ISSN 0151-7171

Revue n°189
Juin 2023

APEPA

Association des Physiciens-chimistes
Enseignement Public-privé Agricole

Bulletin spécial
Interdisciplinarité Mathématiques / Physique-Chimie

Bulletin Semestriel

BULLETIN n°189 Juin 2023

Sommaire

Sommaire……p. 1

Le mot du Président ……p. 2

Composition du bureau ……... p. 3

Composition du conseil d'administration……p. 4

Pub ANEAP, APHGEAP …….. p. 7

Bulletin d'adhésion…….. p. 8

Programme provisoire du 52ème congrès au lycée de Pamiers ……p. 9

Fiche d'inscription et tarifs du 52ème congrès…….. p. 12

Présentation de l'interdisciplinarité Mathématiques-Physique-Chimie…… p. 17

La modélisation en Physique-Chimie ……p. 19

La modélisation en Mathématiques ……... p. 41

Travaux d'enseignants en formation à l'ENSFEA (2020-2021) ……p. 47

Travaux d'enseignants en formation à l'ENSFEA (2022-2023) ……p. 75

Mémoire : les fonctions liées à la modélisation (A. Guillermin)…….. p. 87

Eléments de bibliographie sur les liens Mathématiques-Physique-Chimie…….. p.118

Vous trouverez tous ces articles **en numérique** et **en couleur** sur le site de l'ENSFEA :
http://physiquechimie-ea.ensfea.fr
A visionner et télécharger sans modération

Pour accéder au bulletin numérique les adhérents devront se munir du mot de passe qui sera envoyé par courrier électronique lors de la parution de chaque bulletin numérique.

Le mot du président

Chers adhérents, chers amis,

Comme vous le savez sans doute, nous pourrons à nouveau nous retrouver au prochain congrès de l'APEPA qui se déroulera du lundi 21 au vendredi 25 août 2023 à Pamiers en Ariège. Vous trouverez le programme détaillé dans ce bulletin.

Ce sera pour nous l'occasion d'échanger sur la réforme du bac pro, peut-être sur l'évaluation organisée en deux CCF : le premier en épreuve pratique d'une durée d'une heure à partager avec la biologie et qui portera si possible sur un thème commun, suivi dans la quinzaine d'un second CCF écrit, uniquement en physique-chimie et qui s'articulera autour d'une ou plusieurs tâches complexes.

Nous pourrons également discuter des épreuves de spécialité du bac général qui ont eu lieu au mois de mars et de leurs résultats. Mon impression est que les élèves les plus fragiles sont les plus pénalisés par la privation de ces deux mois et demi qui leur permettaient d'assimiler à un rythme raisonnable les notions du programme, le déclic ayant souvent lieu vers avril-mai. Je me permets également d'attirer l'attention sur l'incohérence entre les exigences des programmes de physique-chimie et celles en mathématiques pour ces épreuves : un élève doit pouvoir résoudre une équation différentielle du premier ordre en physique-chimie, alors que cela n'est pas exigible en mathématiques pour le mois de mars ! Pour gommer les différences en termes de difficultés et donc de notes entre les sujets du jour n°1 et du jour n°2, les barèmes des sujets des écrits sont harmonisés pour avoir une moyenne identique. Dans mon académie, elle se situe (ou a été fixée) à 11,0/20, ce qui est certainement la moyenne la plus basse de toutes les spécialités : même avec les notes des épreuves de compétences expérimentales, la physique-chimie ne peut rivaliser avec les mathématiques ou la biologie-écologie qui sont à 3 ou 4 points de mieux, pour ne citer que les spécialités proposées aux jeunes scolarisés dans notre ministère, ce qui interroge sur l'attractivité de notre discipline auprès des élèves.

Pour les élèves qui ont à passer l'oral de second groupe, la bonne nouvelle est qu'ils seront interrogés sur le programme des écrits du mois de mars uniquement.

L'attractivité de notre discipline peut également se mesurer au niveau du concours de recrutement des enseignants : le CAPESA externe de physique-chimie a été ouvert cette année ; les deux épreuves écrites en février ont permis de retenir 14 des 23 candidats qui se sont présentés. La barre d'admissibilité étant la même pour les candidats du public et du privé, aucun des deux candidats n'a été retenu pour l'enseignement privé : les 4 places n'ont donc pas pu être pourvues. Les deux épreuves orales du mois d'avril à l'ENSFEA ont permis de retenir 8 candidats pour occuper toutes les places proposées. Il n'y a pas de candidats en liste complémentaire. Espérons que ces candidats maintiennent leur choix pour l'enseignement agricole et souhaitons un bon accueil aux futurs collègues !

Plus récemment, les conditions de rémunération des enseignants ont été revues à la hausse : essentiellement en doublant la prime d'ISOE, ce qui va être également appliqué à partir de septembre prochain dans notre ministère, mais rien n'est spécifié quant au ratio des enseignants accédant à la hors classe ou à la classe exceptionnelle pour le MASA.

Bref, nous aurons de quoi débattre à Pamiers, alors j'espère vous y retrouver nombreux dans la joie et la bonne humeur !

Amicalement,

Lionel Christmann

BUREAU APEPA 2022 – 2023

ü **Président** : **CHRISTMANN Lionel**

ü **Vice-Présidente** :

Chargé de l'enseignement supérieur et des domaines hygiène et sécurité : DUCAMP Christine

ü **Présidente d'Honneur** : **PARAVY Christiane**

ü **Personnel de laboratoire** : **LOQUET Emmanuelle**

ü **Secrétaire** : **LE-COQ Delphine**

ü **Secrétaire adjointe** : **MULLER Bernadette**

ü **Trésorier** : **THURILLAT Jérôme**

ü **Trésorier adjoint** : **HERVE Nicolas**

ÍÎÍÍÎÍÎ

Conseil d'administration
APEPA 2022 / 2023

- **Présidente d'Honneur :**
  Christiane Paravy
  (LEGTA de Saint-Germain-en-Laye)
  311 rue Pasteur
  78 955 Carrière-sous-Poissy

- **Président :**
  Lionel Christmann
  (LEGTA d'Obernai)
  44 Boulevard de l'Europe
  67210 Obernai

- **Vice – présidente :**

Chargée de l'enseignement supérieur et des domaines hygiène et sécurité
Christine Ducamp (ENSFEA Toulouse)
9 rue des glycines
31750 Escalquens

- **Secrétaire :**
  Delphine Le-Coq (LEGTA de Pamiers)
  route de Belpech
  09100 Pamiers

- **Secrétaire adjointe :**
  Bernadette Muller
  (LEGTA de Savoie La Motte Servolex)
  5 rue du Mont St Michel
  73490 La Ravoire

- **Chargé des personnels de laboratoire :**

Technicien formation recherche
Emmanuelle Loquet (LEGTA Angers le Fresne)
chemin du Fresne
49130 Sainte Gemmes sur Loire

- **Trésorier:**
  Jérôme Thurillat
  (LEGTA Ste Livrade sur Lot)
  22 rue Lous Perdigats
  47 440 Casseneuil

- **Trésorier adjoint :**
  Nicolas Hervé (ENSFEA Toulouse)
  5 rue Blaise Pascal
  31500 Toulouse

- **Chargé de la Publicité dans le bulletin :**
  Gilles Espinasse (ENSFEA Toulouse)
  2 route de Narbonne
  BP22687
  31326 Castanet-tolosan

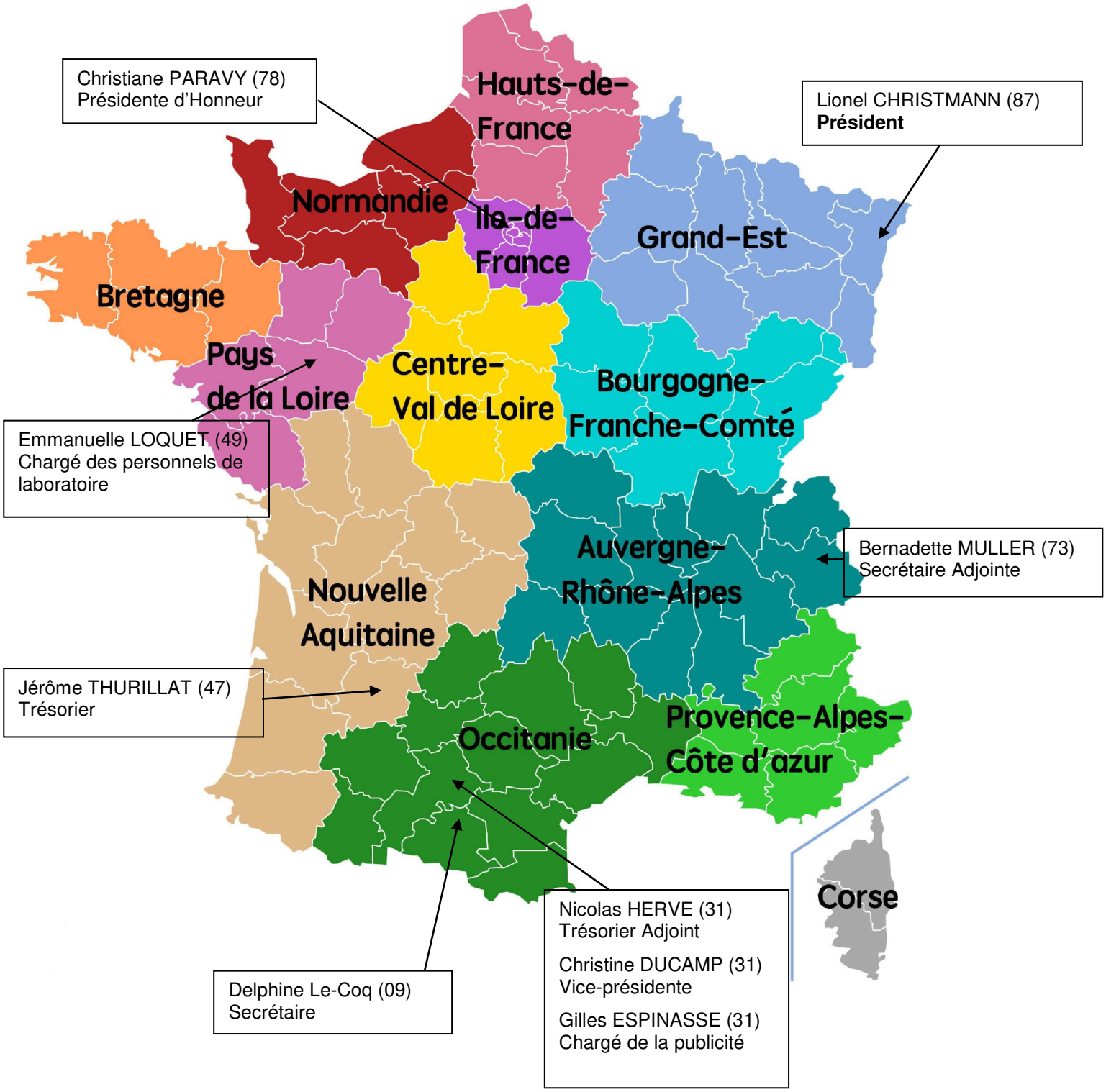
- **Chargés de la direction de publication du bulletin :**
  Christine Ducamp et Nicolas Hervé

- **Chargé des relations avec l'UdPPC :**
  Lionel Christmann

- **Chargé des relations avec les associations ANEAP et APHG-EAP :**
  Lionel Christmann

Situation géographique

des membres du Conseil d'Administration de l'APEPA



Chargés de région

AUVERGNE RHONE ALPES **Michèle BOUCHET** (LEGTA de Marmilhat) 63370 Lempdes - Tél : 04 73 83 72 50 **Bernadette MULLER** (LEGTA de Savoie) 73290 La Motte-Servolex Tél : 04 79 25 87 91 (labo)	**BOURGOGNE FRANCHE COMTE** **Thierry SOLIMEO** (LEGTA de Mâcon) 71960 Davayé Tél : 03 85 33 56 00
CENTRE VAL DE LOIRE **Sarah BEDU** (LEGTA Naturapolis Châteauroux) 36000 Châteuroux Tél : 02 54 53 11 00	**GRAND EST** **Lionel CHRISTMANN** (LEGTA d'Obernai) 67212 Obernai Tél : 03 88 49 99 49
HAUTS DE FRANCE **Rachid FETTAR** (LEGTA de l'Oise) 60600 Airion Tél : 03 44 50 84 40 **Guillaume et Anne-Sophie PODEVINS** **Marc VERSEPUECH et Céline BARBIER** (LEGTA de Douai) 59500 Douai Tél : 03 27 99 75 55	**NORMANDIE** **Thomas SAUVAGET** (LEGTA Sées) 61500 Sées Tél : 02 33 81 74 00 **Elodie MORIN** (LEGTA St Lô-There) 50620 Le Hommes d 'Arthenay Tél : 02 33 77 80 80
NOUVELLE AQUITAINE **Marie-Christine FINGIER** et **Jérôme THURILLAT** (LEGTA Etienne Restat) 47110 Ste Livrade sur Lot Tél : 05 53 40 47 00	**OCCITANIE** **Christine DUCAMP** (ENSFEA Toulouse) 31326 Castanet Tolosan cedex Tél : 05 61 75 32 32 **Delphine LE-COQ** (LEGTA Pamiers) 09100 Pamiers Tél : 05 34 01 38 00
PAYS DE LA LOIRE **Emmanuelle LOQUET** (LEGTA Le Fresne Angers) 49036 Angers Tél : 02 41 68 60 39 (labo) **Anne BONNAUD** LEGTA Bel Air Fontenay le Comte 85200 Fontenay le Comte Tél: 02 44 37 30 01 (labo)	**BRETAGNE** ref Pays de la Loire ou Normandie **ILE DE FRANCE** ref Hauts de France **PROVENCE ALPLES CÔTE D'AZUR** ref Auvergne Rhône Alpes ou Occitanie

Chaque année, les Physiciens-Chimistes de l'Enseignement Agricole (professeurs et personnels de laboratoires) se réunissent en congrès. Ils y retrouvent leurs collègues biologistes et historiens géographes adhérents respectivement à l'ANEAP et à l'APHGEAP.
Ces deux associations participent activement à l'élaboration du congrès annuel autant sur le plan matériel que sur le choix des activités de la semaine.

Informer vos collègues de biologie et d'histoire-géographie de l'existence de ces deux associations afin qu'ils puissent adhérer et « apporter leur pierre » à chacune d'elles.

Contacts:

ANEAP : Clara Wang - LEGTA Bourges
[clara.wang@educagri.fr]

APHGEAP : Jean-Michel Fort – LEGTA de Châteauroux
[jean-michel.fort@educagri.fr]

APHGEAP : Association des Professeurs d'Histoire et de Géographie de l'Enseignement Agricole Public

ANEAP : Association des Naturalistes de l'Enseignement Agricole Public

Les activités des associations :

un bulletin semestriel
des rencontres
un congrès annuel
des conférences

Bulletin d'adhésion et d'abonnement à l'APEPA

NOM : _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ PRENOM : _

Etablissement : □privé □public

Adresse établissement : _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _

Congrès APEPA / ANEAP 2023

au Lycée Agricole de PAMIERS

du lundi 21 au vendredi 25 août 2023

Cette année, le congrès se déroulera en Ariège (09) au Lycée Agricole de Pamiers.

Tous les renseignements qui suivent sont à titre **prévisionnel**, de petits changements peuvent se produire.

En espérant vous retrouver nombreux pour cette reprise de congrès !

Programme prévisionnel du Congrès

Lundi 21 août 2023

A partir de 13h30 Accueil des participants au Lycée Agricole.

15h Visite guidée de Pamiers avec dégustation de produits locaux.

Fin d'après-midi Visite de l'exploitation du Lycée.

Repas

20h30 Présentation du programme et Assemblée Générale d'ouverture.

Mardi 22 août 2023

9h Départ en bus pour la Cité de Carcassonne.

Visite guidée de la Cité, repas et entrée au château.

17h Départ de la Cité et retour au lycée.

Dîner

Mercredi 23 août 2023

10h30 Visite de la brasserie le Grand Bison.

https://www.legrandbison.fr/

Matin ou après-midi

Visite du château de Foix.

https://www.sites-touristiques-ariege.fr/chateau-de-foix/

Matin ou après-midi

Visite de l'usine de Talc à Luzenac (à confirmer).

https://www.pyrenees-ariegeoises.com/a-voir-a-faire/a-decouvrir-0/visites-industrielles/carriere-de-talc-de-trimouns-845634

Diner

Jeudi 24 août 2023

Matin

Chemin muletier de Rancié.

https://www.pyrenees-ariegeoises.com/a-voir-a-faire/balades-et-randonnees/balades-a-pied/la-mine-de-rancie-balade-culturelle-2642804

Matin

Visite de la grotte du Mas d'Azil.

https://www.sites-touristiques-ariege.fr/grotte-du-mas-dazil-2/

14h30-15h30 Exposants de matériels de laboratoire et éditeurs.

Après-midi -Travail de groupes sur la réforme du BAC PRO et autres…

Ou échanges autour de la question de l'ours dans les Pyrénées avec l'ANA (association des naturalistes de l'Ariège).

Vendredi 25 août 2023

10h30 Assemblée générale de clôture.

12h Fin du congrès.

52ème CONGRÈS A.P.E.P.A. // A.N.E.A.P.

du 21 au 25 Août 2023 à PAMIERS

FICHE D'INSCRIPTION à retourner avant **26 Juin** à l'adresse suivante :

LE COQ Delphine

lycée Agricole de Pamiers ; route de Belpech 09100 PAMIERS

Portable : 06.26.35.55.63

LE CONGRESSISTE :

M. Mme Mlle _ Prénom _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _

Fonction (rayer les mentions inutiles) : enseignant (actif ou retraité), agent contractuel, stagiaire, personnel de laboratoire, autre (préciser) : _

Adresse de l'Établissement : _

Adresse personnelle : _

_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _

Nom, Prénom, (âge pour les enfants) :

Merci de compléter une fiche par congressiste. Mettre un numéro devant chaque visite pour indiquer votre préférence (le n°1 correspondant à votre choix préféré)

❖ Choix de la **visite du mercredi 23 août**

☐ Brasserie le Grand Bison

☐ Visite du château de Foix- matin

☐ Visite du château de Foix -après midi

☐ visite usine de Talc

❖ Choix de la **visite du jeudi 24 août matin**

☐ Chemin muletier de Rancié

☐ Visite de la grotte du Mas d'Azil

Hébergement au Lycée en chambre individuelle, de 3 pers ou de 4 pers, en internat :

☐ oui ☐ non

Indiquez si vous souhaitez un regroupement en chambre avec d'autres personnes (qui) : _ _ _

_ _

_ _

Attention, le lycée ne fournit pas les draps. Vous devez apporter votre couchage.

Date et horaire d'arrivée envisagées : le _ _ _ / _ _ _ / 2023 vers _ _ _ _ _ _ _ heures_ _ _ _ _ _

Remarques à formuler : _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _

Tarifs d'inscription au 52ème congrès de l'APEPA

Toute personne désirant participer au congrès APEPA doit envoyer la **fiche d'inscription** ci-jointe et l'accompagner d'un **chèque de caution correspondant à son adhésion** (voir bulletin d'adhésion et d'abonnement)**, libellé à l'ordre de l'APEPA.**

La somme versée constitue une avance sur les frais du séjour (droits d'inscription inclus).

Le total des frais d'hébergement au lycée et des visites est forfaitaire tel que:

Enfants de moins de 4 ans :	gratuit
Enfants de 4 à 18 ans :	**50 €**
Personnel de laboratoire :	**100 €**
Agent contractuel :	**100 €**
Enseignants, retraités et/ou accompagnateurs :	**130 €**
Enseignants stagiaires externes :	**40 €**
Nouvel adhérent APEPA :	**40 €**

ATTENTION ! LE LYCEE NE FOURNIT NI DRAPS, NI COUVERTURES.

N'OUBLIEZ PAS VOTRE COUCHAGE.

En cas d'absence au congrès, l'avance sera utilisée pour régler votre cotisation et l'abonnement au bulletin de l'APEPA pour l'année 2023 / 2024.

La fiche et le chèque doivent <u>impérativement</u> parvenir

avant le 26 juin à :

LE COQ Delphine

lycée Agricole de Pamiers ; route de Belpech 09100 PAMIERS

Portable : 06.26.35.55.63

¤¤¤

Présentation de l'interdisciplinarité Mathématiques – Physique-Chimie

Il y a bien sûr des liens historiques et scientifiques très forts entre les Mathématiques et la Physique-chimie.

Ces liens sont décrits par la phrase célèbre de Galilée *« La philosophie est écrite dans cet immense livre qui continuellement reste ouvert devant les yeux (je dis l'Univers), mais on ne peut le comprendre si, d'abord, on ne s'exerce pas à en connaître la langue et les caractères dans lesquels il est écrit. Il est écrit dans une langue mathématique, et les caractères en sont les triangles, les cercles, et d'autres figures géométriques, sans lesquelles il est impossible humainement d'en saisir le moindre mot; sans ces moyens, on risque de s'égarer dans un labyrinthe obscur. »*

En effet, les mathématiques constituent des outils qui permettent de modéliser les phénomènes physiques et chimiques… Et réciproquement, les phénomènes physiques et chimiques constituent des problèmes concrets sur lesquels peuvent se déployer les raisonnements mathématiques.

Un lien fort donc, mais qui ne doit pas gommer les spécificités de chacune des disciplines : des raisonnements plutôt déductifs en Mathématiques (la démonstration y est reine !), plutôt inductifs en Physique-Chimie (le potentiel de l'expérimentation !) ; des grandeurs dimensionnées en Physique-Chimie, des différences de terminologie et de notation, etc.

On le sait, le rapport que les élèves ont avec les Mathématiques, leur maîtrise conceptuelle et calculatoire, constituent des obstacles à l'apprentissage de la Physique-Chimie.

C'est pourquoi nous proposons ici quelques idées et activités pour travailler de front les Mathématiques et la Physique-Chimie.

Le concept qui organise ce travail est celui de **modélisation**. On le trouve à la fois dans les attendus des référentiels et programmes de Physique-Chimie et de Mathématiques (par exemple la capacité à certifier en Baccalauréat Professionnel *C1.3 Exploiter la modélisation d'un phénomène*…).

Vous trouverez donc dans ce dossier :

- Des ressources proposées par l'Éducation Nationale pour clarifier les compétences associées à la modélisation
    - dans l'enseignement de la Physique-Chimie : *La modélisation, une activité essentielle pour travailler les compétences de la démarche scientifique*
    - dans l'enseignement des Mathématiques : *La compétence Modéliser*
- Des activités pédagogiques construites par des enseignants-stagiaires externes en formation à l'ENSFEA :
    - Promotion PLPA 2020-2021
    - Promotion PLPA 2022-2023
- Un mémoire de Master MEEF qui porte sur les fonctions liées à la modélisation.

