

Cycle(s)	1	2	3	4									
Classe(s)	PS	MS	GS	CP	CE1	CE2	CM1	CM2	6 ^e	5 ^e	4 ^e	3 ^e	
Lycée(s)	Général				Technologique				Professionnel				
Niveau(x)	CAP				Seconde				Première				Terminale
Enseignement(s)	Commun				De spécialité				Optionnel				
Physique-chimie													

Fiche repères pour l'enseignant – Relation entre grandeurs physiques

Contribution de la physique-chimie à la construction des savoirs fondamentaux

Un ensemble de sept fiches repères a été produit pour expliciter les articulations entre apprentissage de la physique-chimie et construction des savoirs fondamentaux. Elles proposent un certain nombre de clefs pour la conception et la conduite d'un enseignement de physique-chimie qui favorise le travail des savoirs fondamentaux, à partir de situations pédagogiques propres à la discipline

Enjeux pédagogiques et didactiques

En physique-chimie, une relation exprime une égalité entre grandeurs physiques. Ce modèle mathématique permet, dans certaines limites, d'interpréter et de prévoir des comportements du monde qui nous entoure¹.

Une grandeur² se définit comme un concept servant à décrire des objets ou des phénomènes. Elle peut être mesurable, c'est-à-dire évaluée par comparaison avec une grandeur de même espèce prise comme référence (Malifaud, P. Mesure (unité ou étalon), 2008), ou simplement repérable. Qu'elle soit scalaire ou vectorielle, une grandeur est toujours notée à l'aide d'une lettre ou plusieurs. Cette lettre peut prendre différents statuts : variables³, paramètres, constantes ou fonctions – des distinctions importantes à comprendre (consulter l'annexe 1 : Les différents statuts de la lettre).

¹ [La modélisation, une activité essentielle](#). Eduscol. MENJ, 2019

² [Le mot du chercheur « enseigner les grandeurs et mesures »](#). Académie de Lyon, juin 2020

³ [Utiliser le calcul littéral](#). Eduscol, MENESR, 2016

Selon les limites du modèle, une relation peut être qualifiée de principe⁴, de loi, ou encore de théorème (consulter l'Annexe 2 : Les énoncés théoriques – loi, principe, théorème). Ces termes recouvrent des portées et des sens différents qu'il est nécessaire de distinguer afin de savoir quand et pourquoi les utiliser.

Le signe « = » lui-même peut revêtir des statuts différents selon le contexte. Lorsqu'il exprime une égalité universellement vraie, la relation devient une identité. En informatique, il peut aussi servir à symboliser une affectation. Enfin, dans une équation, le signe « = » prend un statut particulier, marquant une relation à résoudre.

Obstacles ou difficultés pouvant être rencontrés par les élèves

La pluralité des significations — qu'il s'agisse du statut des lettres utilisées (variables, paramètres, constantes, fonctions) ou de la nature des énoncés théoriques — constitue un obstacle à l'appropriation des relations entre grandeurs physiques. Les élèves doivent « naviguer » entre différentes représentations, comme l'équation d'une trajectoire $y(x)$, la position en fonction du temps $x(t)$, ou encore l'allongement d'un ressort noté x , ce qui peut générer de la confusion. Une difficulté fréquente, liée à un obstacle de notation mathématique, réside notamment dans la distinction entre une fonction, comme $v(t)$, qui décrit l'évolution d'une grandeur, et la valeur prise par cette grandeur à un instant donné. Cette confusion peut mener à des raisonnements erronés, tels que : « si la vitesse est nulle, alors l'accélération l'est aussi ».

La relation mathématique mobilisée dans un énoncé de physique-chimie ne se réduit pas à une simple « recette de calcul » : elle condense une modélisation du réel à travers des grandeurs repérables ou mesurables, structurées par des hypothèses. Pourtant, dans la pratique scolaire, la manipulation de la relation mathématique est souvent réduite à une série d'automatismes appuyée sur des routines qui masquent le raisonnement sous-jacent. Deux exemples permettent d'illustrer ce point :

Exemple 1 : Isolement de la variable

Dans l'enseignement, l'isolement d'une variable est fréquemment abordé à l'aide d'astuces ou de formulations inappropriées, telles que « passer de l'autre côté ». Ces procédures rapides font l'impasse sur le raisonnement algébrique fondé sur les opérations réciproques et sur le sens du signe égal.

