deux courbes.

Commentaires

- L'existence de l'intégrale est admise pour toutes les fonctions considérées.
- La formule de l'aire d'un rectangle (respectivement d'un trapèze) est utilisée pour calculer l'intégrale entre a et b d'une fonction constante (respectivement d'une fonction affine).
- La propriété de croissance de l'intégrale et la relation de Chasles sont mises en relation avec les propriétés des aires dans le cas de fonctions positives et admises dans le cas général.

- Un logiciel de géométrie dynamique permet de visualiser la méthode des rectangles et d'appréhender la fonction $x \mapsto F_a(x) = \int_a^x f(t)dt$.
- Dans une intégrale $\int_a^x f(t)dt$ on distingue le statut du paramètre a , de la variable x et de la variable muette t .
- La valeur moyenne d'une fonction positive sur un intervalle $[a;b]$ s'interprète comme l'une des dimensions d'un rectangle dont l'aire est égale à l'intégrale $\int_a^b f(x)dx$ et dont l'autre vaut $b - a$.
- Dans le cas d'une fonction f positive et croissante, la valeur de la dérivée en x_0 de la fonction $x \mapsto F_a(x) = \int_a^x f(t)dt$ est obtenue en encadrant le taux de variation de F_a entre x_0 et $x_0 + \Delta x$ par $f(x_0)$ et $f(x_0 + \Delta x)$.

Situations algorithmiques et numériques

- Calculer une valeur approchée d'une intégrale par la méthode des rectangles.
- Estimer une aire par la méthode de Monte-Carlo.

• La fonction exponentielle de base e

Contenus

- Nombre e et fonction $x \mapsto e^x$.
- Dérivée de la fonction $x \mapsto e^x$.
- Dérivée de la fonction $x \mapsto e^{kx}$ pour k réel.
- Courbe représentative.
- Limites en $-\infty$ et en $+\infty$.
- Croissance comparée en $+\infty$: $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{e^x}{x^n}$; $\lim_{x \rightarrow +\infty} x^n e^{-x}$ pour n entier naturel non nul.

Capacités attendues

- Utiliser les propriétés algébriques de l'exponentielle pour transformer des expressions.
- Étudier les variations de fonctions somme, produit ou quotient de fonctions exponentielles (du type $x \mapsto e^{kx}$ pour k réel) et de fonctions polynômes.
- Déterminer les limites en $-\infty$ et en $+\infty$ de fonctions somme, produit ou quotient de fonctions exponentielles et de fonctions polynômes.

Commentaires

- L'introduction de la fonction exponentielle fait suite au travail sur les fonctions $x \mapsto a^x$ (pour $a > 0$) de l'enseignement commun. Le nombre e est introduit en recherchant, à l'aide d'un logiciel de géométrie dynamique, une valeur du paramètre a pour laquelle la fonction $x \mapsto a^x$ a une tangente en 0 de pente égale à 1. L'existence et l'unicité de cette valeur, notée e (appelée nombre d'Euler), sont admises.
- Une approche expérimentale permet de percevoir les résultats sur les limites. Dans les exercices, on étend naturellement et sans formalisme les résultats du cours à des fonctions du type $x \mapsto \frac{e^{kx}}{x^n}$ ou $x \mapsto x^n e^{-kx}$ pour des valeurs numériques strictement positives du réel k et de l'entier n .
- L'égalité $\frac{e^{x_0+\Delta x} - e^{x_0}}{\Delta x} = e^{x_0} \times \frac{e^{\Delta x} - 1}{\Delta x}$ permet de justifier la dérivée de $x \mapsto e^x$ en x_0 .
- La dérivée de $x \mapsto e^{kx}$ est obtenue par application du résultat sur la dérivation de $x \mapsto f(ax+b)$, au programme de la classe de première STL.

Liens avec l'enseignement de physique-chimie

- Désintégration radioactive.
- Régime permanent d'un système en lien avec la limite de la fonction exponentielle.
- Cinétique d'une réaction chimique d'ordre 1.

Situations algorithmiques et numériques

- Recherche d'une valeur approchée de e par balayage ou dichotomie sur les valeurs de a , le nombre dérivé en 0 de la fonction $x \mapsto a^x$ étant approché par le taux de variation pour un accroissement Δx arbitrairement fixé.

• La fonction logarithme népérien

Contenus

- Définition du logarithme népérien de a pour $a > 0$ comme unique solution de l'équation $e^x = a$; notation \ln .
- Sens de variation.
- Propriétés algébriques : $\ln(ab) = \ln a + \ln b$, $\ln\left(\frac{a}{b}\right) = \ln a - \ln b$, $\ln(a^n) = n \ln a$, $\ln(\sqrt{a}) = \frac{1}{2} \ln(a)$, $\ln(a^x) = x \ln a$ pour n entier, x réel, a et b réels strictement positifs.
- Lien avec le logarithme décimal.
- Courbe représentative.
- Limites en 0 et en $+\infty$.

Capacités attendues

- Utiliser les propriétés algébriques de la fonction logarithme népérien pour transformer des expressions.
- Résoudre des équations et des inéquations d'inconnue x du type : $e^{ax} = b$; $e^{ax} > b$; $\ln(x) = b$; $\ln(x) > b$.
- Étudier des fonctions somme, produit ou quotient de fonctions polynômes et de la fonction $x \mapsto \ln(x)$.