éduSCOL
Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNESSE

VOIE GÉNÉRALE ET TECHNOLOGIQUE

2DE 1RE TLE

Physique-chimie

ENSEIGNEMENT COMMUN

SPÉCIALITÉ

LA MODÉLISATION, UNE ACTIVITÉ ESSENTIELLE POUR TRAVAILLER LES COMPÉTENCES DE LA DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

Les programmes de physique-chimie – classe de seconde et enseignement de spécialité des classes de première et terminale – font de l'activité de modélisation un des deux piliers de l'enseignement de la discipline, avec la pratique expérimentale. L'objectif de ce document est d'éclairer un tel choix. À cette fin, on analyse d'abord pourquoi l'activité de modélisation joue un rôle si important pour l'apprentissage de la physique et de la chimie, puis on caractérise l'activité de modélisation et on explique pourquoi il est souhaitable de l'expliciter. Enfin, on articule l'activité de modélisation non seulement avec les activités réalisées par les élèves, mais également avec leur acquisition des compétences de la démarche scientifique.

Retrouvez éduscol sur :

Une activité essentielle pour l'apprentissage de la physique et de la chimie

Si l'on considère la science comme un corpus de connaissances d'ordre conceptuel, théorique et expérimental permettant de décrire, interpréter, comprendre les objets et les événements, alors l'activité de modélisation est centrale dans la **construction** et **l'exploitation** des connaissances scientifiques. En effet, dans une première approche, on peut considérer que l'activité de modélisation consiste non seulement à produire une description théorique d'une situation matérielle à partir de diverses observations, mais également à exploiter des éléments théoriques déjà connus pour fournir une interprétation de nouvelles observations et permettre des prévisions. La diversité des actions que recouvre l'activité de modélisation ne doit pas empêcher de la caractériser au mieux dans le contexte de l'apprentissage de la physique et de la chimie. Les préambules des programmes de physique-chimie de la classe de seconde et de l'enseignement de spécialité des classes de première et de terminale proposent quelques éléments constitutifs de la démarche de modélisation :

- simplifier la situation initiale ;
- établir des relations entre grandeurs ;
- choisir un modèle adapté pour expliquer des faits ;
- effectuer des prévisions et les confronter aux faits ;
- recourir à une simulation pour expérimenter sur un modèle ;
- choisir, concevoir et mettre en œuvre un dispositif expérimental pour tester une loi…

Pratiquer la physique et la chimie consiste pour une bonne part à construire et utiliser des modèles pour comprendre, interpréter, prévoir les événements du monde matériel qui nous entoure. La démarche de **modélisation**, par les allers et retours qu'elle induit entre contenus théoriques d'une part et objets et événements d'autre part est de fait intiment liée à la **pratique expérimentale**, sur laquelle elle s'appuie, mais qu'elle peut également étayer. Il est donc légitime de fonder les programmes de physique-chimie sur ces deux « piliers ».

L'activité « de modélisation » n'est pas réservée à la physique et à la chimie : elle se pratique évidemment dans les autres sciences expérimentales enseignées au lycée (avec cependant des nuances de significations[1]), mais également en mathématiques, dans une acception plus restreinte que celle décrite dans le présent document. Ainsi, dans les préambules des programmes de mathématiques (classe de seconde et spécialité de première), la compétence *Modéliser* fait partie des six compétences travaillées, accompagnée des expressions « faire une simulation », « valider ou invalider un modèle ». Au regard de ces mêmes programmes, en mathématiques la modélisation concerne le plus souvent la modélisation « littérale », par exemple à l'aide d'une fonction pour établir une dépendance (temporelle, éventuellement). La notion de modèle est également utilisée en mathématiques pour aborder les problèmes relevant du domaine des probabilités.

1. Par exemple, en SVT, la modélisation peut consister à recourir à un modèle « matérialisé » sous forme d'une maquette.

Pour approfondir…
Pour plus d'informations sur les différences de perception des modèles et de l'activité de modélisation par les professeurs enseignant les différentes disciplines scientifiques, on pourra se reporter à quelques documents fournis en annexe, issus des résultats de l'enquête *Démarches d'investigation dans l'enseignement secondaire : représentations des enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie (2011)*.

L'hypothèse faite ici, étayée par quelques travaux de recherche (par exemple Evrard T. & Amory B., 2015 ou Tiberghien A., 1994), est que si l'élève prend conscience que l'activité de modélisation est un enjeu essentiel de son apprentissage, il peut donner davantage de sens aux activités réalisées en classe (expériences, analyses de documents, exercices, etc.). En outre, cela peut éventuellement lui permettre d'identifier ce qui est attendu et ce qui peut lui poser problème : l'activité de modélisation est en effet une activité exigeante source éventuelle de difficultés, même à des niveaux d'apprentissage supérieurs. Il paraît donc pertinent et essentiel d'expliciter à l'élève ce qu'est la modélisation et son rôle en physique et en chimie.

> *« Les concepts qui apparaissent dans notre pensée et notre discours sont tous – du point de vue logique – de libres créations de la pensée qu'on ne peut tirer inductivement des expériences sensorielles. Si cela ne se remarque pas facilement, c'est seulement parce que nous avons l'habitude d'associer si étroitement certains concepts ou chaînes de concepts (énoncés) à certaines expériences des sens que nous ne sommes plus conscients de l'abîme – logiquement infranchissable – qui sépare le monde des expériences sensorielles du monde des concepts et des énoncés. »*
>
> Einstein, *Remarques sur la théorie de la connaissance de Bertrand Russel* (1944)

Le présent document propose de caractériser l'activité de modélisation et les modèles utilisés en physique et en chimie (partie 2). Quelques arguments sommaires à son explicitation sont ensuite exposés (partie 3). Enfin l'activité de modélisation est mise en lien avec les différents types d'activités proposées aux élèves d'une part (partie 4) et avec les compétences dites « de la démarche scientifique » identifiées dans les programmes d'autre part (partie 5).

Caractérisation de l'activité de modélisation

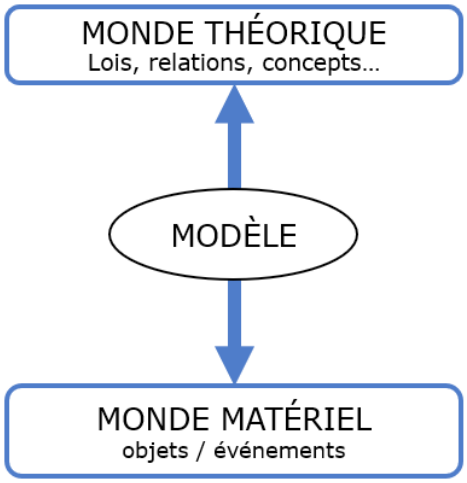
Au cours de l'apprentissage en physique et en chimie, de nombreuses consignes soumises aux élèves renvoient à des éléments plus ou moins théoriques, aux observations possibles et aux liens entre ces deux « mondes » : décrire, interpréter, expliquer, prévoir, exploiter telle loi, modéliser la situation… Distinguer description et interprétation est par exemple un travail entamé dès le cycle 4.

Exemple

Si on immerge un morceau de métal gris (bien choisi) dans un liquide bleu (bien choisi également…), on peut observer au bout de quelques minutes, un dépôt solide rougeâtre et une décoloration du liquide. À ce stade, il s'agit seulement de décrire. Décrire cette situation en évoquant une lame de zinc, un dépôt de cuivre et une solution de sulfate de cuivre procède d'un début de modélisation puisque la description est maintenant orientée par des connaissances conceptuelles : des informations jugées pertinentes pour interpréter sont sélectionnées et idéalisées à l'aide d'un concept comme celui d'espèce chimique. En fonction de la question finalement posée, la conceptualisation de la situation pourra dépasser le seul cadre descriptif afin d'interpréter et d'expliquer ce qui est observé, à l'aide de différents modèles : modèle de l'oxydo-réduction, modèle cinétique…

De façon générale, en première approche, la modélisation consiste à **mettre en relation** :

- des éléments du monde matériel : objets et évènements observables ;
- des éléments du monde théorique : concepts, relations, lois, etc.



S'il est souvent difficile d'établir des relations entre ces éléments, c'est essentiellement parce qu'ils sont de nature très différente : concrets/abstraits, observables/conceptuels…

Modèle de description ou réalité idéalisée

Le passage du monde matériel observable au monde théorique ne se fait pas brutalement, mais par « strates », en différentes étapes. Ainsi, un modèle peut être vu dans un premier temps comme un intermédiaire entre les objets et les événements d'une part, les éléments théoriques d'autre part. Il est la traduction d'une situation matérielle à l'aide de savoirs théoriques pour répondre à une question ou résoudre un problème.

Les « éléments du monde matériel » désignent ce qui est observable. Il y a deux façons de décrire ce qui est observable (la *situation matérielle*) en :

- se limitant aux objets et aux événements : il s'agit d'une description de ce qui est perçu sans faire appel à un quelconque concept scientifique ;
- utilisant des éléments conceptuels, avec des termes identifiés comme «scientifiques».

La situation matérielle devient une situation d'étude dès l'instant où l'on se pose une question à son sujet. C'est souvent la question posée qui va orienter la façon de décrire de façon idéalisée la situation.

Lorsque les éléments théoriques sont connus (essentiellement les lois physiques à utiliser, utilisant elles-mêmes des concepts), la mise en relation des «deux mondes» s'opère ainsi grâce à un **modèle de description** de la situation matérielle qui permet de traduire la situation d'étude dans les termes de la théorie, en sélectionnant les observables et les informations qui semblent pertinentes au regard du problème à traiter. Cette description dans des termes conceptuels est parfois désignée par l'expression **réalité idéalisée**.

À partir d'une même situation matérielle, le **modèle de description** choisi peut varier selon la question posée ou le problème à résoudre.

Exemples

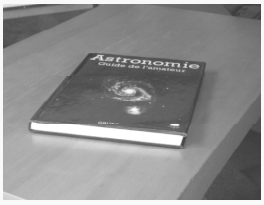
- En fonction de la question posée ou du problème à résoudre, la lumière peut être décrite comme un rayon de lumière, une onde électromagnétique, un photon… Ainsi, pour interpréter une formation d'image en optique, le modèle du rayon lumineux est suffisant pour caractériser la lumière alors que ce n'est pas le cas pour interpréter une situation de diffraction.
- Pour interpréter un mouvement d'un solide au regard des actions exercées, la description du solide par un point matériel est suffisante pour certains types de mouvements et certaines questions. S'il s'agit par exemple d'interpréter des situations de roulement ou des situations dans lesquels les frottements solides sont importants, l'idéalisation par un point matériel s'avérera insuffisante.
- La transformation chimique consistant à décrire le passage d'un mélange d'espèces chimiques d'un état initial à un état final constitue un modèle de description : il s'agit bien d'idéaliser la réalité, avant de passer au modèle explicatif de la réaction chimique.

Le modèle de description (ou la réalité idéalisée) constitue alors une forme de contextualisation d'éléments théoriques et il est en conséquence logique qu'il fasse appel à des schémas, des diagrammes, des relations mathématiques… Le recours aux langages mathématiques est fréquent et souvent associé à un modèle donné. L'usage de ces langages ou de ces registres mathématiques variés (relations littérales, représentations graphiques, calcul et représentation vectoriels…) peut constituer une source de difficultés au point de se transformer pour certains élèves en obstacle à la pratique scientifique. L'absence de maîtrise

d'un langage essentiel pour la modélisation empêche alors d'accéder à la signification et à la pratique de la modélisation. Ces difficultés ont fait l'objet de documents spécifiques antérieurs (GRIESP, 2016). Mais le recours aux langages mathématiques pour modéliser n'est ni systématique ni exclusif : une démarche de modélisation peut aussi s'accompagner d'un recours à la schématisation, à un vocabulaire conceptuel spécifique (des définitions par exemple), aux hypothèses sous-jacentes (les *choix* de modélisation), à des représentations spécifiques (représentations de molécules, syntaxe de l'équation de réaction, schéma de circuits électriques ou de montages optiques…).

Outre cet aspect multiforme, une autre propriété du modèle est son caractère évolutif ou malléable. Parce que le propre d'un modèle scientifique est qu'il peut être réfuté (et donc mis à l'épreuve des faits), il peut être amené à évoluer. Tout en étant nourri par des éléments théoriques, le modèle n'est pas figé et peut changer en fonction de la question posée : son « aménagement » ou son adaptation est préalable à la déstabilisation éventuelle de la théorie dont il est extrait.

Exemple 1

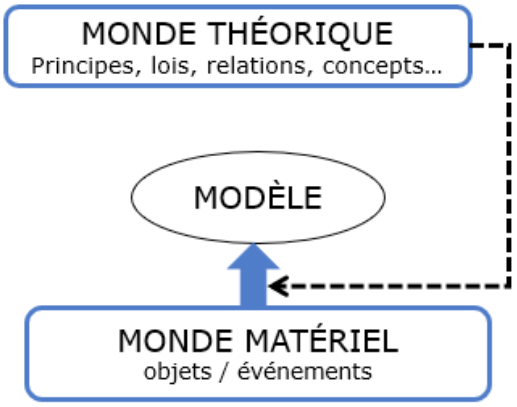


Situation matérielle : un livre d'astronomie est posé sur une table ; on peut aussi décrire cette situation avec des termes scientifiques : on dira alors *le livre est immobile*.
Avec une question telle que «pourquoi le livre est-il immobile ?», la *situation matérielle* devient une *situation d'étude* et le fait que le livre soit un livre d'astronomie, son épaisseur, sa taille sont des informations qui ne sont pas gardées dans l'activité de modélisation de la situation.
En revanche, on garde les informations «le livre ne bouge pas» et «il est sur une table». Les éléments de modélisation ou les concepts théoriques permettant de répondre à la question posée dans le cadre d'une approche relevant de la physique font appel à des éléments de modélisation (incluant la représentation) des actions (des vecteurs) et à une loi (ici le principe d'inertie). Ils peuvent éventuellement être formulés sous forme d'une relation vectorielle.

Exemple 2

Situation matérielle : l'ampoule à filament d'une lampe de poche brille.
On peut passer de cette situation matérielle à une situation d'étude en posant la question de la cause de l'émission de lumière par l'ampoule : pourquoi l'ampoule brille-t-elle ?
À partir de la même situation matérielle, on peut aussi se demander pourquoi au bout d'un certain temps, l'ampoule ne brillera plus. La situation d'étude n'est plus la même.
C'est bien la situation d'étude et la question posée qui orientent les théories et les modèles utilisés : dans le premier cas, on utilisera un modèle électrocinétique, dans le deuxième un modèle énergétique.

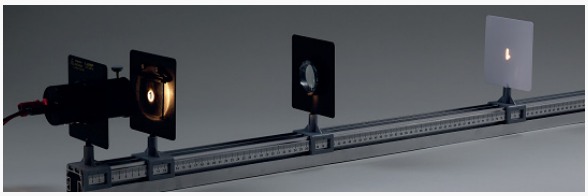
Les théories disponibles et le problème posé orientent la façon dont on modélise une situation matérielle : la situation est simplifiée, décrite dans des termes plus conceptuels, certaines caractéristiques seulement sont conservées (figure ci-dessous). Il s'agit ici de faire des «choix de modélisation», qui pourront être discutés et mis à l'épreuve par l'expérience : par exemple, ne pas tenir compte des frottements pour modéliser une situation de mécanique pourra faire l'objet d'une interprétation de l'éventuel écart entre prévision et observation.



La figure précédente peut laisser croire qu'il y a risque de séparation entre la démarche de modélisation et le monde théorique dont la connaissance est visée, au moins partiellement, pour l'apprentissage[2]. En fait, la démarche de modélisation s'opère à l'aide d'éléments connus de la théorie. La modélisation de la situation permet d'exploiter des éléments théoriques disponibles, connus, pour en déduire une information au sujet de la situation : ceci peut consister en une prévision, mais également en une interprétation ou une description précise de ce qui a été observé.

Exemple

L'utilisation des lois de l'optique géométrique permet de prévoir ou d'interpréter ce qui se passe lorsqu'on cache la moitié de la lentille convergente utilisée pour obtenir l'image d'un objet sur un écran : l'image reste visible entièrement, mais est moins lumineuse.



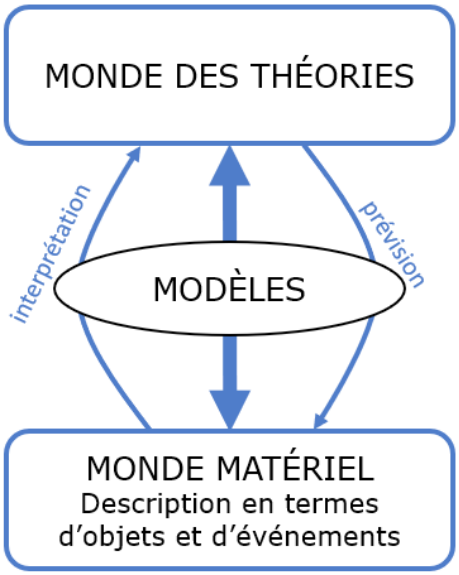
Pour faire la prévision, ou interpréter l'observation, il convient de modéliser la situation (sous contrainte d'éléments théoriques disponibles), d'utiliser les savoirs théoriques disponibles en les adaptant à la situation via la modélisation effectuée.

2. On verra plus loin que pour l'enseignement, on peut facilement regrouper mondes des théories et modèles.

Modèle explicatif

La description, même en des termes conceptuels, ne peut pas suffire pour mener à bien une démarche de modélisation complète qui viserait l'explication, l'interprétation, la prévision ou la résolution d'un problème.

Il s'agit alors de passer à une « strate » supérieure (au sens d'une proximité plus grande avec la théorie) en élaborant ou en utilisant un **modèle explicatif**, issu d'une théorie, à des fins d'explication. Comme l'étape de modélisation descriptive d'une situation, cette élaboration et cette utilisation des théories passent inévitablement par une phase d'abstraction et d'unification d'évènements observables divers et donc par une étape de modélisation descriptive ou d'idéalisation de la réalité : il n'y a rien d'évident à décrire par le même concept de force des situations aussi diverses qu'un objet posé sur une table, une poutre soulevée par une grue, un projectile « en l'air »… ou une particule chargée dans un champ électrique ; de même, il convient de varier les situations pour atteindre l'idée qu'une vibration d'un milieu matériel est indispensable pour espérer produire un son ; le modèle de la réaction chimique est adapté pour interpréter une grande variété de transformations chimiques. C'est souvent par induction de l'observation (que l'expérience ait été conçue pour cette finalité ou non) que les concepts, les lois, les principes sont construits pour constituer le «monde théorique». Même si on les distingue, modèle et théorie sont rarement pensés indépendamment des événements observables.



Exemples de deux processus possibles dans l'activité de modélisation :
interpréter une situation du monde matériel à l'aide d'un modèle
prévoir ce qui va se passer dans le monde matériel à l'aide d'un modèle

Qu'elle soit en cours d'élaboration ou établie, la théorie permet ainsi de **décrire** et d'**interpréter** le monde des objets et des événements. Une fois cet édifice théorique formalisé, et les choix de modélisation effectués, il est possible symétriquement de l'exploiter pour **prévoir** des événements ou expliquer l'écart entre ce qui est observé et ce qui est prévu «par la théorie», ce qui est représenté de façon très schématique sur la figure ci-dessus. Ce processus n'est pas aussi linéaire que cette présentation peut le suggérer : l'interprétation risque d'être revue une fois la prévision effectuée. Par exemple, des éléments de la situation que l'on a négligés dans une première modélisation ne doivent plus l'être pour rendre compte de l'expérience : le modèle est modifié.

Exemple 1

Situation

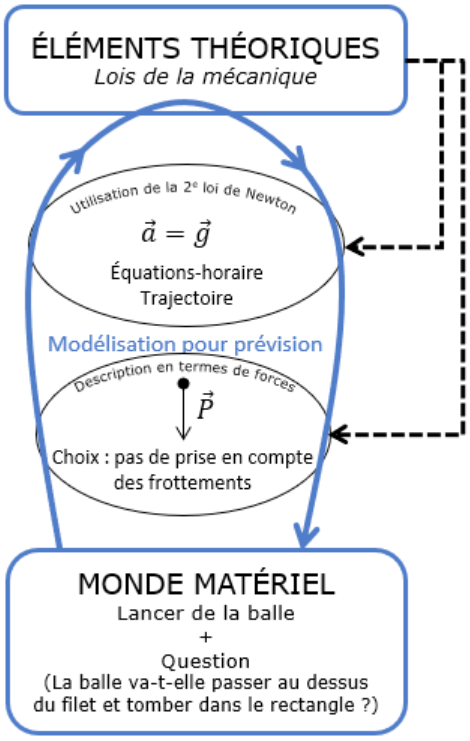
Un joueur de tennis s'apprête à servir.

Question posée

On peut se demander si la balle va passer au-dessus du filet et tomber à l'intérieur du rectangle dédié tracé au sol ; pour ceci il faut se donner les moyens de décrire précisément le mouvement à l'aide de savoirs théoriques, avant même d'utiliser les lois de Newton.

Un modèle de description

Dans un premier temps, il convient de se placer dans le cadre de la mécanique du point. Ainsi, on peut choisir de modéliser la balle par son centre de gravité auquel on affecte sa masse (modèle du point matériel). Pour décrire simplement le mouvement du centre de la balle, on choisit de prendre comme cadre théorique la cinématique du point c'est-à-dire l'étude du mouvement d'un point matériel indépendamment des causes de ce mouvement. On peut alors obtenir quelques positions successives de ce point (à l'aide d'une vidéo ou d'une chronophotographie) et utiliser des savoirs théoriques pour décrire le mouvement. Ces choix de modélisation, faits sous la contrainte de la connaissance des lois de la mécanique qui vont être utilisées ultérieurement, impliquent une perte d'information sur l'éventuelle rotation de la balle sur elle-même : on ne peut plus « remonter » à la façon dont la balle a été frappée. Si l'on souhaite décrire la façon dont la balle tourne sur elle-même, il convient de faire une autre modélisation en choisissant de décrire un point de la surface : des informations supplémentaires seront gardées au prix d'une étude plus complexe.



Un modèle explicatif, pour prévoir

Pour répondre à la question posée (qui revient à prévoir le mouvement), il faut non seulement s'être donné les moyens de décrire le mouvement (utiliser le «modèle cinématique»), mais faire en plus appel à la théorie de la mécanique classique, et plus particulièrement à la deuxième loi de Newton. Il est nécessaire de contextualiser ces éléments théoriques à la situation pour pouvoir les exploiter : modélisation des actions en termes de forces, prise en compte des conditions initiales... Une dernière étape consiste ensuite à traiter mathématiquement les relations obtenues grâce à cette modélisation pour en déduire la hauteur du point choisi pour décrire la balle au niveau du filet puis sa position lorsque la balle touche le sol.