Exemple 2 : Erreur d'homogénéité

Les erreurs d'unités sont fréquentes, notamment car l'élève ne donne pas toujours de sens aux unités et n'intègre pas qu'elles sont soumises à l'algèbre.

Modéliser une relation entre grandeurs physiques à partir d'un graphique pose parfois des difficultés aux élèves. Beaucoup ont tendance à privilégier spontanément une modélisation linéaire, même lorsque ce choix n'est pas justifié. Lorsque la relation est effectivement linéaire, l'identification du coefficient directeur peut poser un problème, notamment en raison d'une compréhension incomplète de sa signification physique. De plus, la dispersion apparente des points expérimentaux, qui ne sont pas parfaitement

⁴ [Dictionnaire Mathématique Physique-Chimie](#) IREM, Université de Strasbourg, 1996

alignés, est souvent perçue comme une erreur, alors qu'elle s'explique généralement par les incertitudes de mesure.

Pistes de remédiation - Exemples de mise en œuvre

Valoriser le raisonnement algébrique dans l'isolement d'une variable et exploiter le langage naturel, avec la possibilité d'un passage à l'unité.

Constat : Les astuces comme « le triangle magique » ou le produit en croix masquent souvent le raisonnement.

Pistes de remédiation :

- enseigner l'égalité comme fondement des opérations réciproques ;
- verbaliser et ritualiser les étapes de résolution : isoler, simplifier, résoudre ;
- préférer une écriture en colonne pour les égalités successives à la place d'une écriture en ligne ;
- vérifier l'homogénéité avec les unités ;
- vérifier le résultat par analyse du comportement des grandeurs.

Exemple : Partir de $d = v \times t$. Pour isoler t : Si d double, t double ; si v double, t est divisé par 2 donc $t = d / v$

- verbaliser les propriétés mathématiques des grandeurs⁵.

Exemple : « À masse fixe, l'énergie cinétique évolue avec le carré de la vitesse, si la vitesse est multipliée par 2, l'énergie cinétique est multipliée par 4 ».

- passer à l'unité⁵.

Exemple : « 150 km en 3 h, donc 50 km en 1 h, donc 250 km en 5 h ».

Ancrer les relations dans des situations concrètes grâce aux unités

Constat : Les « formules » sont souvent utilisées sans comprendre le sens des grandeurs physiques. Les erreurs d'unités génèrent des erreurs de raisonnement.

Pistes de remédiation :

- conserver les unités dans les calculs pour vérifier la cohérence dimensionnelle ;
- identifier les erreurs à travers les unités (ex. : une vitesse ne s'exprime pas en secondes) ;
- encourager la verbalisation⁵ : « Une vitesse, c'est une distance par unité de temps ».

Exemple : Au lieu de calculer directement $v = 240 / 2$, on écrit : $v = 240 \text{ km} / 2 \text{ h} = 120 \text{ km/h}$.

Donner du sens aux variables dans la relation entre les grandeurs

Constat : Les lettres sont rarement vues comme des variables dépendantes/indépendantes et l'influence entre les variables n'est pas exploitée au sein d'une relation.

Pistes de remédiation :

- associer la grandeur à une lettre pour créer une variable dans les énoncés ;
- analyser le comportement des grandeurs variables dans une relation⁵.

⁵ Guide pratique [Mathématiques des grandeurs : Opérations et proportionnalité](#), IREMS de Paris, édition 2024

Exemple : Pour une masse fixée d'un liquide, si le volume du liquide augmente, sa masse volumique diminue.

Points d'attention pour l'enseignant

Préciser le domaine de validité d'une relation entre grandeurs est un point de vigilance.

Exemple : *loi de Beer Lambert*.

Il convient d'insister auprès des élèves sur le fait que les grandeurs ne sont pas toujours proportionnelles, et donc que le graphique d'une des grandeurs en fonction de l'autre n'est pas toujours une droite.

Exemple : *L'énergie cinétique est proportionnelle au carré de la vitesse pour un solide en translation*.