Commentaires

- Pour la définition du logarithme népérien de a , l'existence et l'unicité de la solution de l'équation $e^x = a$ pour $a > 0$ sont admises.
- La croissance de la fonction logarithme népérien peut être obtenue à partir de la définition du logarithme népérien et de la croissance de la fonction exponentielle.
- Le travail sur la fonction logarithme népérien est pensé en lien avec celui sur la fonction logarithme décimal de l'enseignement commun afin d'assurer la cohérence didactique.
- L'égalité $\ln(a^x) = x \ln a$ pour x non entier est admise. Elle peut être démontrée pour x entier.
- L'expression de la dérivée de la fonction $x \mapsto \ln(x)$ peut être admise dans un premier temps, puis justifiée en appliquant le théorème de dérivation d'une fonction composée à la fonction $x \mapsto e^{\ln(x)}$ et en exploitant l'identité : $e^{\ln(x)} = x$.

Liens avec l'enseignement de physique-chimie

- Calcul de la demi-vie d'un élément radioactif.
- Temps de demi-réaction d'une réaction chimique dont la cinétique est d'ordre 1.
- Ondes sonores, pH et relation de Nernst en lien avec le logarithme décimal vu dans l'enseignement commun.

• Équations différentielles

Contenus

- Notion d'équation différentielle ; notion de solution.
- Équations différentielles du type $y' = ay$; $y' = ay + b$.

Capacités attendues

- Vérifier qu'une fonction donnée est solution d'une équation différentielle.
- Déterminer l'ensemble des solutions d'une équation différentielle du type $y' = ay + b$.
- Déterminer la solution d'une équation différentielle du type $y' = ay + b$ vérifiant une condition initiale $y(x_0)$ donnée.

Commentaires

- Pour faciliter la compréhension de la notion d'équation différentielle, des exemples ne relevant pas uniquement du cadre linéaire à coefficients constants ou du premier ordre sont présentés. Par exemple : $2y - xy' = 0$, $y' + y^2 = 0$, $y'' + \omega^2 y = 0 \dots$
- Dans le cas de l'équation homogène $y' = ay$, il est possible de démontrer que la somme de deux solutions et le produit d'une solution par une constante sont encore solutions.
- L'unicité de la solution d'une équation différentielle vérifiant une condition initiale donnée est admise.
- Les notations de la dérivée, y' et $\frac{dy}{dx}$, sont toutes deux utilisées. La première privilégie l'aspect fonctionnel, la seconde, particulièrement adaptée aux sciences physiques, met en évidence le nom de la variable et exprime un rapport de variations infinitésimales entre deux grandeurs.

Liens avec l'enseignement de physique-chimie

- Chute verticale avec un frottement fluide proportionnel à la vitesse : régime permanent, temps caractéristique. Le temps caractéristique correspond à l'abscisse du point d'intersection de la tangente en 0 à la courbe représentative de la fonction vitesse avec l'asymptote horizontale à cette courbe ; on peut démontrer qu'il s'agit de l'instant où la vitesse atteint 63% environ de la vitesse limite.
- Loi de décroissance radioactive: l'égalité symbolique $dN = -\lambda N dt$ est à travailler conjointement avec le professeur de physique-chimie. Cette égalité traduit la proportionnalité du taux d'évolution du nombre de noyaux entre deux instants infiniment voisins t et $t + \Delta t$ avec le nombre de noyaux à l'instant t : $\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$ soit $\Delta N = -\lambda N \Delta t$. Par passage à la limite, on obtient : $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ ou encore, en écriture différentielle : $dN = -\lambda N dt$.

Situations algorithmiques et numériques

- Méthode d'Euler pour approcher la courbe représentative de la fonction exponentielle, solution de l'équation différentielle : $y' = y$ avec la condition initiale $y(0) = 1$.

• La composition de fonctions

Contenus

- Définition de la composée de deux fonctions ; notation $v \circ u$.
- Dérivée de la composée de deux fonctions : $(v \circ u)' = u' \times (v' \circ u)$.
- Expression d'une primitive de $u'f(u)$ en fonction d'une primitive de f et de la fonction u .

Capacités attendues

- Identifier la composée de deux fonctions dans une expression simple.
- Calculer la dérivée des fonctions composées usuelles :
 - $x \mapsto (u(x))^n$ pour n entier relatif ;
 - $x \mapsto \cos(u(x))$ et $x \mapsto \sin(u(x))$;
 - $x \mapsto e^{u(x)}$ et $x \mapsto \ln(u(x))$.
- Calculer des primitives de fonctions de la forme :
 - $x \mapsto f(ax + b)$ connaissant une primitive de f ;
 - $u' u^n$ pour n entier relatif ; cas particulier de $\frac{u'}{u}$;
 - $u' e^u$; $u' \cos u$; $u' \sin u$.

Commentaires

- La compréhension de la formule générale de dérivation d'une fonction composée peut s'appuyer sur l'écriture du taux de variation $\frac{v(u(x)) - v(u(x_0))}{x - x_0} = \frac{v(u(x)) - v(u(x_0))}{u(x) - u(x_0)} \times \frac{u(x) - u(x_0)}{x - x_0}$ sous la forme $\left(\frac{\Delta(v \circ u)}{\Delta x}\right)_{x_0} = \left(\frac{\Delta v}{\Delta u}\right)_{u(x_0)} \times \left(\frac{\Delta u}{\Delta x}\right)_{x_0}$ (avec un abus d'écriture dans le second membre de cette dernière l'égalité).
- La formule générale $(v \circ u)' = u' \times (v' \circ u)$ permet d'unifier, en fin d'apprentissage, les résultats relatifs aux dérivées des fonctions composées usuelles.
- La formule de la dérivée du quotient, admise en classe de première, peut être ici démontrée en écrivant : $\frac{u}{v} = u \times \frac{1}{v}$.