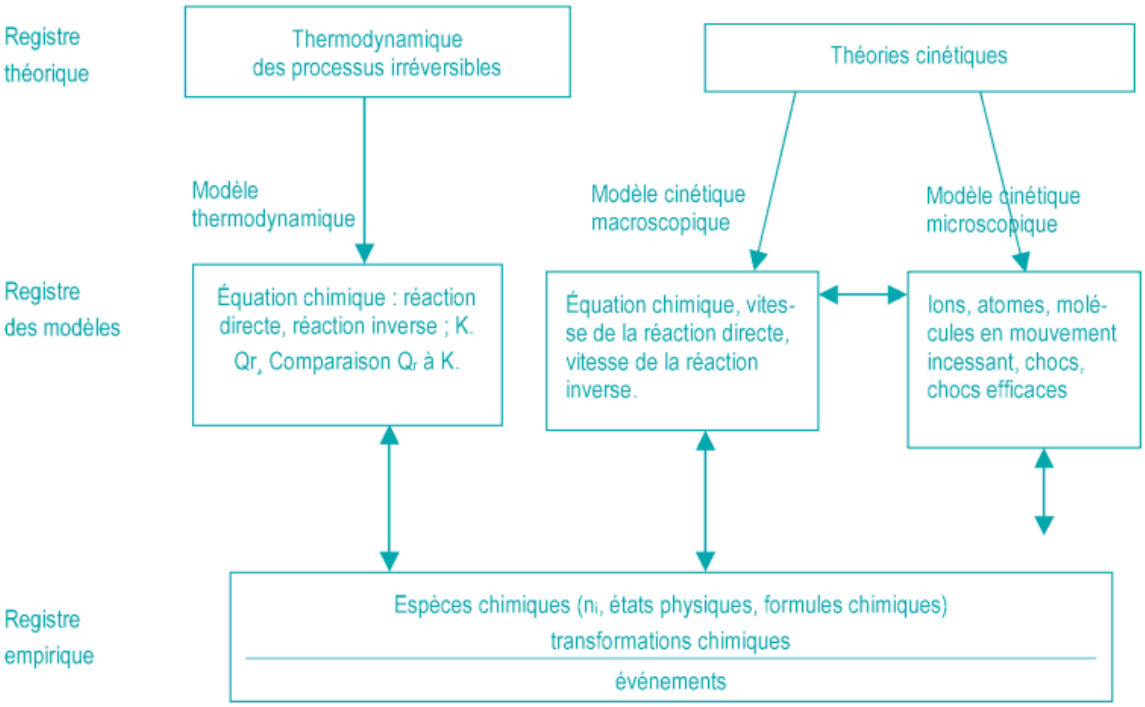
L'exploitation de la loi et du modèle de la situation va montrer qu'il est nécessaire de connaitre par exemple la vitesse initiale de la balle pour répondre à la question. La confrontation éventuelle de l'observation et de la prévision est une étape essentielle qui peut conduire principalement à deux conclusions en cas d'écart (en supposant qu'aucune erreur dans l'usage des savoirs théoriques n'a été commise et en prenant en compte les incertitudes de mesures) :

- le modèle est mis en défaut : hypothèses non adaptées, éléments de la situation non pris en compte (frottements dans l'air, rotation de la balle sur elle-même…) ;
- la théorie est mise en défaut.

Dans le cadre des programmes de physique-chimie de l'enseignement secondaire, le dernier cas est peu fréquent, mais peut être rencontré, par exemple lors de la mise en défaut de l'optique géométrique.

Exemple 2

La diversité des modèles, leurs différents types (descriptifs ou explicatifs, macroscopique ou microscopique) peuvent très bien être illustrés en chimie sur le sujet de la transformation chimique, afin de traiter de l'évolution spontanée d'un système chimique et l'arrêt dans le cas d'une transformation non totale. Kermen & Méheut (2008) propose ainsi le schéma ci-dessous :



Différents modèles pour la transformation chimique (Extrait de Kermen & Méheut (2008))

Retrouvez éduscol sur :

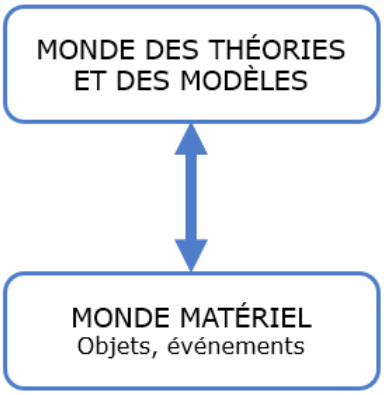
Les auteurs font le choix de considérer deux niveaux dans le registre empirique : dans le premier il s'agit des évènements (un liquide change de couleur…), dans l'autre on parle d'espèces chimiques, de leur état physique, de leur formule et des quantités de matières en jeu ; il s'agit dans ce second niveau d'un modèle descriptif des espèces chimiques et des transformations chimiques. Les auteurs considèrent que cette représentation du monde matériel mobilise des savoirs disponibles qui sont l'aboutissement de processus d'apprentissage antérieurs : les utilisateurs n'ont plus forcément conscience de ce premier niveau de modélisation et ils l'utilisent comme si c'était la réalité. C'est pourquoi les auteurs l'intègrent dans le registre empirique. En outre, les questions ici ne portent pas sur la description du monde matériel, mais sur un niveau supérieur de modélisation afin d'interpréter et prévoir l'évolution spontanée d'un système chimique et son arrêt dans le cas d'une transformation chimique non totale. Selon le regard que l'on porte sur le registre empirique, c'est-à-dire en fonction de la question que l'on se pose, on utilise un modèle différent : thermodynamique pour prévoir ou interpréter une évolution ou une absence d'évolution, et les modèles cinétiques macroscopique ou microscopique pour tenter d'expliquer la présence de toutes les espèces chimiques et une absence d'évolution dans l'état final d'un système ayant subi une transformation chimique non totale.

Quels que soient les choix réalisés pour représenter et traiter ces « strates » dans la modélisation, il s'agit pour une question donnée de repérer ce qui relève de chaque monde pour assurer une mise en relation et pouvoir la discuter explicitement, en particulier afin d'améliorer les modèles et théories utilisés.

Par commodité, on peut adopter l'expression « **savoirs théoriques** » pour décrire tous les éléments du monde théorique et les modèles qui en découlent.

Un point de vue épistémologique rigoureux impose de distinguer théorie et modèle. La théorie (la mécanique newtonienne par exemple) a ainsi une valeur explicative d'observations très diverses (qui constituent son champ de validité). Le modèle (celui de la chute libre, ou celui du pendule simple par exemple) a une valeur descriptive et interprétative pour un ensemble de situations en nombre plus restreint que celles expliquées par une théorie : c'est la composante «opératoire» de la théorie ou d'une partie de celle-ci.

Ce regroupement du monde théorique et des modèles sous l'expression « savoirs théoriques » peut être justifié par le fait que, particulièrement dans l'enseignement secondaire, les théories, partielles et circonscrites à des champs d'application restreints, sont souvent assimilées au modèle utilisé. Il est rare que l'élève ait une vision d'ensemble de la théorie en jeu et ce sont souvent les modèles qui acquièrent pour lui le statut de théorie. Il est tout aussi peu réaliste de vouloir faire établir à l'élève, par inductivisme par exemple, toute une théorie, mais au mieux est-il possible de lui faire trouver une loi, une relation… Dans la suite de ce document, la référence aux «deux mondes» concernera donc le monde matériel d'une part, le monde des théories et des modèles d'autre part (figure ci-contre).



Remarquons que des activités au cours desquelles l'élève est amené à mesurer ou à simuler occupent des positions singulières dans ce schéma, en permettant, voire en facilitant, l'articulation entre les deux mondes.

Conceptions et modélisation

Même si ce n'est pas l'objet du présent document, remarquons également que les idées initiales (préconceptions) des élèves relèvent le plus souvent du monde des théories et des modèles, qui n'est pas réservé à la physique et à la chimie. Ces «théories naïves» (l'adhérence entre force et vitesse en mécanique ou la conception de l'image voyageuse en optique par exemple) ont justement la caractéristique d'être opératoires sur de nombreuses situations d'étude. Le monde des théories et des modèles n'est donc pas vierge en début d'apprentissage. L'activité de modélisation s'opère aussi dans la vie courante et ce sont certaines de ces interprétations spontanées qu'il convient de déconstruire lors de l'apprentissage pour que les élèves puissent s'approprier des modèles scientifiques. Cette distinction entre «vie quotidienne» et «physique-chimie» concerne également le monde matériel : en classe, les élèves sont souvent invités à décrire le monde matériel en termes scientifiques. C'est par exemple le cas si on passe d'une description telle que «le livre est posé sur la table» à une description qui relève de la physique, orientée par le modèle à utiliser, telle que «le livre est immobile».

Une activité à expliciter

La partie précédente a permis de caractériser de façon simplifiée une grande partie de l'activité scientifique telle qu'elle se pratique par les scientifiques eux-mêmes et que les élèves sont également invités à mener à l'aide des différentes activités d'apprentissage proposées en physique-chimie. Nous donnons ci-dessous quelques éléments de réflexion sur l'importance de l'explicitation de cette activité auprès des élèves, chaque fois que c'est possible, et sans pour autant faire de ses caractéristiques un enjeu d'apprentissage.

Pour les enseignants, avoir conscience des obstacles potentiels liés au passage entre les «deux mondes» permet d'anticiper les difficultés éventuelles et de repérer les capacités à travailler spécifiquement. La prise de conscience par l'élève que ce qui est attendu est souvent lié à cette mise en relation peut l'aider à mieux percevoir les finalités et les objectifs de la discipline. Cela peut lui permettre en outre de lever quelques implicites lors de l'usage de certaines consignes comme *interpréter*, *justifier*, *expliquer*, *caractériser*... Il ne s'agit pas pour autant de minimiser les difficultés que l'élève peut rencontrer sur des aspects plus «techniques» pouvant le mobiliser fortement : calculs, représentations, description ou explicitation d'une démarche ou d'un raisonnement…

La description, l'interprétation ou l'anticipation de certaines observations sont des tâches courantes demandées aux élèves. Pour l'enseignant, il est évident que l'élève se trouve dans un contexte d'apprentissage *en physique-chimie* : il doit répondre avec les savoirs de la discipline, en utilisant les termes des modèles appris. Les relations entre modèles et situations peuvent apparaître arbitraires pour les élèves. **L'explicitation de la modélisation** et de ce qui relève des deux mondes est donc une condition essentielle pour **faciliter l'apprentissage**. Cette explicitation impose parfois, tant pour l'enseignant que pour l'élève, de bien distinguer ce qui relève de chaque « monde » en évitant par exemple de superposer une photographie de la situation et un schéma qui la modélise, ou en évitant des expressions telles que « je perçois une fréquence plus grave », « je ressens le principe d'inertie », « la vitesse va plus vite », « la pression appuie », « je verse telle espèce chimique »... Certaines expressions courantes comme « l'image est nette » peuvent elles-mêmes créer la confusion en superposant un usage courant (l'image comme ce que je vois sur un écran ou une photo) et un usage « théorique » (l'image comme concept optique qui par définition ne peut pas être floue…). Une définition mal retranscrite par un élève telle que « *L'équivalence est obtenue*

lorsqu'on a versé suffisamment de solution titrante pour faire réagir toute la solution titrée initiale » peut être vue comme une superposition des deux mondes : la définition de l'état d'équivalence se fait dans des termes du modèle (sans nécessité de recourir aux solutions, qui relèvent du monde matériel) même si l'état d'équivalence est repérable dans le monde matériel en versant une solution dans une autre.

Les précautions de langage qu'impose cette distinction conduisent parfois à des formulations complexes qui peuvent nuire à la lisibilité : si elles sont cruciales dans les phases d'apprentissage, ces précautions peuvent être progressivement abandonnées lorsque l'apprentissage est effectif : lorsque c'est le cas, il n'y a en effet aucune ambiguïté et aucun risque à superposer photographie de la situation et schéma des forces par exemple pour le livre posé sur la table. Explicitant les savoirs à apprendre, les bilans, synthèses ou phases de structuration qui font suite aux activités menées en classe gagnent à être formulés dans les termes du monde des théories et des modèles, afin non seulement de marquer la différence avec le monde matériel, mais également d'indiquer que ces savoirs peuvent être exploités pour traiter une grande variété de situations et ont un caractère général.

C'est aussi la mise en lien des deux mondes qui fait souvent l'objet d'évaluation : à juste titre puisque c'est elle qui permet de tester la compréhension et le caractère opératoire des savoirs théoriques. La seule restitution de savoirs théoriques n'est pas suffisante pour valider la compréhension. L'exploitation d'un savoir théorique pour traiter une situation d'étude est par contre gage d'une forme de compréhension et de capacité à mobiliser de manière pertinente, qui seront valorisées. Le choix des verbes de consigne, et l'explicitation de leur signification (voir *autre document*), est éclairé par cette analyse en termes de modélisation : si des verbes tels que *décrire*, *calculer*, *exprimer* renvoie souvent à un seul des deux mondes, d'autres comme *expliquer*, *interpréter*, *justifier* induisent généralement un lien entre les deux mondes. Encore faut-il que ce soit explicite pour l'élève, car il est possible de justifier une observation… par une observation (l'objet posé sur la table ne tombe pas… car la table l'en empêche). Dans certains cas, il est donc nécessaire soit d'expliciter la signification de chaque verbe au regard de la modélisation (*interpréter* demanderait ainsi une mise en lien avec le monde des modèles) soit une précision chaque fois que nécessaire : *justifier à l'aide de vos connaissances théoriques*… Ce lien entre modélisation et tâches prescrites est développé, via l'analyse des compétences, dans la partie 5.

Enfin, notons qu'il peut être confortable pour l'élève de rester dans l'un ou l'autre des deux mondes, car le coût cognitif du lien entre les deux mondes s'avère souvent important. Le manque de diversité des situations étudiées, ou leur caractère épuré (pour « coller au modèle) peuvent être un frein à la compréhension, en limitant la possibilité de traiter de nouvelles situations authentiques.

Exemple
Si pour donner du sens aux concepts de période et de fréquence, on se limite à l'utilisation d'un électrocardiogramme, les élèves apprennent à reconnaître un cycle sur un graphe et à mesurer la durée du cycle, et donc à déterminer la période. En revanche si on demande aux élèves de décrire le cycle du cœur ou d'une membrane d'un haut-parleur ou d'un pendule, le recours au savoir technique appris sur la situation initiale n'est plus fonctionnel. Cela risque d'être encore plus le cas pour des situations impliquant un phénomène périodique dans un contexte qui ne serait pas celui de la classe de physique-chimie. Les élèves n'arrivent pas à relier le modèle, qui comprend la représentation graphique, la définition de cycle et la relation entre période et fréquence, avec les événements. Cette difficulté se situe essentiellement dans la description des objets et événements. Typiquement s'ils doivent comparer deux pendules de différentes périodes, les élèves vont dire que l'un va plus vite que l'autre, ou que l'un oscille plus que l'autre. Le professeur doit aider la description en distinguant les positions dans l'espace et dans le temps. Alors seulement le cycle pourra être identifié et le lien avec une représentation graphique effectué. Ce travail est particulièrement à l'œuvre lorsqu'il s'agit d'analyser des situations très contextualisées, et de les associer à des situations étudiées antérieurement en classe.

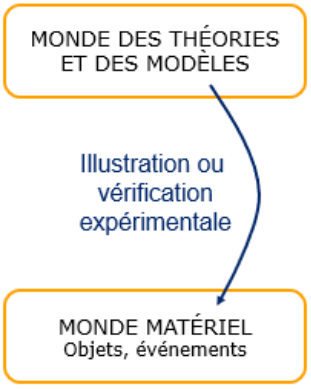
Modélisation et types d'activités

Une autre réflexion, complémentaire, pourrait être engagée en distinguant les types d'activités proposées en lien avec la modélisation. Il n'est pas question ici de normer ou de délimiter de façon rigide une typologie des activités pédagogiques proposées aux élèves. Mais tout enseignant sait qu'il varie les types d'activités proposées : elles n'ont pas toute la même fonction en termes d'apprentissage, ne jouent pas toutes le même rôle dans la progression, ne font pas toutes travailler les mêmes capacités…

De façon quelque peu schématique et sans viser l'exhaustivité, on peut citer quelques exemples :

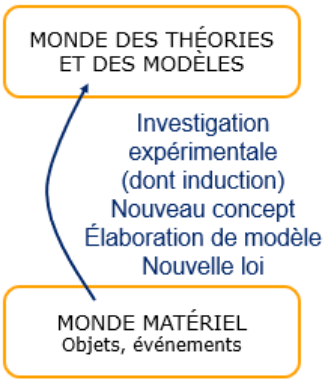
- introduction et découverte d'un nouveau concept ou d'une nouvelle loi ;
- exploitation d'un savoir théorique (loi, principe…) ;
- mise à l'épreuve expérimentale d'un modèle ;
- détermination expérimentale d'une valeur ;
- résolution d'un problème.

Il est possible de caractériser chacun de ces types d'activité du point de vue de l'activité de modélisation. C'est ce que proposent, de façon simplifiée et parfois caricaturale, les schémas ci-dessous, en donnant par ailleurs quelques exemples d'activités expérimentales supports extraites des programmes. La question posée concerne soit le monde des théories et des modèles soit le monde matériel : c'est ce qui oriente le point de départ de la démarche (point de départ de la flèche).



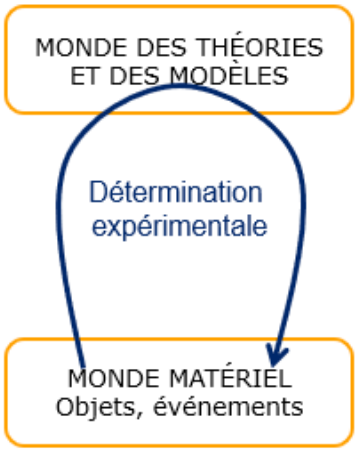
Références aux programmes :

- Vérifier que le réactif limitant est celui prévu
- Tester la relation de conjugaison
- Tester la loi fondamentale de la statique des fluides



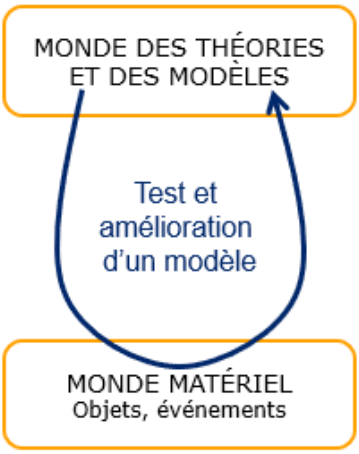
Références aux des programmes :

- Relier l'énergie échangée à la masse de l'espèce qui change d'état
- Représenter et exploiter la caractéristique d'un dipôle



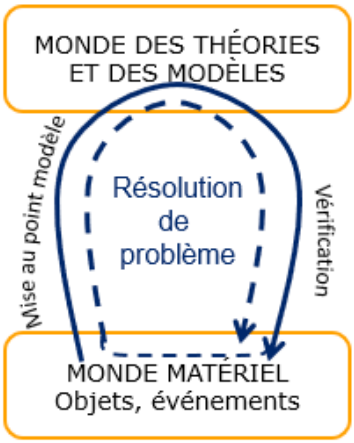
Références aux programmes :

- Réaliser un titrage direct
- Déterminer la célérité d'une onde



Références aux programmes :

- Passer d'un modèle d'optique géométrique à un modèle d'optique ondulatoire
- Modèle d'une source réelle de tension continue



Ces représentations se veulent un outil destiné à l'enseignant pour l'analyse des activités proposées aux élèves. Elles permettent également de faire apparaitre la nature des éléments dont les élèves disposent au cours de l'activité et la nature de ce qu'il va leur être demandé de produire à la fin de l'activité.

Retrouvez éduscol sur :

La modélisation pour travailler les compétences de la démarche scientifique

Par son omniprésence, la modélisation ne permet pas de guider la réflexion sur l'équilibre à trouver entre les compétences de la démarche scientifique travaillées ou évaluées au cours de la formation des élèves. Mais parce qu'elle constitue un bon indicateur de l'apprentissage, la capacité à faire des liens entre les «deux mondes» présente l'avantage d'être articulée avec les cinq compétences choisies dans les programmes pour caractériser l'activité scientifique et permet de les travailler :

- s'approprier
- analyser / raisonner
- réaliser
- valider
- communiquer

Ces compétences doivent permettre de structurer la formation et l'évaluation et elles jouent, pour certaines d'entre elles, des rôles spécifiques dans les liens à faire entre monde théorique et monde des objets et des événements.

Les compétences proposent des exemples de capacités associées, plus précises et évaluables plus aisément à partir des comportements ou productions d'élèves. Dans une activité donnée, sur un sujet donné, l'élève met en œuvre un certain nombre de connaissances et de capacités : certaines d'entre elles jouent un rôle bien particulier dans l'articulation entre les deux mondes. Il est donc envisageable de «situer» les capacités associées aux compétences par rapport à l'activité de modélisation. Cependant, pour ne pas procéder à cette fastidieuse association qui ne pourrait pas être exhaustive, on peut tenter de «situer» les compétences par rapport à la modélisation, en raisonnant sur quelques capacités caractéristiques et fréquemment mises en œuvre. C'est ce qui est proposé dans cette partie. D'autres exemples sont proposés par Melzani (2018) à un niveau post-bac.

Il s'agit donc ici de caractériser les compétences (et certaines de leurs capacités associées) au regard de l'activité de modélisation décrite dans la partie 2. Il s'agit de gagner en lisibilité et en généralité quitte à perdre en précision ou en finesse dans l'analyse.