Il est essentiel que l'enseignant explicite non seulement le sens physique des grandeurs, mais également la nature des objets mathématiques impliqués dans les relations : *fonction, variation, taux de variation, dérivée, etc.* Il est donc nécessaire de travailler en étroite collaboration avec les collègues de mathématiques.

Pour aller plus loin

- Béroard, S. ; Génitet, A. ; Gidrol, G. ; Mathurin, I. Obstacles à la compréhension des Maths et des Sciences. Apports de la Gestion mentale. Chronique sociale, 2023
- Dusseau, J.M. ; Lerouge, A. ; Malafosse, D. [Étude en inter-didactique des mathématiques et de la physique de l'acquisition de la loi d'Ohm au collège : changement de cadre de rationalité](#), 2001, p.68-91
- GRIESP. [Réussir en mécanique du cycle 3 au cycle terminal du lycée](#) . MEN, 2018
- [WebTV spéciale Maths-PC. Emission complète. Académie de Créteil](#), 2024

Annexes

Les élèves rencontrent de nombreuses difficultés à transposer les notions et procédures mathématiques dans des situations de physique-chimie.

Cette difficulté est, par exemple, visible dans la manière dont les élèves abordent les relations algébriques. En physique-chimie, les lettres sont des quantités mesurables avec des unités, alors que les élèves les manipulent souvent comme de simples inconnues numériques. Une égalité bien que numériquement vraie peut être incorrecte en physique-chimie car elle ne respecte pas l'homogénéité dimensionnelle.

La comparaison des cadres culturels des mathématiques et de la physique-chimie est éclairée par la notion de *cadre de rationalité*⁽⁷⁾, défini comme un ensemble structuré du fonctionnement de la pensée. Ce cadre se caractérise par quatre composantes essentielles :

- les objets propres à ce champ disciplinaire,

- le type de processus de conceptualisation mis en œuvre (qu'il soit familier ou scientifique),
- les règles de rationalité, incluant les modalités de validation et les formes de raisonnement spécifiques,
- et enfin, les registres sémiotiques qui servent de supports à la conceptualisation et à la communication (par exemple, le registre graphique ou le registre algébrique).

Pour concevoir des stratégies d'enseignement adaptées, et ainsi accompagner les élèves dans le passage d'un cadre de rationalité à l'autre, il est essentiel de bien connaître :

- les statuts pris par une lettre dans une relation entre grandeurs physiques (voir annexe 1),
- les statuts respectifs des énoncés théoriques fréquemment rencontrés en physique-chimie (voir annexe 2).

Annexe 1 - Les différents statuts de la lettre en physique-chimie

En physique-chimie, en fonction de l'expérience menée ou du problème étudié, les lettres peuvent prendre, à tour de rôle, les statuts **de variables**, **de paramètres**, **de constantes** ou **de fonctions**.

Pour les élèves, donner du sens à une relation entre grandeurs physiques, nécessite d'avoir identifié la signification physique de chaque lettre utilisée et de repérer son statut dans la relation.

Le statut de variables

La lettre correspond à une grandeur mesurable qui peut changer. Une **variable** :

- est une **grandeur physique** : elle peut être mesurée et possède une unité ;
- **change** en fonction du contexte expérimental.

Exemple 1 : dans la relation $U = R \times I$, avec un conducteur ohmique $R = 100 \, \Omega$:

- U est une variable si elle est modifiée par une source de tension variable
- I est une variable car elle dépend de U et de R

Remarque : la variable peut prendre le statut de **fonction** comme I dans l'exemple 1.

Exemple 2 : dans la relation modélisant la position d'un système en chute libre au cours du temps : $z(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + z_0$, t est une variable.

Remarque : la variable peut prendre le statut d'**inconnue** comme dans l'exemple 2 dans le cas où l'on cherche à calculer le temps nécessaire au système pour toucher le sol. La relation devient alors une équation.

Le statut de paramètres

La lettre correspond à une quantité fixée pour un modèle donné.

Un **paramètre** :

- est souvent une **grandeur physique**.
- est **fixée** dans le cadre d'une expérience.

Exemple : la masse volumique d'un corps pur ρ a souvent le statut de paramètre. Elle reste constante dans le cadre des expériences mises en œuvre tant que la composition du système ne change pas.