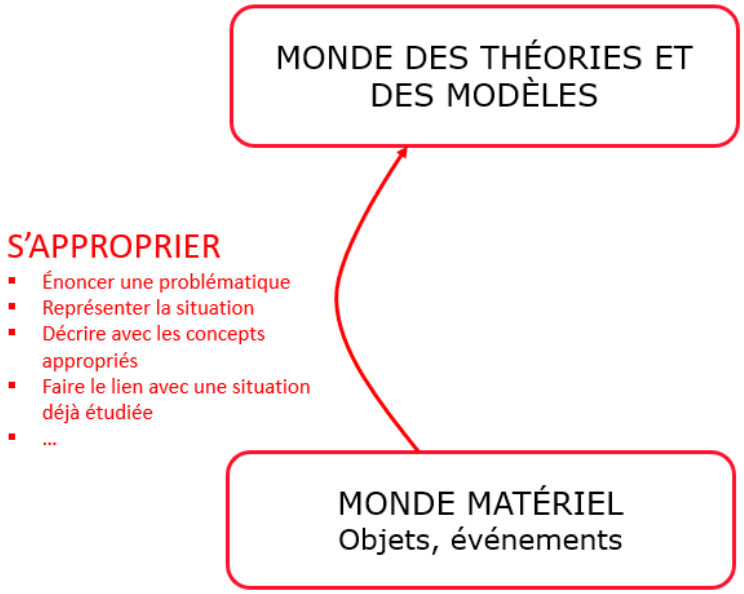
Comme le précisent les programmes, l'ordre de présentation des compétences, quel qu'il soit, ne préjuge en rien de celui dans lequel elles sont mobilisées. Au cours de son activité, l'élève mobilise telle ou telle capacité relevant de différentes compétences et celles-ci se trouvent donc partiellement mobilisées et intriquées. En fonction de la démarche adoptée, le parcours en termes de compétences peut varier d'un élève à l'autre, et ceci même pour une conclusion ou une réponse finalement identique.

Le critère de présentation des compétences adopté ci-dessous concerne plus le degré de généralité des compétences : nous présentons d'abord celles qui concernent des aspects plus identifiés et «circonscrits» de l'activité de modélisation en allant ensuite vers celles qui sont impliquées dans de nombreux aspects de l'activité de modélisation. La compétence ***communiquer*** ne fait pas l'objet d'une analyse spécifique ci-dessous, car elle peut difficilement être reliée à l'un ou l'autre des deux mondes ou à des liens spécifiques entre les deux mondes. La communication est travaillée potentiellement à chaque étape du travail de l'élève et peut concerner, en fonction des consignes données, aussi bien des aspects théoriques qu'une capacité à décrire une situation matérielle.

Retrouvez éduscol sur :

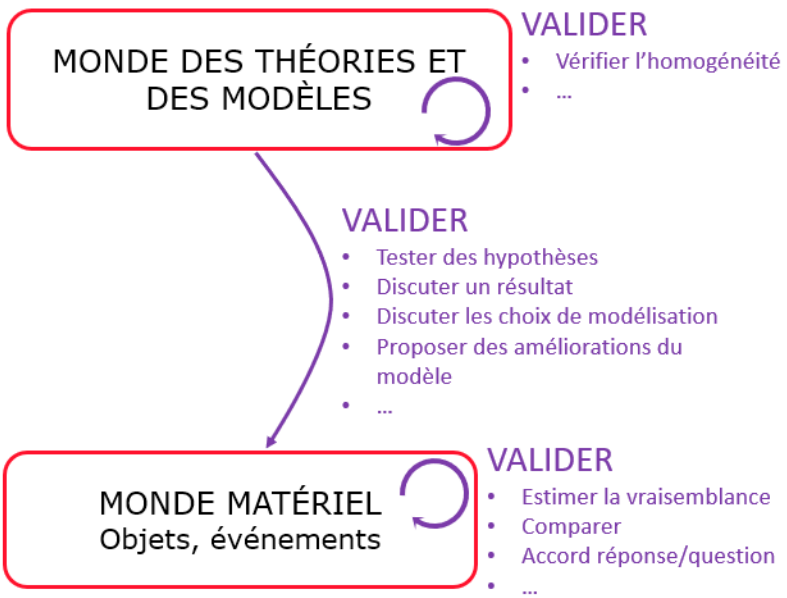
S'approprier

L'**appropriation** consiste le plus souvent à reformuler une problématique (en repérant par exemple les mots-clés ou en la « traduisant » de manière scientifique, dans les termes d'un modèle), à l'identifier (en faisant le lien par exemple avec une situation étudiée antérieurement), à représenter la situation par un schéma, à la décrire avec les concepts jugés pertinents, à repérer les grandeurs d'influence. Pour l'essentiel, il s'agit de faire des choix de modélisation. L'appropriation peut concerner prioritairement la situation matérielle d'étude. Elle peut aussi s'exprimer à travers le regard porté sur cette situation lorsqu'il s'agit de la comparer ou de l'assimiler à une situation jugée «voisine» ou déjà rencontrée. Dans tous les cas, l'appropriation est réalisée à l'aide des connaissances théoriques disponibles.



Valider

À l'inverse, la **validation** est souvent mise en œuvre une fois un modèle exploité. Elle recouvre la mise à l'épreuve des hypothèses retenues, la discussion du résultat obtenu, la vérification de la cohérence entre une relation et une observation ou l'aménagement des choix de modélisation pour augmenter l'accord entre prévision «du modèle» et observation… Elle peut aussi s'opérer de façon interne aux objets et évènements lorsque par exemple il s'agit d'estimer la vraisemblance d'une valeur au regard de ses connaissances personnelles, d'une photographie, d'une observation... Certaines capacités associées à la validation ne contribuent donc pas toujours à faire des liens entre les deux mondes.

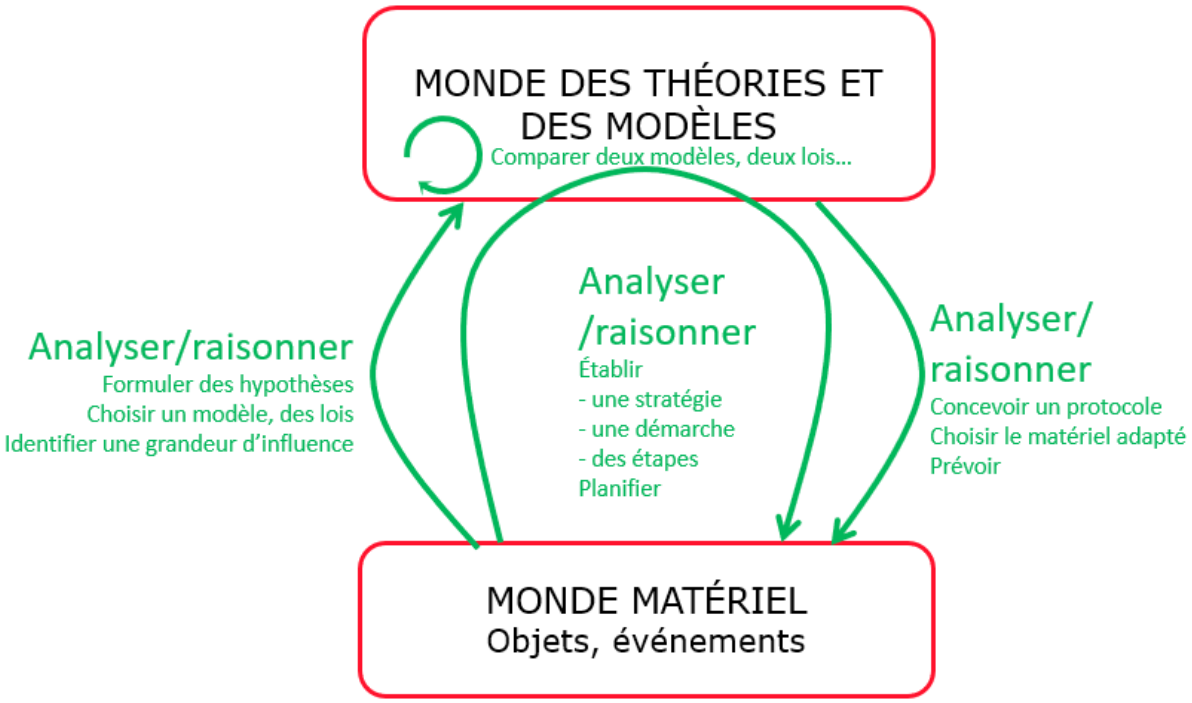


Retrouvez éduscol sur :

Analyser et raisonner

Appropriation et validation peuvent difficilement se faire sans une **analyse** de la situation, en la confrontant aux savoirs théoriques disponibles.

L'**analyse** et le **raisonnement** sont des compétences «à large spectre» qui vont aussi intervenir dans la façon dont on va modéliser (se rapprochant en ce sens de l'appropriation), formuler des hypothèses… ou lorsqu'on utilise la théorie et le modèle pour faire des prévisions.
Plus largement encore, la compétence *analyser* intervient lorsqu'il s'agit de planifier une démarche de résolution ou de planifier des tâches. Tenter de «cartographier» l'analyse et le raisonnement dans la représentation des deux mondes est difficile au regard des nombreuses facettes que ces compétences recouvrent et de la multiplicité potentielle des capacités concernées.



L'analyse peut également concerner seulement le monde des modèles. C'est le cas lors de la comparaison de deux outils théoriques complémentaires exploités pour une même situation : quelle loi semble la plus pertinente pour résoudre efficacement le problème (2e loi de Newton ou point de vue énergétique par exemple) ?

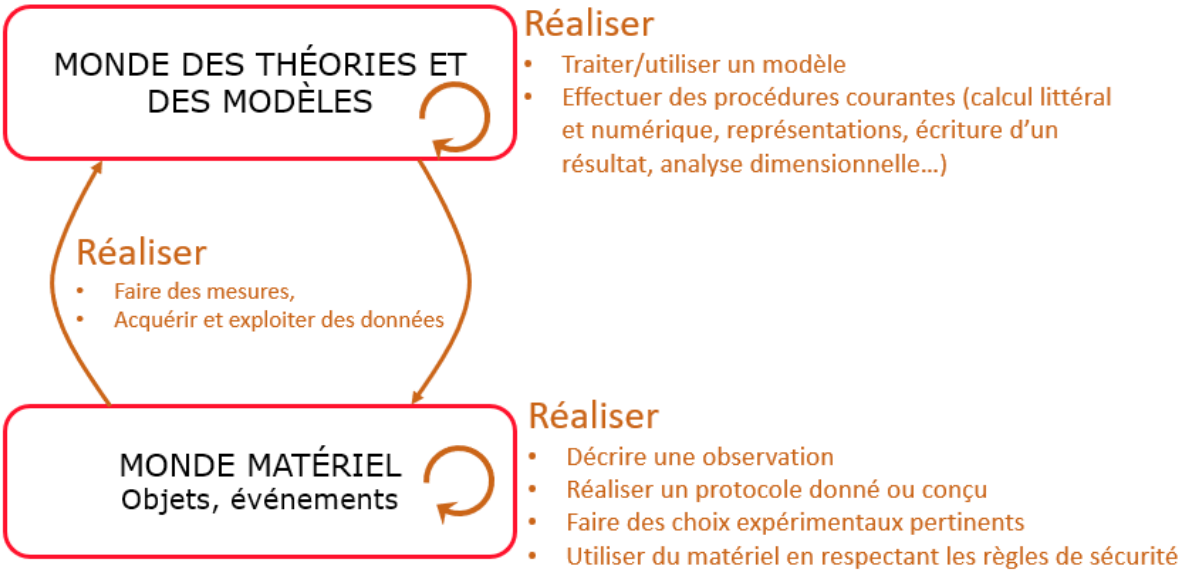
Réaliser

Enfin, pour ne pas considérer que la **réalisation** intervient à chaque action «cognitive» ou gestuelle, il peut être tentant de la circonscrire, de façon simplifiée, à des :

- tâches «techniques» internes au modèle : il s'agit de ce qu'on peut appeler des procédures courantes (calculs, représentations graphiques, analyse dimensionnelle, etc.), constituant une sorte de «boite à outils» pour utiliser et traiter des éléments d'ordre théorique ;
- tâches expérimentales dans le monde des objets et des événements : il s'agit de regrouper ici des savoir-faire expérimentaux courants (par exemple faire varier un paramètre, faire un étalonnage…) et nécessaires pour permettre la mise en lien avec le monde des théories et des modèles.

Cependant, la réalisation de mesures, la collecte et le traitement de données jouent un rôle spécifique dans l'articulation des deux mondes. L'action de mesurer articule en effet la prise d'informations au sujet du monde matériel au regard d'une grandeur théorique qui relève du modèle utilisé.

Plus généralement, la compétence *réaliser* contribue à la mise en relation des deux mondes. Pendant l'activité de modélisation, elle est très liée aux autres compétences travaillées et peut difficilement être mise en œuvre sans ces autres compétences, mais elle revêt un caractère opératoire qui permet aux autres compétences de s'exprimer.



Conclusion

En conclusion, l'activité de modélisation est un enjeu crucial dans l'apprentissage de la physique et de la chimie, ainsi que pour la formation scientifique des adultes de demain. On peut tenter de définir simplement un modèle comme un outil théorique modeste, mais suffisamment efficace pour interpréter les phénomènes observés et prévoir des évènements susceptibles de se produire (Gaidioz & Tiberghien, 2003 ; Robardet & Guillaud, 1997). Même si un modèle a une cohérence propre, il n'est jamais pris pour lui-même et constitue un intermédiaire entre théories et situations matérielles : « *il est toujours relationnel : modèle de, modèle pour* » (Bachelard S., 1979). Il en va de même pour l'enseignement scientifique où, pour éviter une dérive dogmatique, il ne s'agit pas d'enseigner le meilleur modèle qui soit, mais de montrer, outre ses caractères hypothétique et modifiable, qu'il est pertinent pour certains problèmes dans certains contextes (Martinand, 2002). C'est donc à travers des situations et des problèmes que le modèle prend tout son sens. Grâce à une diversité d'activités explicitant certaines caractéristiques de la modélisation en jeu, chaque élève pourra mieux acquérir des savoirs théoriques utiles qu'il sera capable de mobiliser dans de nouvelles situations, et il pourra développer en outre sa maîtrise des compétences de la démarche scientifique. Ce passage de cadres descriptifs et explicatifs de la vie courante à un point de vue scientifique sur le monde observable (Gaidioz, Vince & Tiberghien, 2004) constitue un élément essentiel et structurant de son apprentissage.

Annexe

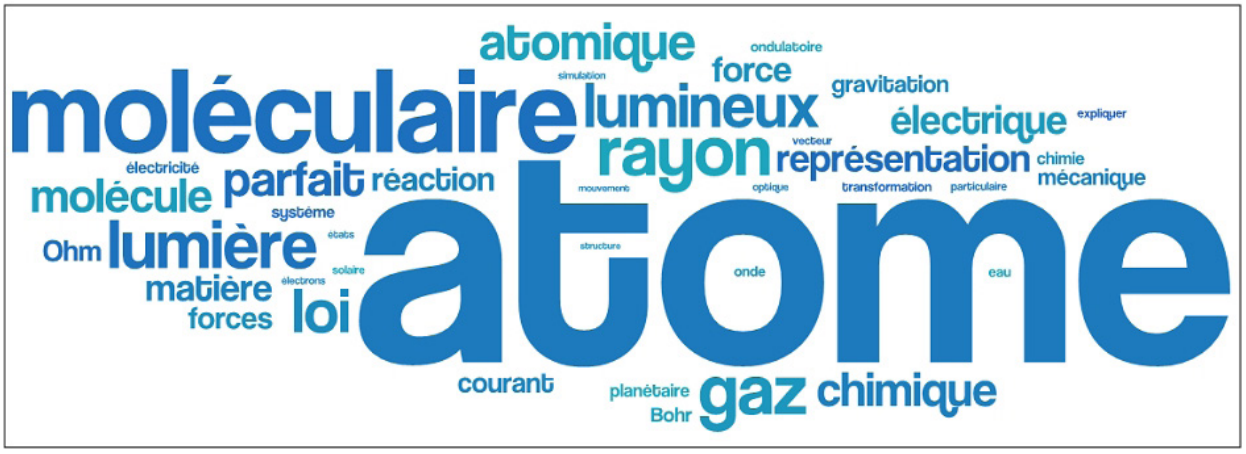
Quelques résultats d'une enquête à destination des enseignants sur la notion de modèle.

MONOD-ANSALDI R. & PRIEUR M. (2011) Démarches d'investigation dans l'enseignement secondaire : représentations des enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie. *Rapport d'enquête IFÉ – ENS de Lyon*. Décembre 2011. Téléchargeable avec ce lien.

Dans cette enquête, il était demandé aux enseignants, dans le contexte d'une analyse de leur perception des démarches d'investigation, de citer quelques exemples de modèles dans leur discipline et de se prononcer sur la fonction et sur la forme des modèles. 771 enseignants de physique-chimie ont répondu, exerçant pour moitié environ au lycée, l'autre moitié exerçant en collège.

Sans grande surprise, la familiarité avec les modèles apparait bien plus grande pour les enseignants de physique-chimie et de SVT que pour ceux de mathématiques et technologie (l'enquête était adressée aux enseignants de lycée et de collège) : neuf enseignants sur dix peuvent citer un modèle pour les deux premières disciplines, tandis qu'à peine plus de la moitié peut le faire pour les deux autres.

En physique-chimie, les modèles les plus cités sont indiqués sur le «nuage de mot» ci-dessous. Ils concernent surtout des modèles servant à décrire et sont relativement peu formels. On peut évidemment faire l'hypothèse qu'ils sont très liés aux programmes en vigueur (les réponses ont été collectées lors du premier semestre 2011). Les exemples cités sont plutôt moins diversifiés que dans les autres disciplines.

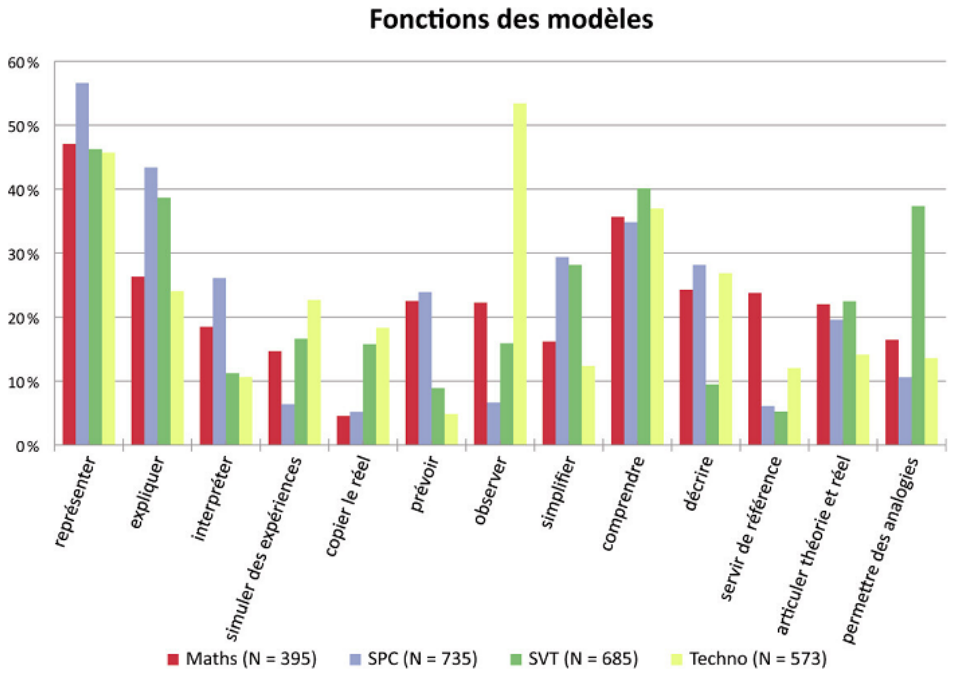


Nuage de termes obtenu à partir des réponses ouvertes des enseignants de SPC à la question *Donnez deux exemples de modèles dans votre discipline*.

Au sujet de la fonction et de la forme des modèles, la proximité des réponses des enseignants de physique-chimie est forte avec celles formulées par les enseignants de mathématiques, tandis que SVT et technologie font apparaitre quelques similitudes.

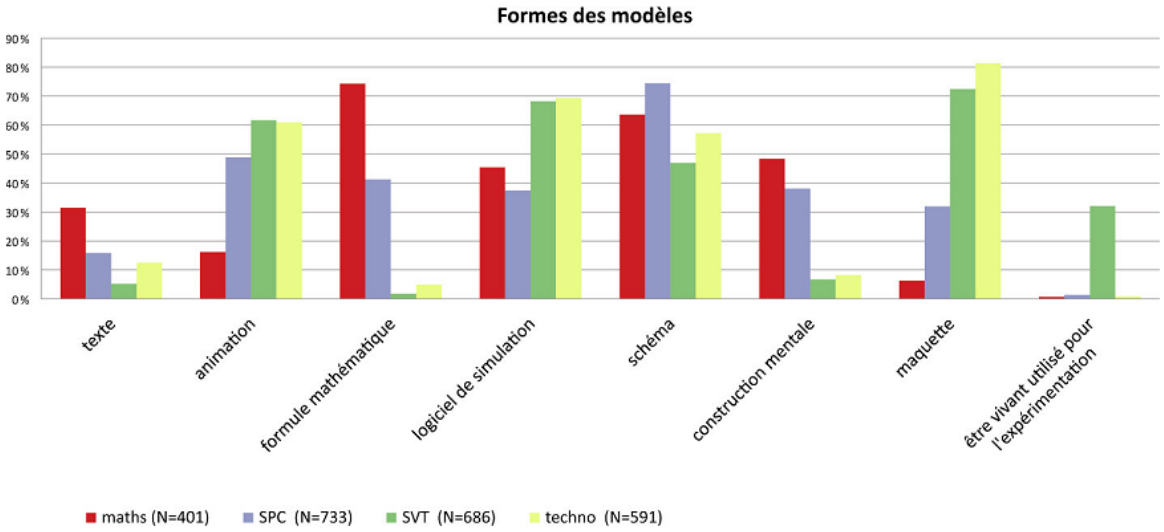
Une question de l'enquête proposait de choisir et classer trois fonctions des modèles parmi treize. Si la fonction de représentation est la plus citée (pour trois disciplines sur quatre), les enseignants de physique-chimie ne retrouvent spécifiquement leurs collègues de SVT que sur les fonctions expliquer et simplifier. Par contre, interpréter, décrire et prévoir, souvent cités, rapprochent physique-chimie et mathématiques. Enfin, articuler théorie et réel n'est cité que par environ 20 % des répondants de mathématiques, physique-chimie et SVT.

Retrouvez éduscol sur :



Pourcentages de répondants par discipline ayant classé la proposition dans les trois premières positions, parmi les répondants ayant choisi au moins une fonction du modèle à la question *Pour vous, quelles sont les fonctions des modèles utilisés dans votre discipline ? Choisissez puis classez les propositions retenues en mettant en position 1 la fonction que vous jugez la plus importante*.

Cette proximité disciplinaire se retrouve sur la forme des modèles (figure ci-dessous). Il était proposé de choisir et classer trois formes de modèles parmi huit. Seule la forme schéma fait consensus interdisciplinaire. Par ailleurs, là encore la proximité des réponses en physique-chimie est plus grande avec les mathématiques qu'avec les SVT : formule mathématique, construction mentale.



Pourcentages de répondants par discipline ayant classé la proposition dans une des trois premières positions, parmi les répondants ayant choisi au moins une forme du modèle à la question *Pour vous, quelles sont les formes des modèles utilisés dans votre discipline ? Choisissez puis classez les propositions retenues en mettant en position 1 la forme que vous jugez la plus importante*.

Le modèle semble donc être bien davantage perçu comme matérialisé en SVT et technologie alors qu'il est perçu comme relevant de l'abstraction, de l'idée, en physique-chimie et en mathématiques.

Retrouvez éduscol sur :

Bibliographie

- Bachelard S. (1979). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles. In *P. Delattre and M. Thellier. Élaboration et justification des modèles. Paris, Maloine* : 3-19.
- Coince D., Miguet A.-M., Perrey S., Rondepierre T., Tiberghien A. & Vince J. (2008). Une introduction à la nature et au fonctionnement de la physique pour les élèves de seconde. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, vol. 102, n° 900, 3-20.
- Coince D., Vince J., & Tiberghien A. (2009) La notion de modèle au cœur de la physique. *Cahiers pédagogiques,* n°469 - Faire des sciences physiques et chimiques.
- Evrard T. & Amory B. (dir) (2015) *Les modèles, des incontournables pour enseigner les sciences !* De Boeck.
- Gaidioz P. & Tiberghien A. (2003) Un outil d'enseignement privilégiant la modélisation. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, vol. 97, n° 850, 71-83.
- Gaidioz P., Vince J. & Tiberghien A. (2004) Aider l'élève à comprendre le fonctionnement de la physique et son articulation avec la vie quotidienne. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, vol. 98, n° 866, 1029-1042.
- GRIESP (coll.) (2016) Expérimentation et modélisation, la place du langage mathématique en physique-chimie.
- Kermen I. (2018) Comment le caractère dual, macroscopique-microscopique, de la chimie s'incarne-t-il dans son enseignement ? Réflexions autour des modèles et du langage. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, vol. 112, n° 1000, 95-108.
- Kermen I. & Méheut M. (2008) Expliquer l'arrêt de l'évolution d'un système chimique en terminale S. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, vol. 102, n° 905, 847-856.
- Martinand J.-L. (2002). Apprendre à modéliser. In *R. M. J. Toussaint. Changement conceptuel et apprentissage des sciences. Recherches et pratiques. Québec, Les éditions logiques* : 47-68.
- Melzani M. (2018) Enseigner explicitement la démarche de modélisation et le fonctionnement des sciences physiques. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*, vol. 112, n° 1008, 1179-1201.
- Monod-Ansaldi R. & Prieur M. (2011) Démarches d'investigation dans l'enseignement secondaire : représentations des enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie. *Rapport d'enquête IFÉ – ENS de Lyon*. Décembre 2011. Téléchargeable avec ce lien.
- Robardet G. & Guillaud J.-C. (1997) *Éléments de didactique des sciences physiques*. PUF.
- Sensevy G. & Santini J. (2006) Modélisation : une approche épistémologique. *ASTER* n°43
- Tiberghien A. (1994) Modelling as a basis for analysing teaching-learning situations. In *Learning ans Instruction*. Vol.4. pp. 71-87
- Vince J., Monod-Ansaldi R., Prieur M. & Fontanieu V. (2013) Représentations sur la discipline, son apprentissage, les démarches d'investigation et quelques concepts-clés : quelles spécificités pour les enseignants de Sciences Physiques ? 1ère partie. *Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et Chimie*, 1ère partie : vol. 107, n° 950, 31-50 ; 2e partie : vol. 107, n° 951, 147-165.
- Walliser B. (1977) *Systèmes et modèles*. Paris, Seuil.

Retrouvez éduscol sur :

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

éduSCOL Informer et accompagner les professionnels de l'éducation

CYCLES 2 3 4

MATHÉMATIQUES

Compétences travaillées en mathématiques

Modéliser

La compétence « Modéliser », si on la prend dans son acception la plus large, renvoie pour le mathématicien au fait d'utiliser un ensemble de concepts, de méthodes, de théories mathématiques qui vont permettre de décrire, comprendre et prévoir l'évolution de phénomènes externes aux mathématiques.

Les mathématiques et le monde réel, une longue histoire

La compétence « Modéliser » est, parmi les compétences travaillées, celle qui aborde de front le lien des mathématiques avec un extérieur à la discipline. Définir précisément cet extérieur n'est pas chose aisée, car il n'est pas certain qu'on puisse simplement l'envisager ou le nommer sans disposer déjà d'un minimum de concepts, de théories, de modèles déjà plus ou moins liés aux mathématiques. Ceci étant, quel que soit le terme utilisé (monde naturel, monde empirique, réalité extérieure, monde réel, référence, contexte), la modélisation fait intervenir un élément non mathématique au début et à la fin du processus. On peut en effet décrire de manière schématique le processus de modélisation en distinguant trois temps : la mise au point d'un modèle à partir du réel, le fonctionnement du modèle lui-même à l'intérieur des mathématiques, et la confrontation des résultats du modèle au réel[1].

Ainsi décrite, on peut remarquer que cette compétence de modélisation n'est pas développée qu'à partir du cycle 4. Dès le cycle 2, la simple reconnaissance des formes géométriques dans les objets réels ressortit à la première étape de la modélisation (« le rectangle modélise le terrain sur lequel on veut construire une maison »). Reproduire et transformer les figures obtenues relève alors de la deuxième étape. Quant à la troisième étape, elle est également présente, même si les situations modélisées restent modestes. C'est véritablement aux cycles 3 et 4 que les trois phases de la modélisation vont pouvoir progressivement gagner en ampleur. La première phase devient l'objet d'un véritable choix pour l'élève, qui dispose de différents modèles parmi lesquels il lui revient de déterminer quel est le plus pertinent (« s'agit-il ou non d'une situation où le modèle proportionnel s'applique ? »). Ce qui change est donc en premier lieu la diversité des modèles disponibles que l'élève peut convoquer pour décrire une situation, au travers par exemple de l'apparition des modèles probabilistes et fonctionnels. Mais c'est aussi et surtout la complexification de ces modèles qui va permettre à la deuxième phase de gagner en ampleur. Le rectangle qui modélise le terrain est toujours aussi pertinent, mais le modèle dans lequel il s'insère s'est profondément transformé entre le cycle 2 et le cycle 4. Ce rectangle est à présent lié à des propriétés de figures, à de nouvelles possibilités de calculs (par exemple la longueur de la diagonale par le théorème de Pythagore), à des concepts comme l'aire ou le périmètre qui ouvrent de nouveaux champs de questions,

1. Dans une version plus élaborée, cette dernière phase boucle sur la première, en construisant une version améliorée du modèle.

à une possibilité de faire évoluer le modèle suivant des contraintes par le biais de l'algèbre, puis du langage fonctionnel (« un côté doit être le double de l'autre, l'aire doit être fixée… »). Cette complexification des modèles utilisés rend nécessaire de faire travailler les élèves, dans un premier temps, sur des exercices internes au modèle en tant que tel (exercices de probabilités, exercices sur les fonctions) pour en comprendre la logique interne et en maitriser l'usage avant de l'utiliser comme outil de traitement d'un problème externe.

L'apparent paradoxe du cycle 4 est ainsi que le développement de la compétence « Modéliser » fait passer une compréhension plus fine du réel par un progrès dans les capacités d'abstraction des élèves. Ainsi, c'est par une conceptualisation et une formalisation de la notion naturelle de « chance » en termes de probabilités que l'on parvient à modéliser les situations dépendant du hasard. Paradoxe apparent qui est au cœur du progrès du savoir mathématique, la plus grande abstraction allant de pair avec la plus grande capacité de rendre compte de la complexité du réel. Pour des élèves à qui on demande un effort d'abstraction et de manipulation de concepts, il est important de connaitre et d'éprouver régulièrement l'efficacité des outils qu'ils apprennent à maitriser, au travers en particulier de cette troisième phase de confrontation des résultats du modèle avec la réalité empirique. Entretenir la compétence « Modéliser », c'est aussi entretenir la confiance que les élèves ont dans l'enseignement qui leur est proposé : découvrir qu'un modèle géométrique permet de donner une bonne approximation du rayon de la Terre fait partie de ces expériences qui contribuent à façonner auprès de l'élève de collège une image positive et utile des mathématiques.

Lire le grand livre de l'Univers : mathématiques et sciences

Parce qu'elle a trait au réel, la compétence « Modéliser » rencontre naturellement les disciplines dont le principe même est la compréhension du monde naturel : les sciences, qu'elles soient physiques, technologiques ou sciences du vivant. Mais qu'ont à dire de spécifique les mathématiques dans une affaire où elles peuvent n'apparaitre que comme un outil ? Il faut ici relire la phrase célèbre de Galilée[2] :

> La philosophie est écrite dans ce livre gigantesque qui est continuellement ouvert à nos yeux (je parle de l'Univers), mais on ne peut le comprendre si d'abord on n'apprend pas à comprendre la langue et à connaître les caractères dans lesquels il est écrit. Il est écrit en langage mathématique, et les caractères sont des triangles, des cercles, et d'autres figures géométriques, sans lesquelles il est impossible d'y comprendre un mot. Dépourvu de ces moyens, on erre vainement dans un labyrinthe obscur.

Amener les élèves à comprendre et parler ce langage, voilà l'une des contributions des mathématiques au développement de la pensée scientifique des élèves de collège. Ce langage est d'abord composé de nombres et de figures, présents dès le cycle 2 : « comprendre le système de numération », « reconnaitre des formes dans les objets réels » sont des objectifs du programme de mathématiques. Mais il s'enrichit au cycle 4 des symboles et de la syntaxe algébriques. C'est bien par la part prise par le calcul littéral que le cycle 4 marque une nouvelle étape dans l'apprentissage de la lecture de l'univers. Et avant le calcul lui-même, l'utilisation de l'écriture littérale constitue l'un des enjeux, « Comprendre l'intérêt d'une écriture littérale en produisant et employant des formules liées aux grandeurs mesurables » indique le programme, qui invite à multiplier les références aux sciences. Quant au calcul

2. Galileo Galilei (1623). Il Saggiatore traduction française de Christiane Chauviré, L'Essayeur, Les Belles-Lettres, Paris, 1980.

algébrique, c'est l'un des objectifs du cycle 4 que de permettre aux élèves d'en découvrir progressivement la puissance en termes d'abstraction, de généralisation et d'automatisation des calculs, en particulier au travers de problèmes du premier degré.

De la quatrième proportionnelle aux fonctions linéaires

Le modèle proportionnel, déjà présent au cycle 3, évolue au cycle 4 dans le sens d'une plus grande abstraction. Les situations à modéliser diffèrent peu, mais c'est le traitement mathématique de la modélisation qui évolue. Au travers d'un plus grand nombre de registres (graphiques, tableaux, coefficient multiplicateur, formule) et au travers d'une utilisation plus fine des propriétés de linéarité sous-jacentes à la situation de proportionnalité, pour aboutir enfin à la notion complètement décontextualisée de fonction linéaire où dans la formule $f(x) = ax$, ni a ni x ne renvoient nécessairement à un élément du monde réel. Dans ce parcours, c'est véritablement l'activité intra mathématique de création de concepts qui est à l'œuvre, permettant de faire naitre un objet, la fonction linéaire, dont le caractère dégagé de tout lien avec un contexte donné multiplie la puissance de modélisation (ne serait-ce que par la capacité d'automatiser les calculs). Faire percevoir aux élèves le gain réalisé au prix de l'effort d'abstraction doit être là encore une préoccupation de l'enseignant face à l'élève qui peut demander pourquoi on ne se contente pas des tableaux qui ont fait leurs preuves.

Probabilités

« Aborder les questions relatives au hasard à l'aide de problèmes simples » est un des objectifs du programme de cycle 4. Pour autant, la simplicité des problèmes ne doit pas cacher la complexité du modèle proposé. Il convient de ne pas précipiter le passage au modèle probabiliste et aux calculs à l'intérieur de ce modèle, et il convient surtout de ne pas prendre les calculs menés à l'intérieur du modèle pour des preuves ou des démonstrations de phénomènes réels. On ne prouve pas que « le dé est truqué », ou qu' « il vaut mieux miser sur l'obtention d'un 7 comme somme de deux dés que sur l'obtention d'un 2 », mais on effectue des calculs à l'intérieur du modèle mathématique qui aboutissent à une conclusion mathématique rigoureuse. Les conclusions que l'on peut en tirer quant aux dés réels ou aux paris réels ne relèvent pas des mathématiques et doivent être considérées avec recul et prudence. Pour reprendre la phrase radicale d'Einstein, *« Pour autant que les propositions de la mathématique se rapportent à la réalité, elles ne sont pas certaines, et pour autant qu'elles sont certaines, elles ne se rapportent pas à la réalité »*. L'utilisation du modèle probabiliste est une grille de lecture de la réalité, et son rapport avec le réel n'est pas le même que celui d'une théorie physique. L'affirmation « une pièce équilibrée a autant de chances de tomber sur pile ou sur face » n'est pas de même nature que « l'eau bout à 100 degrés » ou « il se forme un précipité rouge en présence de cuivre ». Une conséquence pratique de cette distinction tient dans la nécessité pour les enseignants de bien marquer la différence entre ce qui tient de l'observation (statistique) et ce qui tient de la modélisation théorique en privilégiant un vocabulaire du type « on décide que », « on modélise par » plutôt que « on voit que ». Parce qu'il rend compte de l'activité humaine, parce qu'il peut appuyer des décisions collectives ou des choix politiques, le modèle probabiliste doit plus que d'autres faire l'objet d'une sensibilisation des élèves à la prudence méthodologique.

Que nul n'entre ici s'il n'est géomètre !

La géométrie des figures, déjà évoquée, gagne elle aussi en abstraction au cycle 4 en s'éloignant de l'expérience sensible. Ce sont des triangles qu'on tenait auparavant dans la main après les avoir découpés et qui tiennent à présent tout entier dans les trois lettres ABC. Ce sont des solides qu'on va pouvoir décrire par des vues de coupes, des représentations en perspective sans les avoir matériellement sous les yeux. Ce travail progressif d'abstraction,

qui ne peut s'envisager au cycle 4 sans aller-retour avec la matérialité des solides concrets, ouvre non seulement la voie vers le raisonnement déductif, mais aussi vers la modélisation géométrique de l'espace. Cette modélisation de l'espace se manifeste au cycle 4 en particulier dans le repérage sur la sphère terrestre mais aussi au travers des calculs que cette modélisation permet (estimation du rayon de la terre et de la distance de la terre à la lune).

Mais cette géométrie de l'espace marque également profondément l'art, depuis les proportions des temples grecs jusqu'aux architectures contemporaines en passant par la révolution cézanienne : « *Permettez-moi de vous répéter ce que je vous disais ici : traitez la nature par le cylindre, la sphère, le cône [...]* »[3] et au-delà. C'est peut-être au cœur du plaisir esthétique, des notions d'harmonie et de symétrie, que le passage progressif à une géométrie des propriétés et des rapports trouve une de ses récompenses les plus précieuses : au travers de quelques tracés sur une toile de Leonard de Vinci, ou par l'imposition de transformations bien choisies sur une frise du palais de l'Alhambra, les mathématiques apportent leur concours à la compréhension des règles de l'art.

La modélisation au risque du projet

La modélisation, si on souhaite permettre aux élèves d'en comprendre les enjeux, nécessite dans l'idéal de partir d'un problème extra-mathématique, de construire un modèle, de le faire fonctionner et de pouvoir confronter ses résultats à la situation modélisée. Deux écueils apparaissent immédiatement :

- le temps nécessaire pour laisser les élèves réfléchir, émettre et confronter des hypothèses peut dépasser le cadre de la séance ;
- les modèles mathématiques permettant de rendre compte de situations réelles peuvent apparaitre comme hors de portée des élèves de collège.

Face à ces deux difficultés, deux possibilités s'offrent, qu'il convient de combiner car elles ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients.

La première piste consiste pour l'enseignant à prendre en charge une partie de la modélisation en présentant une situation déjà simplifiée, voire en partie modélisée. Cette possibilité a l'avantage de diminuer fortement le temps nécessaire pour appréhender la situation et de proposer un cadre où l'on sait que l'élève a les moyens d'effectuer un travail de modélisation. Elle peut toutefois conduire à des situations tellement artificielles et caricaturales qu'elles finissent par ne plus rien modéliser. Il est donc important de présenter aux élèves les raisons qui ont présidé au choix du modèle, de les amener à le critiquer de manière argumentée, et d'évoquer lorsque cela est possible des outils et des concepts qu'ils rencontreront plus tard et qui permettront d'améliorer le modèle.

La deuxième piste consiste à garder l'idée de la confrontation à la complexité du réel en pariant sur le temps long du projet, que ce soit au sein du cours de mathématiques ou dans le cadre d'un EPI. Si cette modalité constitue pour le développement de la compétence « modéliser » un terrain a priori idéal, il faut cependant garder à l'esprit les risques inhérents à la conduite des projets, que nous rappelle un chercheur comme Jean-Yves Rochex[4] :

3. Paul Cézanne, Lettre à Émile Bernard, 15 avril 1904.

4. Extrait de l'audition au CSE du 6 janvier 2015, reprise dans le rapport de l'Inspection générale Grande pauvreté et réussite éducative (J.P. Delahaye, mai 2015)

> [...] la question n'est pas simplement de savoir si nous sommes en mesure de proposer des projets et des activités attractives pour les élèves, mais aussi de savoir si ces activités sont productrices d'apprentissages et de dispositions durables, qui restent une fois le projet accompli, une fois le spectacle donné [...].Comment veiller à ce que la réalisation d'un projet collectif ne se concrétise pas par une division sociale du travail entre élèves, qui spécialise les élèves les plus faibles dans les tâches les moins intéressantes sur le plan intellectuel, les élèves les plus performants dans les tâches les plus intéressantes ?

Ces points de vigilance étant posés, il apparait indispensable de demander aux élèves un retour réflexif régulier sur les mathématiques rencontrées (quelles notions mathématiques, connues ou inconnues ai-je rencontrées ?) et au moins en fin de projet, de garder un temps de reprise et d'institutionnalisation par l'enseignant des concepts mathématiques à l'œuvre, afin que, pour tous les élèves, les éléments de savoir mathématique qui sous-tendent la modélisation apparaissent clairement, dégagés de la multiplicité d'expériences, de souvenirs, de sensations qui constituent pour eux la trace sensible du projet.

Décrire le monde : un enjeu au carrefour des domaines du socle

La compétence « Modéliser » constitue pour l'élève de cycle 4 un enjeu qui rencontre les 5 domaines du socle : elle illustre la puissance du langage mathématique dans sa capacité de mise en ordre et de description du monde, elle constitue une mise en œuvre des méthodes mathématiques de raisonnement hypothético-déductif, elle participe à la formation d'un citoyen éclairé, elle constitue le langage des grands systèmes scientifiques, et elle représente, notamment au travers de la géométrie et des probabilités, un outil indispensable de compréhension de l'activité humaine.

Cette omniprésence ne rend pas pour autant facile pour les élèves la maitrise de cette compétence, qui peut être cachée dans la diversité des activités mathématiques. Il revient à l'enseignant, au-delà des projets, des EPI, des exercices quotidiens, de mettre au jour les modalités, la puissance et les limites de la modélisation mathématique.

Bibliographie et sitographie

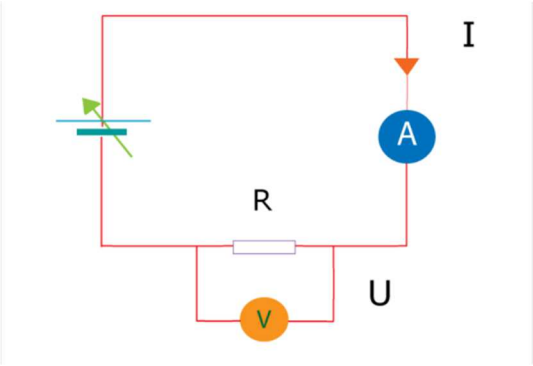
- De la modélisation du monde au monde des modèles (1) et (2) : Le délicat rapport « mathématique-réalité » et Des statistiques aux probabilités - DUPERRET,J.-C. (2012). Bulletins verts de l'AMPEP 484 et 486.
- Site du Projet européen Lema (Learning and Education in and through Modelling and Applications).
- Interdisciplinarité et modélisation, un atout et un défi pour l'enseignement des mathématiques - ARTIGUE, M. (2016), séminaire de l'IREM Paris 7.

Promotion stagiaires externes PLPA 2020-2021

Proposition 1 : Activités de modélisation sur la proportionnalité

Groupe 1

Lors d'un TP en sciences physiques, Noel effectue le montage ci-dessous avec un générateur de tension variable, un résistor de résistance inconnue et un ampèremètre branchés en série. Il branche aux bornes du résistor un voltmètre. En faisant varier la tension du générateur, il constate que l'intensité varie. Il reporte alors les différentes valeurs de U et de I dans le tableau ci-dessous :



Tension U (en V)	2	4	6	8	10	
Intensité I (en A)	0,021	0,042	0,064	0,078	0,13	

A l'aide de ces données, proposer une démarche pour estimer l'intensité pour une tension de 18V.

Groupe 2

On utilise un moteur et on va mesurer l'énergie déployée par le moteur. L'énergie absorbée

E durant un temps t est donnée dans le tableau ci-dessous

Temps (h)	1	2	3	5	6	7	
Energie (kW h)	2.5	5	7.4	12.5	15.1	17.5	

A l'aide de ces données, proposer une démarche pour estimer l'énergie consommée au bout de 15h.

Groupe 3

En Physique, Ernest et Célestine mesurent la masse d'éthanol (à 98%) pour différents volumes.

Ils obtiennent le tableau ci-dessous.

	Mesure A	**Mesure B**	**Mesure C**	**Mesure D**	**Mesure E**	**Mesure F**
Volume (mL)	20	50	100	200	300	500
Masse (g)	15,82	39,51	79,06	158,2	237,14	395,23

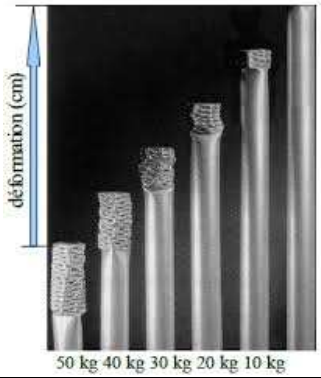
A l'aide de ces données, proposer une démarche pour estimer la masse pour un volume de 700 mL.