Remarques :

- le paramètre **peut varier** si les conditions de l'expérience changent.
- il peut prendre le statut d'**inconnue** quand on cherche à le calculer.

Le statut de constantes

Le mot « constante » est polysémique. Il est donc nécessaire de l'expliciter et de le contextualiser, car son statut varie selon la nature du phénomène étudié.

En physique-chimie, on manipule **des constantes fondamentales, des données physico-chimiques et parfois des grandeurs constantes au cours du temps.**

Les constantes fondamentales

La lettre correspond à une constante physique (quantité dont la valeur numérique est fixe). Elle est à l'origine du système d'unités et n'admet pas d'incertitude.

Exemple : la célérité de la lumière dans le vide ($c = 299\,792\,458\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) qui permet avec la seconde (unité de base du système) de définir le mètre.

Les données physico-chimiques

La lettre correspond à une grandeur physique qui dépend du système d'unités mais qui ne le définit pas.

Exemple : la masse molaire du carbone ($M(^{12}\text{C}) = 12,0\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$).

Les grandeurs constantes au cours du temps

La lettre correspond à une grandeur physique qui ne varie pas sur la durée de l'étude du système.

Exemple : on alimente une lampe avec un générateur de tension idéal. La puissance est constante alors que l'énergie varie avec le temps.

Remarque : on rencontre parfois des grandeurs mathématiques **constantes qui dépendent des conditions initiales** du système étudié.

Exemple : pour un objet en chute libre verticale : $v(t) = -g \times t + v_0$. La vitesse v_0 est une constante car sa valeur est la même pour la durée de l'étude. Elle dépend de l'état initial (si on lâche ou si on lance l'objet)

Le statut de fonctions

Si la lettre dépend d'une autre grandeur, la notion mathématique de fonction permet de traduire cette dépendance.

En mathématiques, on note souvent x la variable, f la fonction et $f(x)$ l'image de x .

En physique-chimie, la variable temps t est la plus fréquente. Par abus de langage, on confond souvent la lettre qui désigne la grandeur et celle qui désigne la fonction.

Exemple : à partir de l'instant où la voiture démarre, l'abscisse du point modélisant la voiture, dont la trajectoire est une ligne droite, satisfait l'équation : $x(t) = 1,2\text{ t}^2 + 7,2$.

Dans cet exemple la lettre x peut être une notation ambiguë pour l'élève car en mathématiques x est souvent une variable et les élèves n'ont pas l'habitude de croiser cette lettre pour représenter une fonction qui dépend du temps.

Les différents statuts de la lettre (variables, paramètres, constantes et fonctions) ne sont pas figés.

Exemple : dans l'expression $P \times V = n \times R \times T$

- Si on observe l'évolution de la pression P en fonction de la température T pour un gaz donné contenu dans un récipient de volume V fixe, avec n une quantité de matière constante : V et n sont des paramètres et P et T sont des variables.

- Si on envisage de faire une étude isobare du système, alors : P et n sont des paramètres et V et T sont des variables.

Ce glissement de statut montre que ces catégories ne sont pas intrinsèques aux lettres ou aux grandeurs, mais liées aux démarches de construction et d'étude du système.

Annexe 2 - Les différents statuts des énoncés théoriques en physique-chimie

Les énoncés théoriques en physique-chimie peuvent avoir plusieurs statuts : **des statuts mathématiques et des statuts épistémologiques.**

Les statuts mathématiques des énoncés théoriques

Le signe « = » des relations revêt, dans les expressions mathématiques, plusieurs statuts en cohérence avec la didactique du calcul littéral. Il est à noter que les élèves peuvent rencontrer ce symbole dans d'autres contextes comme les équations de réactions chimiques par exemple.

Le statut d'identité

Le signe « = » est utilisé pour traduire une égalité toujours vraie, quelles que soient les valeurs attribuées aux lettres. On parle alors d'identité, car les deux expressions, de part et d'autre du signe égal, ont la même valeur pour toutes les valeurs des variables. Exemple : la relation liant la puissance à la tension et l'intensité : $P = U \times I = I \times U$
Remarque : Dans ce cas, l'égalité est indépendante de tout contexte numérique.