Groupe 4

Mr Casadei, ingénieur chez Renault a travaillé sur l'énergie cinétique des voitures, *notamment sur la déformation des voitures lors de collision.*

Il a pour cela fait une expérience en laboratoire qui consiste à envoyer un projectile à étudier sur un tube qui se replie plus ou moins selon l'énergie cinétique du projectile. Ci-dessous un orgue de Casadei formé de tubes enfoncés par des projectiles ayant la même vitesse mais des masses différentes.

Projectile de masse :



Masse du projectile (kg)	0	10	20	30	40	50
Déformation en cm	0	0.7	1.7	2.3	3.3	3,9

A l'aide de ces données, proposer une démarche pour estimer la déformation en cm pour une masse de projectile de 120 kg.

Aide pour résoudre les activités de recherche

- Observer les grandeurs, les nommer et identifier les unités
- Décrire l'évolution d'une grandeur en fonction de l'autre
- Analyser l'évolution d'une grandeur en fonction de l'autre. Est-ce que l'évolution décrite est possible dans la réalité ?
- Représenter une grandeur en fonction de l'autre. (papier millimétré fourni)
- Modéliser le phénomène physique. (Trouver une formule qui relie les deux grandeurs)

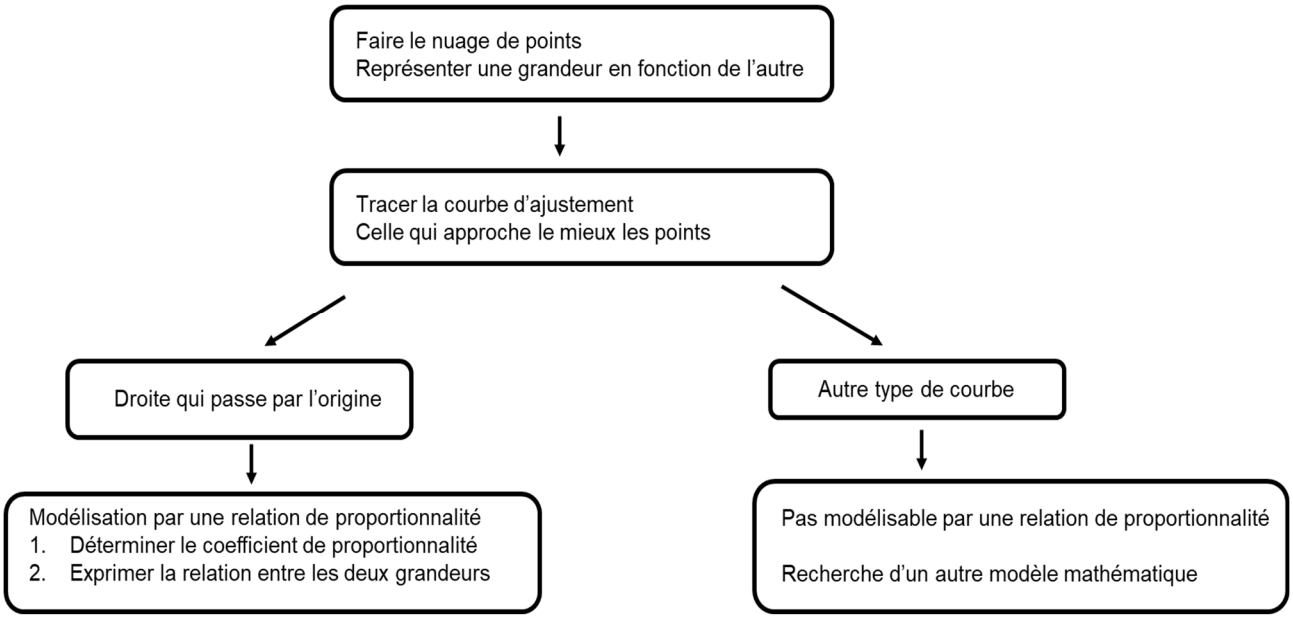
Bilan de l'activité

	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 4	Groupe 3
Grandeur A	Tension	Temps	Volume	Masse
Grandeur B	Intensité	Energie	Masse	Déformation (longueur)
Représentation graphique	Droite qui passe par l'origine	idem	idem	idem
Relation entre A et B	$I = k_1 \times U$	$E = k_2 \times t$	$V = k_3 \times m$	$l = k_4 \times m$
Sens physique du coefficient de proportionnalité	Conductivité (inverse de la résistance)	Puissance	Masse volumique	Compliqué à ce stade de le définir

Les relations ne seront pas nécessairement explicitées par les groupes, de même que le sens physique des coefficients de proportionnalité. Cela pourra se réfléchir lors de l'institutionnalisation.

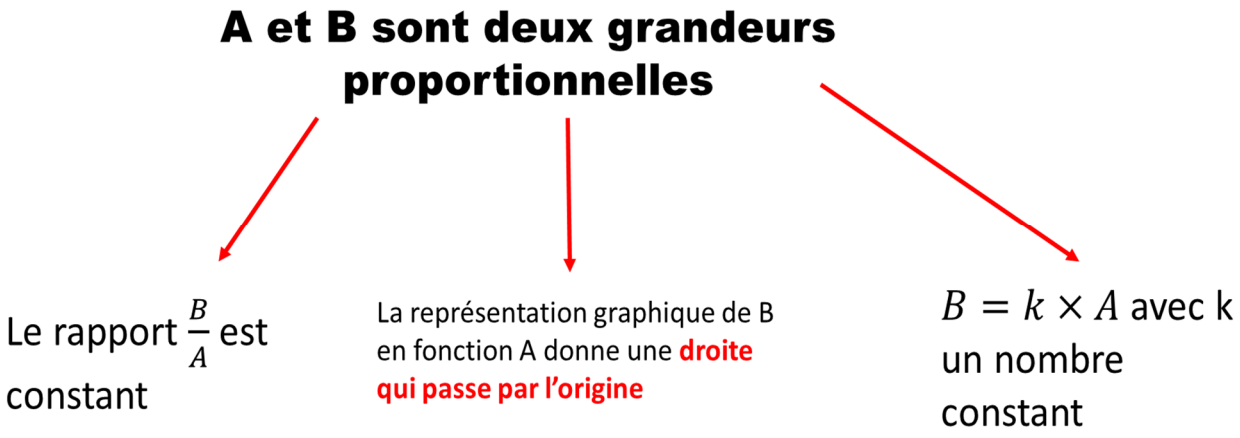
Méthode pour modéliser en sciences

Lorsque l'on souhaite déterminer le lien entre deux grandeurs, on va :



Rappel : Notion de proportionnalité

Deux grandeurs sont proportionnelles lorsque l'on passe de l'une à l'autre en multipliant toujours pas le même nombre.



Promotion stagiaires externes PLPA 2020-2021

Proposition 2 : Ordre de grandeur – Estimation

Activité sur la production laitière

Durée totale : 2 heures

Objectifs de l'activité

- Estimer un volume par rapport à un contenant de référence.
- Convertir un volume → L en m^3 → L en kg
- Estimer une masse en utilisant la proportionnalité.

Enoncé :

Mr Lactel est producteur de lait. Pour stocker sa production pendant 48h, Mr Lactel utilise un tank à lait, présenté dans la photo ci-dessous

Tank à lait de Mr Lactel et ses dimensions

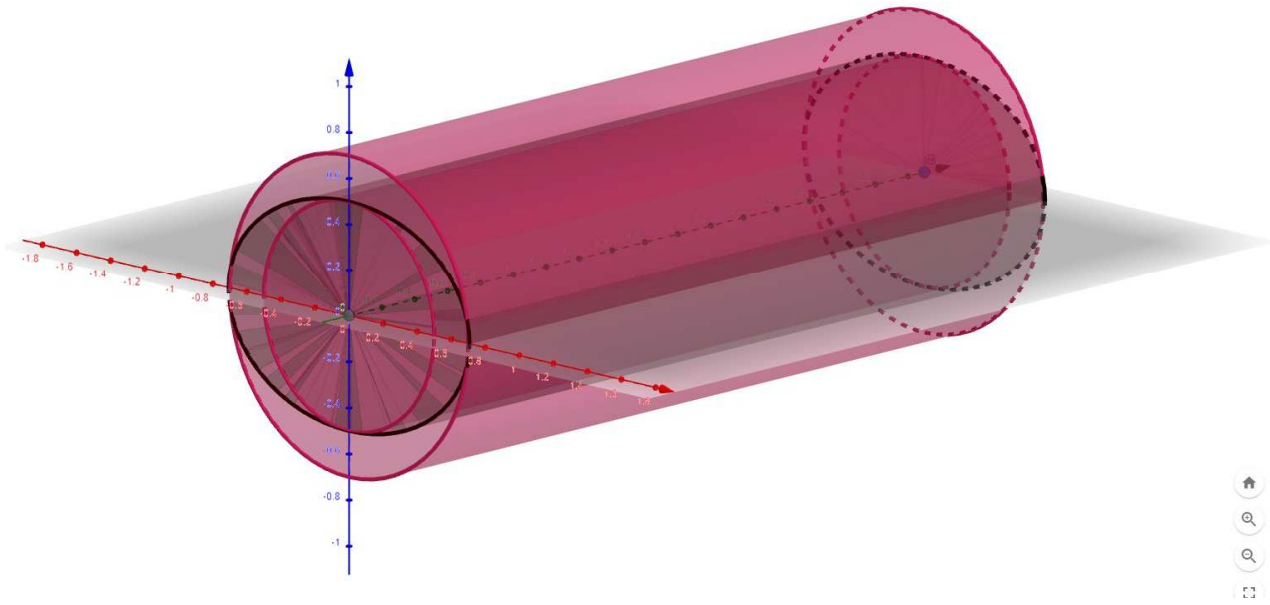
1) Estimer le volume de lait que peut contenir le tank.

→ Aide n°1 : Rappeler le volume d'un cylindre

→ Aide n°2 : Déterminer la base, la hauteur et les rayons min et max du tank à lait.

→ Aide n°3 : Pour donner une estimation fiable du volume, un encadrement avec une valeur minimum et une valeur maximum peut être utilisé.

Visualisation avec géogébra



2) Le volume d'un cylindre dont la base à la forme d'une ellipse s'exprime par la relation

$V = h \times \pi \times r_{min} \times r_{max}$

Calculer le volume exact du tank à lait.

Bilan intermédiaire : L' estimation en question 1 était-elle correcte ? oui non

Mr Lactel dispose d'un cheptel de 60 vaches laitières. Ses vaches ont une productivité quotidienne de 28 L de lait et un poids vif moyen de 550 kg.

3) Calculer le volume de lait produit par le cheptel de Mr Lactel pendant 48h

→ Aide n°5 : Conversion : 1000 L = 1 m3 ; 1 jour = 24h

Bilan intermédiaire : Le volume du tank est-il suffisant pour recueillir la production sur 48h ? oui non

4) A partir de la masse volumique du lait (1 030 kg /m3), déterminer la masse de lait produite par vache et par jour.

→ Aide n°6 : Définition de la masse volumique

Le tableau 1 indique le maximum de MS totale (fourrage et mélange de concentrés) qu'une vache laitière peut consommer dans la seconde moitié de sa lactation. Dans ce tableau, la MS totale est exprimée en pourcentage du poids vif de la vache et en kg par jour. Une vache de 550 kg donnant 30 kg de lait peut consommer 3,7 % de son poids vif en MS chaque jour, soit à peu près 20,4 kg. Une plus grosse vache (650 kg) ayant une production laitière similaire ne peut consommer que 3,4 % de son poids en MS (22,1 kg par jour). Des vaches plus grosses à production laitière supérieure peuvent consommer davantage de MS alimentaire.

Tableau 1. Ingestion de matière sèche par vache en seconde moitié de lactation (% du poids vif et kg par jour)

Production laitière (kg)	Poids vif de la vache (kg)					
	450		550		650	
	%	Kg	%	Kg	%	Kg
10	2,6	11,7	2,3	12,7	2,1	13,7
20	3,4	15,3	3,0	16,5	2,8	18,2
30	4,2	18,9	3,7	20,4	3,4	22,1
40	5,0	22,5	4,3	23,7	3,8	24,7
50	5,6	25,2	5,0	27,5	4,4	28,6

Source : Guide d'alimentation des vaches laitières. Omafra.

5) Pour piloter au mieux l'alimentation de son cheptel, aider Mr Lactel à estimer la quantité de fourrage (en kg MS) à distribuer aux animaux chaque jour.

→ Aide n°7 : Utiliser la proportionnalité pour estimer la quantité de fourrage par vache en fonction de sa productivité

→ Aide n°8 : Utiliser la proportionnalité pour estimer la quantité totale de fourrage à distribuer aux troupeau

A retenir :

Pour estimer un volume → 2 méthodes d'estimation

- **Encadrement à l'aide d'un contenant de référence : Calculer une valeur haute et une valeur basse**
- **Arrondir/ Approcher les dimensions**

La masse d'un corps est proportionnelle à son volume. La masse volumique permet de convertir un volume en masse.

Formule de la masse volumique : $\rho = m/V$

avec :

ρ : $la\ masse\ volumique\ en\ kg\ .m^{-3}$

m: $la\ \ masse\ du\ corps\ en\ kg$

V: $le\ volume\ du\ corps\ en\ m^3$

Pour aller plus loin

→ Quizz sur des estimations de volumes par calcul mental.

→ Réutiliser le cadre de l'activité pour les aspects énergies thermiques (production de froid, maintien 4°C température du lait).

→ TP au laboratoire

⇒ sur la détermination de différentes masses volumiques de solutions aqueuses (lait, eau de mer, eau distillée,...).

⇒ Estimation des incertitudes liées aux mesures de volumes et de masses.

Déroulé de séance

1ere CGEA				
	Durée de l'étape	Objectif de l'étape	Contenu	Compétences mobilisées
Prérequis	20 min	Rappeler les volumes usuels	Rappel de la formule générale du volume d'un solide Activité/Quizz sur les formules du cube, pavé droit, parallélépipède, cylindre, cône, sphère (Kahoot, Plickers) Distribuer un formulaire	Déterminer et utiliser une formule d'un volume S'approprier
Q1	25 min	Modéliser le volume d'un cylindre Estimer le volume d'un objet à partir d'un modèle de référence. Estimation par encadrement.	Appliquer le formulaire sur le volume d'un tank Déterminer différentes dimensions pour estimer un volume Réaliser un encadrement (rayon min/max) pour trouver une valeur Visualiser à l'aide de géogébra	Modéliser Traduire en langage mathématique une situation réelle. Représenter : choisir un cadre pour traiter un problème Réaliser/Calculer : Effectuer un calcul automatisable à l'aide d'un instrument.

Q2	10 min	Valider un modèle	Calcul du volume d'un cylindre elliptique Comparer aux valeurs proposées précédemment	Valider/Raisonner : Confirmer ou infirmer une conjecture Réaliser/Calculer : Effectuer un calcul automatisable à l'aide d'un instrument
Q3	15 min	Calculer une production Convertir des unités de volumes (L⇔m3)	Utiliser un ratio pour calculer une production Confirmer la suffisance d'un volume de stockage par rapport à une production	Analyser Valider
Q4	15 min	Convertir un volume en masse Déterminer une productivité	Utiliser une relation impliquant la masse volumique Rappeler la définition de la masse volumique	Réaliser/Calculer
Q5	20 min	Appliquer à une SPS Estimer en utilisant la proportionnalité	Mise en situation sur l'alimentation des vaches en fonction de leur production laitière à partir d'information technique	S'approprier Analyser Réaliser/calculer
Ccl	5 min	Retenir l'important	Formaliser les savoirs par les élèves	

Promotion stagiaires externes PLPA 2020-2021

Proposition 3 :Scénario pédagogique sur les ordres de grandeur

Contexte : classe de 2nde professionnelle en lycée agricole

Travail en équipe interdisciplinaire mathématiques - physique - chimie

Place dans la progression : en début d'année scolaire

Pré-requis :

- calculs sur les puissances de 10 (mise à niveau)

- proportionnalité

Objectif : déterminer et manipuler des ordres de grandeurs pour donner du sens à un résultat (compétences : analyser et valider)

Séances	**Contenus**	**Durée**
1h en Mathématiques	Activité 1 : mesure de surface Définition d'un ordre de grandeur Activité 2 : application à l'ordre de grandeur de surfaces	55 min
1h en Physique-chimie	Activité 3 : sources d'énergie électrique Activité 4 : ordre de grandeurs de l'énergie électrique	55 min
Conversion d'unités Travaillées tout au long de l'année	Automatismes en mathématique en 2nde pro : convertir les unités, déterminer un arrondi Notion transversale abordée dans tous les chapitres du cours de PC (matière, concentration, volume, énergie…)	20 min /semaine

<u>Activité 1 :</u> Mesures de surface

Les élèves sont invités à mesurer à l'aide de leur double décimètres des aires de petites surfaces rectangulaires : cahier, table, bureau du professeur, tableau, etc… Prévoir un double décamètre pour mesurer l'aire de la salle de classe ou celle des murs.

Définition : Mesurer l'aire d'une surface, c'est compter combien il faut de surfaces-unité pour la recouvrir entièrement, sans qu'elles se chevauchent, et sans laisser de trous. L'aire d'une portion de surface est la grandeur de son étendue.

En mathématiques : ne pas confondre la surface qui est un objet géométrique avec son aire.

Pour toutes ces mesures :

→ Faire le lien de conversion entre le centimètre-carré et le mètre-carré.

→ Classer les résultats selon leur ordre de grandeur : 10 cm^2 10^2 cm^2 10^3 cm^2 1 m^2 10 m^2

→ réflexion sur l'incertitude de mesure

Formalisation : Définition de l'ordre de grandeur

Un ordre de grandeur est un nombre qui représente de façon simplifiée mais approximative la mesure d'une grandeur physique. Ce nombre est la puissance de 10 la plus proche du résultat de la mesure (arrondi à un multiple de 10 près).

L'écriture scientifique d'un nombre est de la forme a ×10^n :

• Si 1≤ a < 5 , on a l'ordre de grandeur en remplaçant a par 1.

• Si 5 < a <10 , on a l'ordre de grandeur en remplaçant a par 10.

Exemple 1 : 123 400 = 1,2 x 10^5. L'ordre de grandeur de 123 400 est 10^5.

Exemple 2 : 678 000 000 = 6,78 x 10^8. L'ordre de grandeur de 678 000 000 est de 10^9.

Une autre définition possible de l'ordre de grandeur est utilisée en mathématiques au collège, il s'agit alors de ne conserver qu'un seul chiffre significatif pour obtenir un ordre de grandeur en calcul mental.

<u>Activité 2 :</u> « Ordre de grandeur de surfaces »

QCM : Pour chacun de ces exemples, choisir un ordre de grandeur de surface :

Surface d'une table : 10^{-1} m² 10^{0} m² 10^{1} m² 10^{2} m²

Surface d'une chambre : 10^{-1} m² 10^{0} m² 10^{1} m² 10^{2} m²

Surface d'une maison : 10^{0} dam² 10^{1} dam² 10^{2} dam² 10^{3} dam²

Surface d'un terrain de volley-ball : 10^{0} are 10^{1} ares 10^{2} ares 10^{3} ares

Surface d'un terrain football : 10^{0} are 10^{1} ares 10^{2} ares 10^{3} ares

Surface des parcelles d'une petite exploitation : 10^{0} ha 10^{1} ha 10^{2} ha 10^{3} ha

Surface cultivée en vigne en France : 10^{2} ha 10^{6} ha 10^{10} ha 10^{20} ha

Surface Agricole Utile (SAU) en France : 10^{4} ha 10^{7} ha 10^{10} ha 10^{20} ha

Pour tous ces exemples :

→ Faire le lien de conversion entre l'hectare et le mètre-carré, puis le kilomètre-carré

Formalisation : Définitions communes M-P.C. : surface, aire, unité d'aire

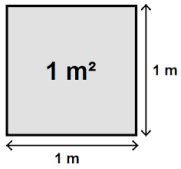
L'aire d'une surface c'est la grandeur de son étendue.

Mesurer l'aire d'une surface, c'est compter le nombre d'unités d'aire qu'il faut pour la recouvrir complètement sans laisser de trous.

Les unités d'aires sont les aires des carrés construits avec des côtés de longueur unité.

- L'aire est la mesure de la surface.

  Exemple :
  - L'unité principale d'aire est le **mètre carré** (m^2). C'est l'aire d'un carré de 1 m de côté.



  - Tableau de conversion des unités d'aires :

km^2		hm^2		dam^2		m^2		dm^2		cm^2		mm^2	
		ha		a		ca							

- Les **unités agraires** sont les suivantes :
  - l'hectare (ha) : 1 ha = 1 hm^2 ;
  - l'are (a) : 1 a = 1 dam^2 ;
  - le centiare (ca) : 1 ca = 1 m^2.

Exercice : ordres de grandeur du résultat (calcul mental)

Pour trouver un ordre de grandeur du résultat d'un calcul, on peut procéder en deux étapes :
- on remplace chaque nombre par un nombre proche qui facilite le calcul
- on effectue mentalement le calcul

On peut utiliser un ordre de grandeur pour prévoir ou contrôler le résultat d'un calcul.

Exemple: trouver un ordre de grandeur de 49 x 31
49 ≃50 et 31 ≃ 30 donc 49 x 31 ≃ 50 x 30, or 5 x 3 = 15
Donc un ordre de grandeur du produit 49 x 31 est 1 500.

Application : trouver un ordre de grandeur de chacune de ces sommes
A = 2 878 + 3 053 B = 449 + 732 + 45 C = 42 043 + 51 987 + 178 654

Définitions communes M-P.C. : grandeur, ordre de grandeur

En langage courant, une grandeur est le caractère de ce qui est ou paraît grand par ses dimensions ou son étendue. *Exemple : un palais d'une grandeur extraordinaire*. La grandeur d'une figure géométrique peut avoir une signification courante : tous les carrés ont la même forme mais n'ont pas la même grandeur.

Les grandeurs sont des êtres mathématiques qui, étant susceptibles de variation, peuvent être comparés en terme d'égalité, ou d'ordre (plus grand, plus petit). Exemples : aire, angle, durée, longueur, vitesse, volume…

Autre définition d'une grandeur : propriété d'un phénomène, d'un corps ou d'une substance que l'on peut exprimer quantitativement sous forme d'un nombre et d'une référence : l'unité.

<u>Activité 3 :</u> Identification des différentes sources de l'énergie électrique

-> Sondage avec le groupe classe pour lister plusieurs sources d'énergie électrique :

Réponses attendues avec les exemples des élèves :

-> Energie non renouvelables :

-> Energies fossiles : Pétrole, Charbon, Gaz

-> Énergie Nucléaire : uranium

-> Energies renouvelables : Solaire, géothermie, éolien, biomasse, hydroélectricité

Définition de l'énergie électrique :

L'énergie électrique est une énergie disponible sous forme de courant électrique. L'électricité peut provenir de sources renouvelables ou non renouvelables.