Le statut d'équation

Le signe « = » marque une égalité vraie pour certaines valeurs de la ou des lettres. On cherche alors les valeurs qui rendent l'égalité vraie, ce sont les solutions de l'équation.

Exemple : dans le cas d'un conducteur ohmique, on cherche la valeur de I pour laquelle l'égalité $U = R \times I$ est vérifiée. Pour $U = 6 \text{ V}$ et $R = 100 \, \Omega$, la valeur de $I = 60 \text{ mA}$.

On peut noter que les élèves peuvent rencontrer des difficultés à transférer les méthodes de résolution d'équations apprises en mathématiques en physique-chimie car tous les termes y sont littéraux alors qu'en mathématiques, souvent seule l'inconnue est sous forme de lettre, tous les autres termes sont numériques. Il est nécessaire d'explicitier précisément les liens entre les deux cadres des disciplines pour rendre les résolutions plus claires à tous les élèves.

Le statut d'affectation

Le signe « = » est utilisé pour attribuer une valeur numérique à une expression ou une lettre. Il joue ici le rôle de symbole d'affectation, comme en programmation ou lors d'un calcul.

Exemple : dans le cas de la détermination de la valeur de l'énergie potentielle de pesanteur d'un solide de masse $m = 2,0 \text{ kg}$ placé dans le champ de pesanteur uniforme terrestre ($g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$) à la position $z = 1,5 \text{ m}$ (par rapport à un axe vertical ascendant dont l'origine est placée au niveau du sol) : $E_{pp} = 2,0 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \times 1,5 \text{ m} = 29 \text{ J}$.

Les statuts épistémologiques des énoncés théoriques

L'énoncé théorique en physique-chimie porte un statut épistémologique qui dépend de la nature du savoir qu'il exprime. On rencontre le plus souvent les **statuts de lois, principes et théorèmes**.

Le statut de la loi

Une loi est une relation mathématique qui traduit une corrélation entre plusieurs grandeurs physiques validée sous certaines conditions.

On peut faire la distinction entre deux types de lois :

- les lois comme généralisation d'observations.

Exemples : les lois de Boyle-Mariotte ou de Beer Lambert ont été formulées en se basant sur une cohérence et une stabilité observée sur un nombre fini et important d'observations.

- les lois qui peuvent être déduites de théories : elles sont la conséquence déductive de l'application d'un principe fondamental dans des conditions particulières.

Exemple : les lois horaires du mouvement dans un champ uniforme découlent (sont déduites par analyse mathématique) du principe fondamental de la mécanique.

Le statut de principe

Un principe est une loi d'un haut degré de généralité.

Cette relation acquiert un statut proche de celui des postulats mathématiques, car son niveau de généralité ne permet pas une validation directe et complète.

Exemples : le principe de conservation de l'énergie ou encore le principe fondamental de la dynamique

Remarque sur les lois de Newton ou principes de la mécanique newtonienne. Les lois de la mécanique newtonienne sont des principes, à la base de la théorie. À ce titre, elles sont nommées : principe d'inertie, principe fondamental de la dynamique et principe des actions réciproques

Le statut de théorème

En mathématiques, un théorème est le résultat d'une démonstration logique et rigoureuse à partir d'axiomes, caractéristique des sciences formelles.

Dans certains domaines de la physique-chimie, des résultats sont déduits mathématiquement mais leur validité ultime, dans le cadre empirique, dépend non seulement de la cohérence formelle mais aussi de la concordance avec les faits observés et des conditions d'application.

En physique-chimie, le théorème est limité par le domaine de validité des hypothèses sous-jacentes.

Exemple : le théorème de Bernoulli exprime la conservation de l'énergie mécanique pour un fluide parfait, incompressible et en écoulement stationnaire mais sur une ligne de courant uniquement.

Bibliographie

- Malafosse D., Lerouge A., Dusseau J.-M., Notions de registre et de cadre de rationalité en inter-didactique des mathématiques et de la physique », Tréma, 2000, 18, DOI : 10.4000/trema.1629
- Pierre Sagaut, 2009-2010. [*Introduction à la pensée scientifique moderne*](#)
- [*Utiliser le calcul littéral*](#). 2016. Eduscol :