Sur la facture, l'énergie électrique s'exprime généralement en Watt-heure (Wh).

Un Watt-heure équivaut à 3600 joules (J).

<u>Activité 4 :</u> Travailler sur les ordres de grandeur autour de la production ou de la consommation d'énergie électrique.

Rappel de la notion mathématique sur les ordres de grandeur :

Un ordre de grandeur est un nombre qui représente de façon simplifiée mais approximative la mesure d'une grandeur physique. Ce nombre est la puissance de 10 la plus proche du résultat de la mesure.

En vous aidant des documents 1 et 2, donner un ordre de grandeur de l'énergie électrique:

- la consommation de la France pendant 1 an
- la consommation d'un smartphone pendant 1 journée
- la production d'une unité de méthanisation pendant 1 mois
- la consommation d'une télévision pendant 1 heure
- la production d'une éolienne pendant 1 heure

Document 1 : Exemple de production ou de consommation d'énergie

Exemples	Valeur	Ordre de grandeur
Energie de fission d'un noyau d'uranium 235	0,9 femtoWh	10^{-15}
Energie d'un flash d'appareil photo	3 milliWh	10^{-3}
Energie reçue du Soleil au sommet de l'atmosphère par mètre carré en une seconde	3 déciWh	10^{-1}
Énergie dans une pile LR06 AA	2,4 Wh	10^{0}
Energie consommée par un smartphone pendant 1 heure	100 Wh	10^{2}
Energie stockée dans une batterie de voiture	600 Wh	10^{3}
Energie consommé annuellement par un écran LCD	40 kiloWh	10^{4}
Energie produite par une unité de méthanisation pendant une heure	239 kiloWh	10^{5}
Energie consommée en une année par un séche-linge	900 kiloWh	10^{6}
Energie produite par une éolienne en un an	4,4 gigaWh	10^{9}
Consommation électrique de la Norvège en 1998	111 TéraWh	10^{14}
Energie dégagée par le Soleil en une année		10^{30}

Document 2 - Tableau associant Unité et Ordre de grandeur

Dénomination	Unité de base multiplié par	Ordre de grandeur
pico	x10^{-12} ou x 0.000 000 000 001	10^{-12}
nano	x10^{-9} ou x 0.000 000 001	10^{-9}
micro	x10^{-6} ou x 0.000 001	10^{-6}
milli	x10^{-3} ou x 0.001	10^{-3}
kilo	x10^{3} ou x 1 000	10^{3}
méga	x10^{6} ou x 1 000 000	10^{6}
giga	x10^{9} ou x 1 000 000 000	10^{9}
téra	x10^{12} ou x 1 000 000 000 000	10^{12}

Promotion stagiaires externes PLPA 2020-2021

Proposition 4 : le logarithme

Public : Terminale pro et/ou technologique

Objectifs :

- Introduire le log par une situation de chimie
- Définition du log/ln
- Utilité du log et des échelles logarithmiques pour représenter des phénomènes PC

Séance 1 – durée 2h

Réalisation d'une activité expérimentale avec l'obtention d'un tableau de valeurs avec des dilutions successives d'une solution acide.

Contexte sur les pluies acides.

2 options possibles pour la fin d'activité

1 - Utilisation d'un logiciel pour donner l'expression de la fonction entre les deux grandeurs (pH et Concentration molaire en ions H_3O^+)

Précision : Excel donne l'expression d'ajustement avec ln.

2 – Raisonner sur le tableau de valeur obtenu en faisant arrondir le pH expérimental à l'unité. On veut faire exprimer que si $C = 10^{-x}\ alors\ pH = x$

On amène que la fonction mathématique qui « transforme » une puissance de 10 en nombre est log donc $pH = -\log[H_3O^+]$

Séance 2 – 1 h

Propriétés du log

Séance 3 – 1 h ou 2 h

2 Activités au choix ou à travailler en différenciation.

Activité documentaire de chimie, appréhender des résultats scientifiques donnés dans la presse généraliste

Activité sur l'intensité sonore et appréhender les échelles logarithmiques

Séance 4 – 1 h

Propriétés de la fonction ln.

Séance 1 : activité expérimentale et exploration numérique pour expression mathématique

Julien lit un article dont voici un extrait. « En l'absence de pollution, la pluie est naturellement acide à cause du CO_2 présent dans l'atmosphère.

Récupérer l'eau de pluie afin de l'utiliser pour l'arrosage du jardin nécessite quelques précautions : « ajouter de la soude afin de neutraliser l'acide est une possibilité. »

Julien se demande comment évolue le pH de l'eau de pluie avec la pollution, et comment être sûr d'avoir neutralisé son acidité.

On note que l'acide carbonique se comporte comme l'acide chlorhydrique.

Objectif : utiliser une pipette, préparer une solution de concentration déterminée par dilution, mesurer un pH.

Donner une méthode relativement précise pour mesurer l'acidité d'une solution.

……

……

A quelle concentration est liée l'acidité d'une solution ?

……

……

Faire une dilution

1.1. Principe

On désire préparer une solution d'acide chlorhydrique de **concentration molaire** 0,01 mole par litre à partir d'une solution initiale d'acide chlorhydrique de **concentration molaire** 0,1 mole par litre (c= 0,1 $mol.L^{-1}$) . **Diluer** une solution consiste à ajouter de l'eau à un volume **v** donné de solution initiale. La solution initiale est appelée **solution mère** et la solution obtenue est appelée **solution fille**.

1.2. Calcul

Calculer le volume **v** de solution mère à prélever (on utilise une fiole jaugée de 50 mL).

……
……
……

En déduire le volume de la pipette à utiliser (25 mL, 10 mL ou 5 mL) ;

.....
.....
.....

Matériels :	**Produit :**
• 3 béchers • Une pissette d'eau distillée • Une pipette • Un pipeteur • Une fiole jaugée de 50 mL + bouchon • Un stylo • pH-mètre + électrode Un rouleau de papier pH	Acide chlorhydrique de concentration c = 0,1 $mol.L^{-1}$

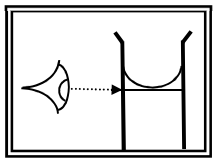
Proposer un protocole pour faire la dilution

Protocole

2.1. Dans un bécher placer environ 25 mL de solution mère, noter la concentration sur celui-ci.

2.2. A l'aide de la pipette et de la propipette, prélever le volume v de solution mère et verser dans la fiole jaugée de …….. mL **déjà remplie à moitié environ d'eau distillée.**

ⓘ Attention à la précision



2.3. Compléter la fiole jaugée avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

2.4. Fermer la fiole avec le bouchon, puis agiter pour homogénéiser le mélange.

2.5. Verser la solution obtenue dans un bécher et noter la concentration sur celui-ci.

2.6. Recommencer une dilution (du **2.2** jusqu'au **2.5**) en prenant cette fois la solution (solution fille) obtenue comme solution mère.

2.7. Étalonner le pH mètre.

Mesurer le pH de chaque solution et compléter le tableau

Mesurer et calculer un pH

2.8. Mesurer le pH de chaque solution d'acide chlorhydrique, puis compléter le tableau.

$[H_3O^+]$ en mol/L Concentration de la solution d'acide chlorhydrique **(en mol.L^{-1})**	0,1= 10···	0,01 = 10···	0,001= 10·····	0,0001= 10·····
pH mesuré avec pH mètre	0.98	1.99	2.99	4

2.9. Laver la verrerie. Essuyer et ranger le plan de travail. Penser à vous laver les mains.

2.10. Interpréter les résultats obtenus : Traduire par une phrase la relation qui existe entre la dilution et l'évolution du pH pour ces 3 solutions d'acide chlorhydrique**.**

……

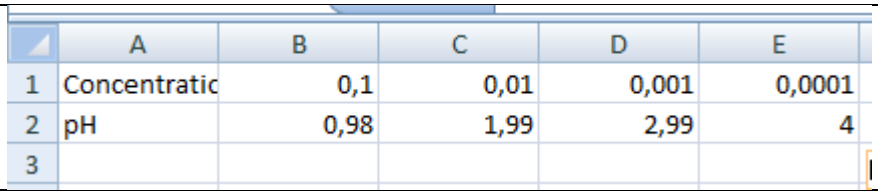
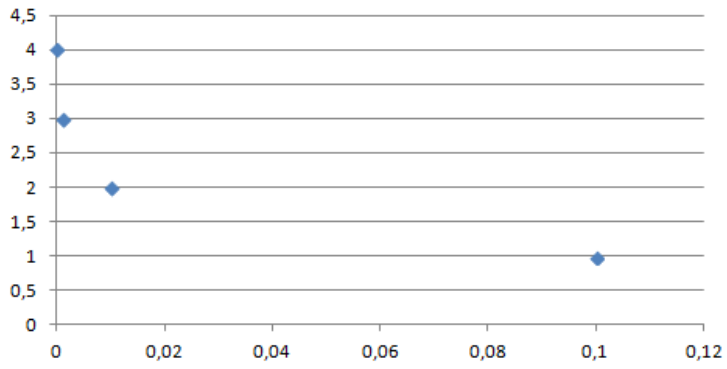
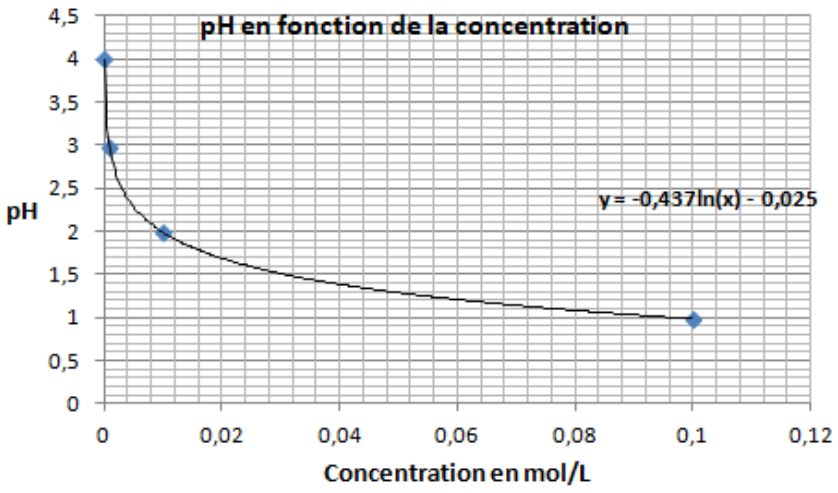
……

……

3. **Quelle est la relation entre le pH et la concentration de la solution d'acide ?**

Objectifs : Tracé d'un graphique à l'aide des TICE - Introduction du logarithme. Résolution d'un problème à l'aide de la représentation de la courbe.
Ouvrir une feuille de calcul de tableur (Excel) et suivre les consignes qui sont sur la feuille ci-dessous.

Ouvrir le logiciel	

Remplir les données Sélectionner la plage (clic gauche puis maintenir et déplacer la souris)	
Aller sur l'onglet insertion puis onglet graphique, sélectionner nuage. choisir nuage de points avec courbe lissée et marqueurs	
On doit mettre un titre et nommer les axes. Améliorer la graduation des axes	
Sélectionner le graphique, aller sur disposition, puis Etiquettes Donner un titre et nommer les axes. Cliquer droit sur les axes, ajouter un quadrillage. Mise en forme de l'axe	
Cliquer droit sur la courbe, puis ajouter une courbe de tendance. Dans option de courbe de tendance, cocher logarithmique, et cocher afficher l'équation sur le graphique	

3.1. Donner le pH d'une solution de 0.06 mol. L^{-1}.

……

3.2. Donner la concentration correspondante au pH 1.5

……

On suppose que l'équation de la courbe pH en fonction de la concentration est donnée par : pH ≈ -0,437 × ln(concentration)

Séance 2 : mathématiques – définition et analyse des fonctions logarithmiques

Les logarithmes décimaux

L'idée de départ est de **remplacer les multiplications par des additions** et les quotients par des soustractions. Pour cela, on associe deux suites de nombres selon le schéma suivant :

$1 = 10^0 \quad \mapsto \quad 0$
$10 = 10^1 \quad \mapsto \quad 1$
$100 = 10^2 \quad \mapsto \quad 2$
$1\,000 = 10^3 \quad \mapsto \quad 3$

a) Quelle est la nature de la suite située à gauche des flèches ?

b) Quelle est la nature de la suite située à droite des flèches ?

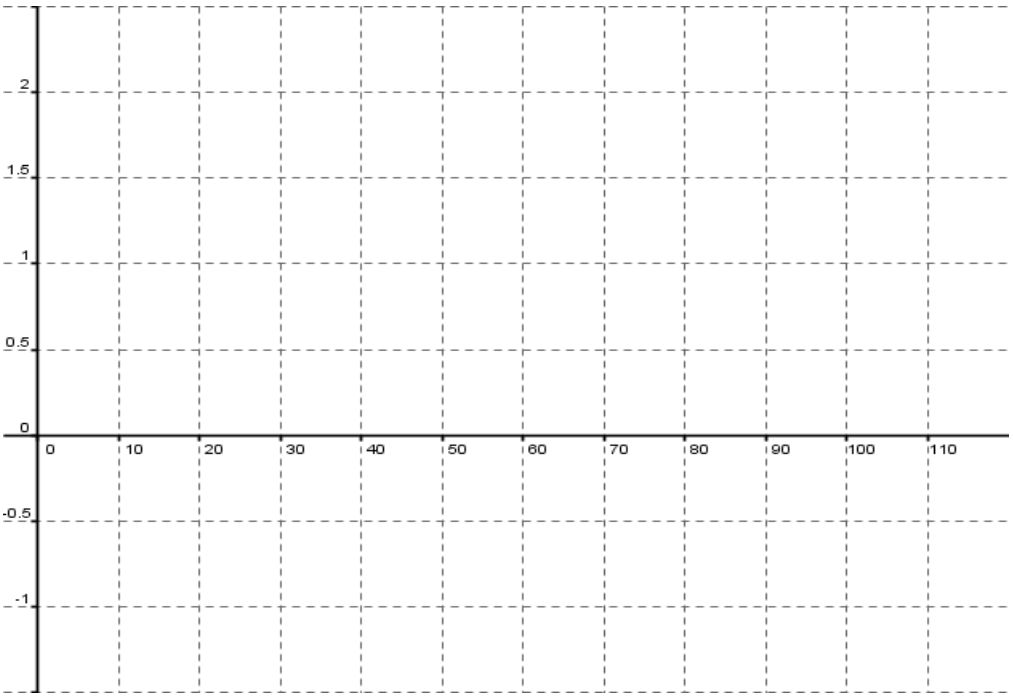
On étend le procédé aux exposants négatifs, compléter :

0,1 = … … ↦ … … ; 0,01 = … … ↦ … … ; 0,001 = … … ↦ … …

On définit ainsi une fonction appelée logarithme décimal

Lorsque x est une puissance entière de 10, on a donc :

Placer (lorsque l'échelle choisie le permet) les points correspondants aux valeurs précédentes dans le repère ci-contre.



x	0,001	0,01	0,1	1	10	100	1 000
$y = \log(x)$				0	1	2	3

$\log(10^x) =$	$y = \log(x) <=> x =$ .....

Cette fonction se note log , elle est définie sur]0 ; +∞[par

$\log(x)=\frac{ln(x)}{\ln(10)}$

$\log(x)$ existe pour tout réel x strictement positif

Pour tout réel strictement positif,

$y = \log(x) <=> x = 10^y$ et $\log(10^x) = x$

Une propriété fondamentale

On sait que $10^2 \times 10^3 = 10^{\cdots\cdots}$
donc $\log(10^2 \times 10^3) = \log(10^{\cdots\cdots}) =$ ……. et $\log(10^2) + \log(10^3) =$ ……. + ……. = …….

pour tous les réels a et b strictement positifs : $\log(a \times b) = \log(a) + \log(b)$

Etablissons quelques conséquences de cette propriété :

Calculer de deux manières différentes log(a x), $\frac{1}{a}$ quelle propriété obtient-on ?

Pour tout réel *a* strictement positif

$\log(\frac{1}{a}) =$ .....

Pour tous les réels *a* et *b* strictement positifs

$\log(\frac{a}{b}) =$ .....

Applications :

Par exemple en physique : L=10 x $\log(\frac{I}{I_0})$

Par exemple en chimie : pH=log([H3O+])

Séance 3 de maths-physique – utilisation des propriétés du log

Activité 1 : Utiliser les connaissances mathématiques et chimiques pour analyser un article de presse généraliste.

Article paru dans Le Monde le 18 novembre 2015

Tout ce qu'il faut savoir sur l'acidification des océans. L'acidification des océans est devenue en quelques années l'un des problèmes majeurs auxquels nos océans font face. Malheureusement, le problème de l'acidification est invisible à l'œil nu, et les effets ne se ressentent pas autant que la hausse des températures ou l'élévation du niveau des mers. Lemonsea, une ONG membre de Plateforme Océan et Climat fondée en 2014 par un groupe d'étudiants, s'engage à éduquer jeunes comme adultes sur cette issue, et à créer des outils pédagogiques pour faciliter la diffusion des connaissances sur l'acidification des océans.

Qu'est-ce que l'acidification des océans ?

Le CO_2 est présent naturellement dans l'air : les plantes en ont besoin pour grandir, et les animaux l'expire. Mais depuis la révolution industrielle, il y a de plus en plus de CO_2 dans l'atmosphère. La plupart de ce CO_2 se retrouve dans l'atmosphère, et réchauffe ainsi la planète. Environ 30% du CO_2 émis se dissout dans nos océans, entrainant des réactions chimiques qui réduisent le pH de l'eau de mer. Depuis ces 10 dernières années, les scientifiques ont réalisé que l'excès de CO_2 résultant des activités industrielles a changé la composition chimique de nos océans. Plus le pH diminue, plus les océans deviennent acides. D'après le Smithsonian, depuis la révolution industrielle, le pH est passé de 8.2 à 8.1, et les chercheurs estiment que cette valeur va diminuer encore de 0.3 avant la fin du siècle. Une baisse de 0.1 ne paraît pas énorme, mais l'échelle du pH est logarithmique. Par exemple, pH 4 est 10 fois plus acide que pH 5. Si les émissions de CO_2 continuent au même rythme, il est possible que le pH diminue jusqu'à 7.7, créant ainsi des océans plus acides que jamais. Par conséquent, ce changement de seulement 0.1 représente déjà une hausse de 30% dans l'acidité des océans (Rhein et al. 2013). La phrase « acidification des océans » fait donc référence au processus de diminution du pH causé par l'augmentation de l'absorption du CO_2 par nos océans.

Quels sont les effets sur la vie marine ?

Un certain nombre d'animaux et plantes marines (coraux, huitres et autres crustacés...) utilisent une partie du carbone présent naturellement dans les océans pour former leurs coquilles ou leurs squelettes. En piégeant ainsi le carbone, ils limitent la formation d'acide carbonique et contribuent doucement à freiner le processus d'acidification. Néanmoins, un environnement de plus en plus acide affaiblit ces organismes sensibles à de faibles changements de pH. Plus l'acidité augmente, plus la formation d'une coquille ou d'un squelette leur demande de l'énergie. Ils deviennent donc plus vulnérables, et ne jouent plus aussi bien leur rôle de prédateurs ou de proies, et ont des problèmes pour grandir et se reproduire. Ces changements de pH dans nos océans se sont fait tellement rapidement que les organismes n'ont pas eu le temps de s'adapter, et leurs coquilles et squelettes se dissolvent petit à petit. Une étude publiée en 2012 dans la revue Nature Geoscience a déjà démontré l'effet corrosif de l'acidification des océans sur les coquilles des ptéropodes, petits escargots de mer qui constituent un maillon crucial de la chaine alimentaire. Cette vidéo d'une équipe de chercheurs de la NOAA montre la différence de comportement entre un ptéropode nageant dans des eaux à faibles taux de CO_2 (à gauche), et un ptéropode exposé à des conditions élevées de CO_2, dont la coquille est déjà devenue plus fragile et présentant des difficultés à nager librement (à droite).

En quoi cela me concerne-t-il ?

Tout est connecté dans l'océan, et l'acidification des océans a un effet important sur la chaine alimentaire. Le zooplancton, constitué de micro-organismes qui eux aussi ont besoin d'une coquille, est à la base de la chaine. Avec l'augmentation de l'acidité des océans, ces organismes ont du mal à survivre et à produire leur coquille, et ainsi toute la chaine alimentaire se retrouve déstabilisée. Des centaines d'espèces de poissons, coraux ou encore requins dépendent du zooplancton pour vivre. Beaucoup de nations sont à la merci des océans pour survivre, avec des économies basées sur la pèche ou le tourisme. Ainsi, la sécurité alimentaire de ces populations, ainsi que la biodiversité de nombreux écosystèmes sont menacées par l'acidification des océans (Magnan etal. 2015).

Que puis-je faire pour lutter contre l'acidification ?

La première étape est de réduire nos émissions de CO_2 dans l'atmosphère. Cela peut se faire à plusieurs niveaux, notamment au niveau national et international entre politiciens, mais aussi au niveau local et individuel, où chacun peut viser à utiliser plus d'énergies renouvelables plutôt que des carburants fossiles. Les conséquences exactes de ces changements de pH sont en partie encore incertaines, et un océan plus acide ne va pas détruire toute la vie marine, mais d'après le consensus scientifique, il apparaît que la hausse de l'acidité de l'eau de mer de 30% est déjà en train d'affecter de nombreux organismes marins. Si l'acidification continue, il est possible que certaines espèces deviennent de plus en plus rares, parfois probablement au point de disparaître. Retrouvez-nous la semaine prochaine pour encore plus de détails sur les petits gestes que chacun peut faire dans la vie quotidienne pour aider à réduire les émissions de CO_2, et ainsi diminuer les effets de l'acidification.

Christina Marmet

Dans l'article il est dit que, « *le pH est passé de 8.2 à 8.1* » depuis la révolution industrielle et cela correspond à « *une hausse de 30% dans l'acidité des océans* ».

Rappel des formules : $pH = -\log[H_3O^+]$ et $[H_3O^+] = 10^{-pH}$

Question 1 : Calculer la concentration molaire en ions H_3O^+ avec pH = 8,2 et pH=8,1

Question 2 : Calculer ce que représente en pourcentage l'augmentation de la concentration par rapport à la concentration initiale

Question 3 : Conclure par rapport à l'affirmation de l'article

Question 4 : Selon l'article, dire quelle est la prévision d'évolution du pH d'ici la fin du siècle.

Question 5 : Calculer l'augmentation de la concentration en ions H_3O^+ par rapport au pH actuel soit pH = 8,1. Exprimer cette augmentation en pourcentage.

Question 6 : A l'aide de ces calculs, commenter l'expression « *l'échelle du pH est logarithmique* »

Question 7 : A l'aide d'un schéma, expliquer les conséquences de l'acidification des océans sur les écosystèmes marins et les économies humaines.

Activité 2 : Utiliser ces connaissances mathématiques pour appréhender un phénomène physique nouveau.

Joan et Bob discutent sur les conséquences du son pour leur santé auditive.

Bob affirme qu'en passant de 50 décibels à 100 décibels le danger est deux fois plus élevé pour les oreilles.

Joan pense que Bob se trompe et que le danger est beaucoup plus important et qu'il devrait être plus prudent face aux bruits importants.

Quelques précisions théoriques

Niveau d'intensité sonore :

Notation : la grandeur niveau d'intensité sonore se note *L* et son unité est le décibel (noté dB)

L est strictement positif et dépasse très rarement 180 dB (correspond au niveau d'intensité sonore d'une fusée).

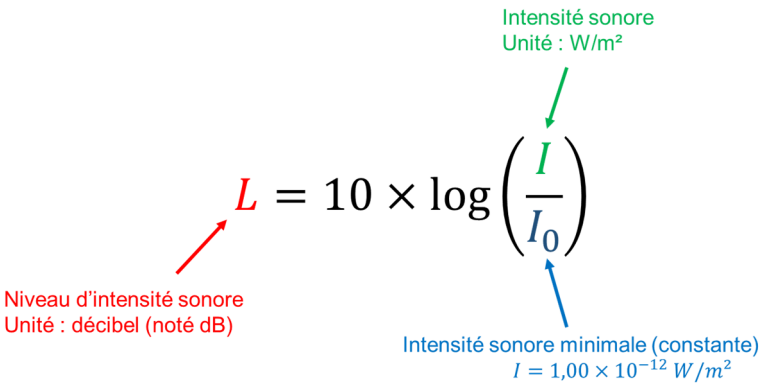
Seuil de danger : 80 dB car au-delà il y a un risque de détérioration de l'audition

Seuil de douleur : 120 dB car il y a des risques graves pour la santé avec des douleurs voir des saignements au niveau de l'oreille. Ces séquelles sont souvent irréversibles.

Intensité sonore :

Notation : l'intensité sonore (ce que subit notre oreille) est notée I et son unité est le Watt par mètre carré (W/m²)

Lien mathématiques entre *L* et *I*.



Soit la fonction f définie sur $\mathbb{R}^+$ telle que :

$$f(x) = 10 \log\left(\frac{x}{10^{-12}}\right)$$

Question 1 : Dire ce que représente x et f(x) pour l'étude des phénomènes sonores

Question 2 : Compléter le tableau de valeurs suivant

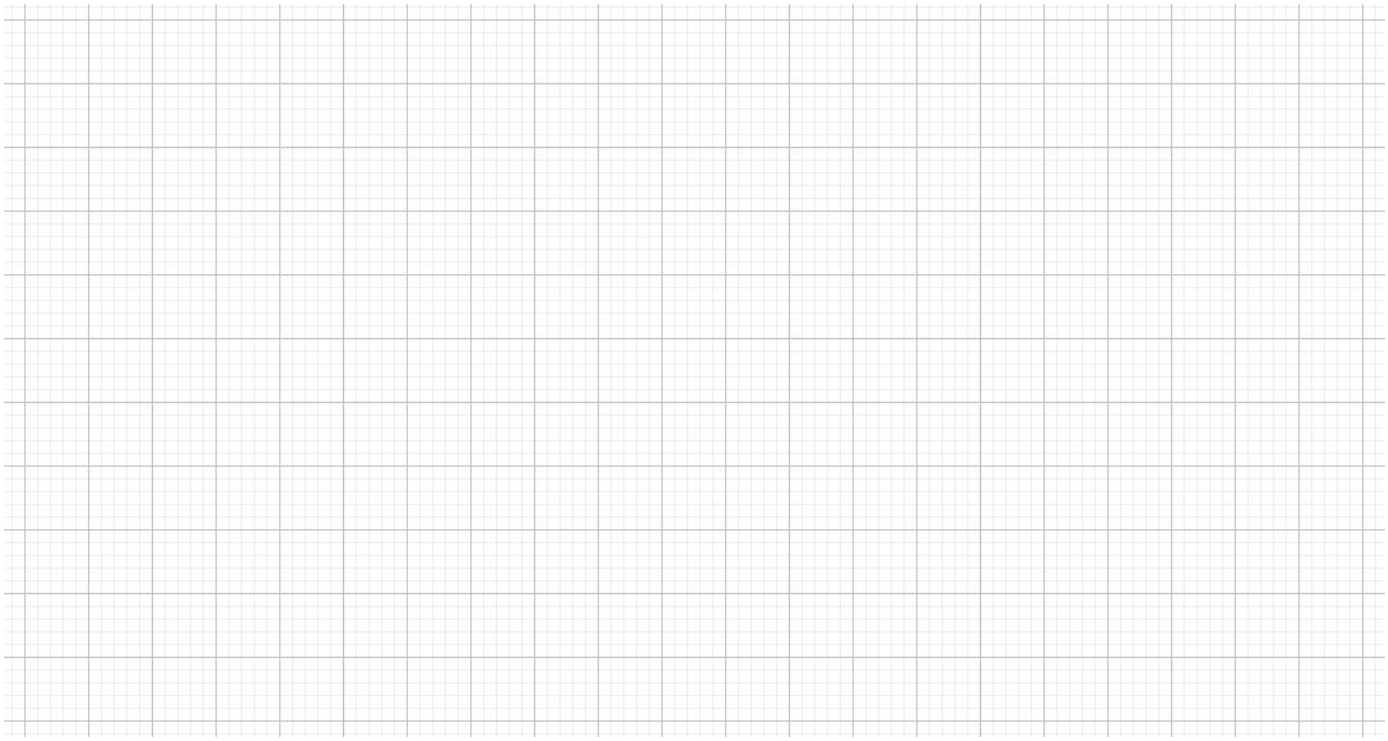
x	10^{-11}	10^{-10}	10^{-8}	10^{-4}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	1000
$f(x)$									

Question 3 : Compléter la phrase suivante

Lorsque le niveau d'intensité sonore augmente de 10, l'intensité sonore (pression sur les oreilles) est ……..

On veut représenter le niveau d'intensité sonore (*L*) en fonction de l'intensité sonore (*I*)

Question 4 : Construire un repère permetant de visualiser tous les points de la courbe représentative de f dont les coordonnées ont été calculées dans la question 2. Tracer $\mathcal{C}_f$



Question 5 : A partir de ce travail, critiquer les positions respectives de Joan et Bob.

Institutionnalisation post activité

1. Avec la courbe de log (ou ln), montrer avec deux recherches graphiques d'antécédents qu'une petite augmentation sur le log correspond à une très grande augmentation de la valeur initiale.
2. Rappeler que l'intérêt du log est que c'est la réciproque de $x \mapsto 10^x$.
3. Faire comprendre que pH et L sont des grandeurs inventées par l'homme pour faciliter la perception de certains phénomènes physiques (échelle logarithmique)

Promotion stagiaires externes PLPA 2022-2023

Proposition 1 : modélisation de l'empreinte carbone

Activité documentaire : Comparaison de l'empreinte carbone de deux véhicules

Contexte :

Le marché du véhicule particulier est en pleine transformation. Le Parlement européen a voté le 8 juin 2022, la fin des ventes de voitures neuves thermiques en 2035, une étape majeure pour atteindre la neutralité carbone en 2050. Aujourd'hui, le parc automobile français entame une phase d'électrification massive. En 2021, pas moins de 174 000 véhicules légers 100% électriques ont été vendus contre 28 300 en 2016, soit une multiplication des ventes par plus de 6 en 5 ans, représentant aujourd'hui une part de marché de près de 13,5%. Par ailleurs, la France comptait au 31 juillet 2022, 66 960 points de recharge ouverts au public, soit une évolution de 49 % de leur nombre en un an.

Communiqué de presse ADEME – 12/10/2022

Partie 1 – L'empreinte carbone

Question 1 : À l'aide du document 1, **proposer** les principales causes de l'empreinte carbone d'un véhicule.

Document 1. Qu'est-ce que l'empreinte carbone ?

Selon le **Ministère de la Transition Ecologique**, l'empreinte carbone est "un indicateur estimant la quantité de gaz à effet de serre émise pour satisfaire la consommation au sens large (biens, services, utilisation d'infrastructures) d'un individu, d'une population, d'un territoire ou d'une activité, en tenant compte des émissions liées aux importations et aux exportations quel que soit le lieu de production de ces biens et services (production intérieure ou importations)."

Remarque : le CO_2 n'est pas le seul gaz à effet de serre. On peut aussi citer entre autres le méthane et le protoxyde d'azote, chacun avec un impact environnemental différent. Pour pouvoir tous les rassembler, on raisonne en termes de masse équivalente de CO_2 ($eqCO_2$).

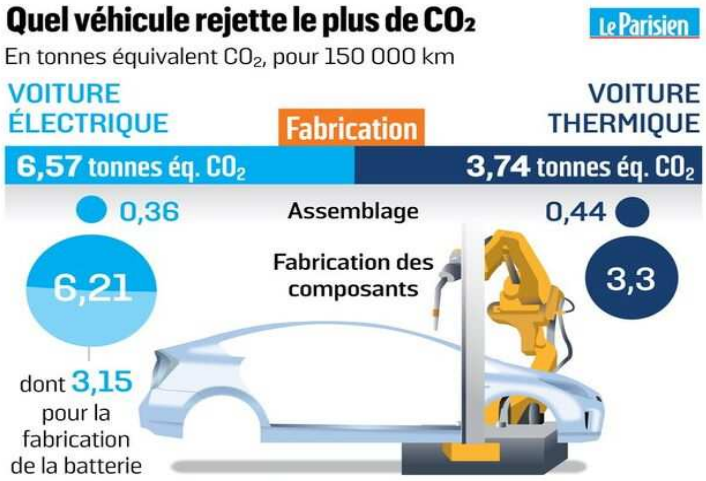
Exemple : 1kg de méthane = 28 kg $eqCO_2$. Lorsque l'on parle de CO_2, on parle donc en réalité de $eqCO_2$.

https://greenly.earth/fr-fr/blog/actualites-ecologie/empreinte-carbone-velo-trottinette: *30/03/2023*

Partie 2 : Empreinte carbone de fabrication des véhicules

Question 2 – À l'aide du document 2, **comparer** les empreintes carbone des deux voitures (électrique et thermique) lors de leur fabrication.

Document 2. Empreinte carbone liée à la fabrication d'une voiture électrique et d'une voiture thermique



https://www.leparisien.fr/automobile/vraiment-ecolo-la-voiture-electrique-11-08-2019-8132127.php -

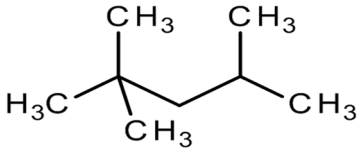
Partie 3 : Empreinte carbone d'utilisation des véhicules

Objectif – Déterminer l'empreinte carbone de chaque véhicule en fonction de la distance parcoure

Document 3. Fonctionnement d'un véhicule thermique VS fonctionnement d'un véhicule électrique

La combustion de l'essence composée principalement de la molécule d'isooctane de formule brute C_8H_{18} dans l'air est totale. Elle génère de l'eau ainsi que du dioxyde de carbone.

On donne la représentation de la molécule :



On considère qu'une voiture thermique consomme en moyenne 6 L de carburant pour une distance parcourue de 100 km. En France, la durée moyenne de vie d'une voiture thermique ou électrique est de 200 000 km.

L'empreinte carbone d'une voiture se mesure en kilogrammes de dioxyde de carbone émis par km ($kg\ eqCO_2/km$).

Le bilan carbone lié à l'utilisation et à la charge d'une voiture électrique est de 0,012 $kg\ eqCO_2/km$.

https://www.hellocarbo.com/og/calculer/empreinte-carbone-voiture/ - 04/2022

Question 3 – À l'aide du document 3, **écrire** l'équation de réaction de la combustion de l'isooctane.

Question 4 – À l'aide de la réponse précédente ainsi que du document 4, **vérifier** que la masse de dioxyde de carbone émise lors de la réaction de combustion de 6L de carburant (isooctane) permettant de faire fonctionner une voiture thermique pour 100km parcourus est bien de 11.7 kg.

Document 4.

$\rho_{C_8H_{18}} = 690\ g/L$

$M_{CO_2} = 44\ g/mol$

$M_{C_8H_{18}} = 114\ g/mol$

Partie 4: Modélisation

On considère les fonctions définies par :

- $f(x) = 3740 + 0{,}117\ x$
- $g(x) = 6570 + 0{,}012\ x$

Question 5 – En s'appuyant sur les parties 2 et 3, justifier que les fonctions f et g modélisent l'empreinte carbone des véhicules en fonction de la distance parcourue.

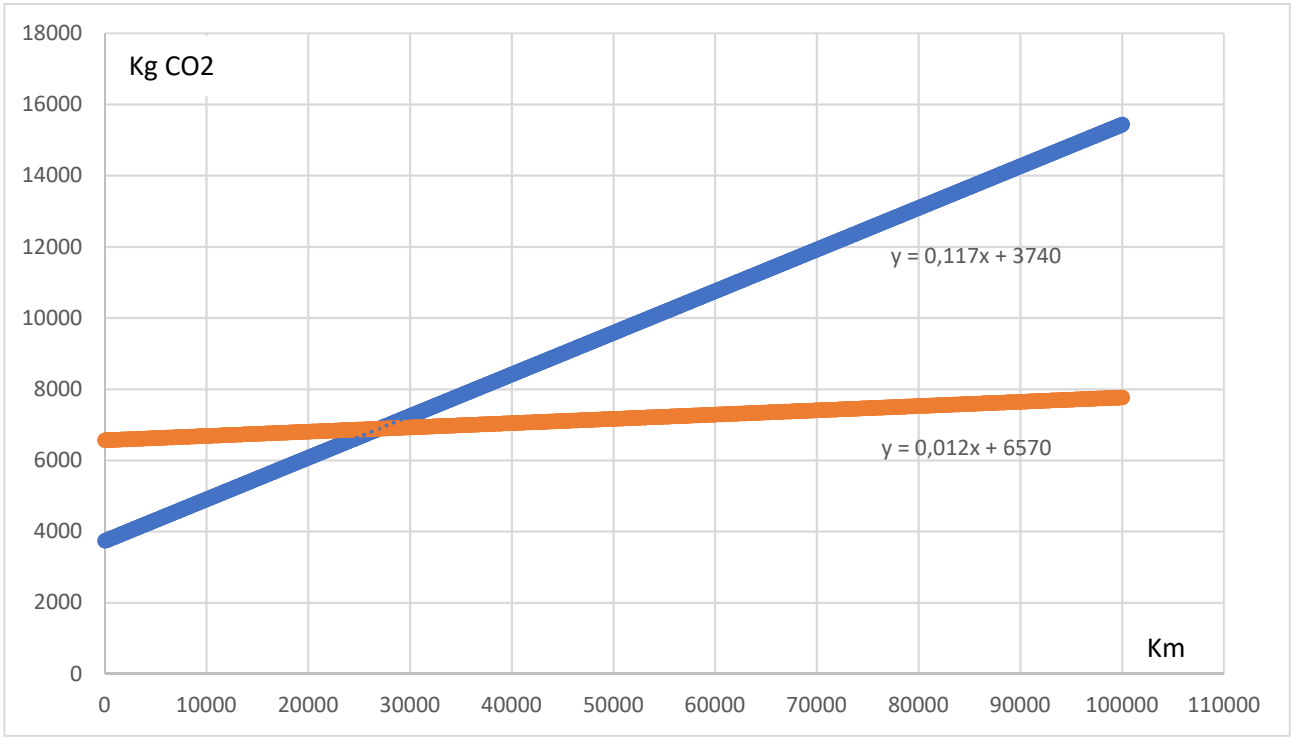
Question 6 – À l'aide des deux fonctions définies précédemment, déterminer la distance à parcourir pour que l'empreinte carbone d'une voiture thermique soit supérieure à l'empreinte carbone d'une voiture électrique.

Question 7 – À l'aide du document 4, **critiquer** le modèle proposé.

Discussion autour du sujet avec le rapport du Haut Conseil pour le Climat (HCC).

Correction de la question 6 :

graphique tracé avec Excel :



voiture thermique

voiture électrique

Promotion stagiaires externes PLPA 2022-2023

Proposition 2 : modélisation mathématique de propriétés électriques

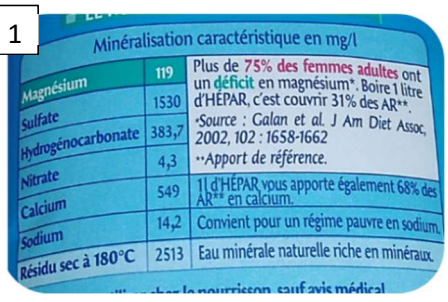
Identifier les dangers encourus par la personne dans la situation présentée sur l'image de droite. Quel est le phénomène physique pouvant expliquer ce danger ?

……
……
……

1) Mesurer la conductivité des différentes eaux à disposition et compléter le tableau ci-dessous :

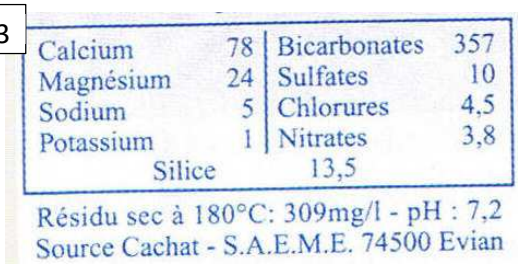
Eau	Eau minérale Hépar®	Eau minérale Volvic®	Eau minérale Evian®	Eau du robinet	Eau distillée
Conductivité (…….....)					

1



2

3



Document 1 – Etiquettes d'eaux minérales 1-Hépar®, 2-Volvic® et 3-Evian®.

2) Interpréter les résultats expérimentaux obtenus.

.....
.....
.....
.....

3) Valider ou non la (les) hypothèse(s) émise(s) en début de séance.

.....
.....
.....
.....

À retenir :

.....
.....
.....
.....

Une eau conduit un courant électrique uniquement si elle contient des ions (entités chimiques chargées électriquement).

Plus la concentration en ions augmente, plus la conductivité augmente.

Les traitements en viticulture

Laurence viticultrice à Quincié en beaujolais, produit et vend des vins bio. Sa vigne commence à être contaminée par le mildiou. Laurence doit alors réaliser un traitement curatif grâce à une solution de sulfate de cuivre. Cette année, elle a déjà traité sa vigne contre cette maladie en ayant pulvérisé 4 kilogrammes de cuivre par hectare. Elle n'a plus de solution en stock et en demande à son voisin. Elle souhaite déterminer la concentration en sulfate de cuivre (Cu^{2+},SO_4^{2-}) de cette solution donnée par le voisin afin de savoir si elle peut l'utiliser tout en respectant la réglementation en agriculture biologique. Pour cela, elle mobilisera la notion de conductivité des ions acquise lors de sa formation au sein de notre LEGTA.

Réglementation en agriculture biologique

Les agriculteurs bio doivent respecter une limite maximale de 6 kg de cuivre métallique par hectare et par campagne culturale (par année).

Pulvérisateur de Laurence

Le pulvérisateur de Laurence à un débit de 6L/min. La pulvérisation permet de couvrir 1ha en 30 min

Partie 1 : Quelle quantité maximum de cuivre Laurence peut-elle encore pulvériser ?

1) D'après les caractéristiques du pulvérisateur de Laurence, déterminer la quantité de produit pulvérisé par hectare.

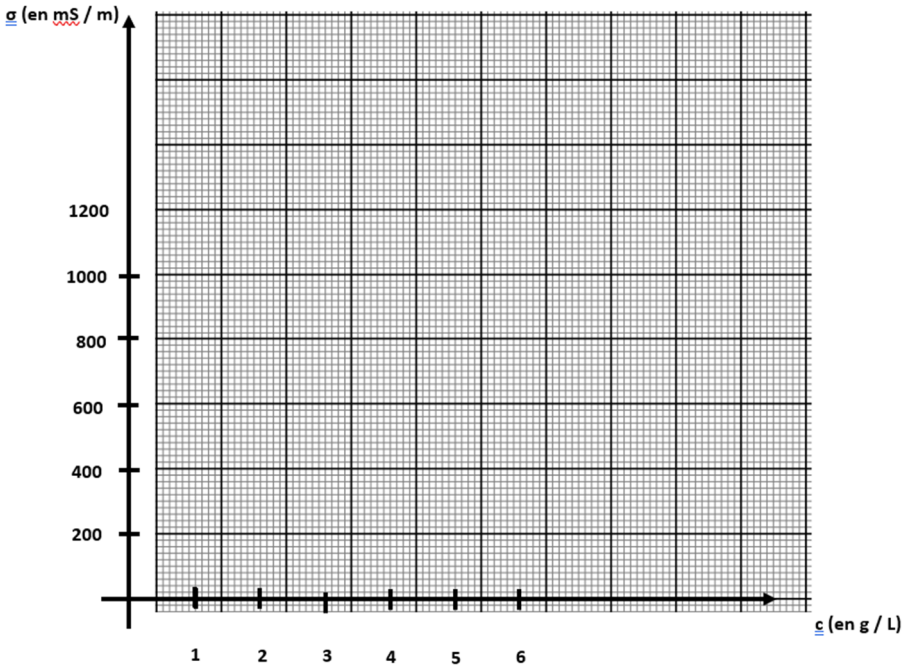
2) En tenant compte de la réglementation en agriculture biologique, calculer la concentration maximale (en g/L) que peut avoir la solution proposée par le voisin de Laurence.

Partie 2 : Quelle est la concentration de la solution fournie par le voisin ?

1) On cherche à modéliser la relation entre concentration en ions et conductivité d'une solution de sulfate de cuivre. On commence par mesurer la conductivité des solutions suivantes :

Concentration des solutions (g/L)	1	2	5	7	10
Conductivité (mS/m)					

2) Placer sur le graphique le nuage de points correspondant aux données du tableau précédent.



3) En vous appuyant sur la représentation graphique des données, proposer un modèle permettant d'exprimer la conductivité d'une solution de sulfate de cuivre en fonction de sa concentration.

4) Proposer une démarche permettant de savoir si la solution du voisin de Laurence est utilisable et la mettre en œuvre pour conclure.

Éléments de correction ou justifications théoriques

Q1) V = 180 L

Q2) 2kg / ha d'où $[Cu^{2+}]$ = 11,1 g/L = $1{,}75.10^{-1}$ mol.L^{-1}

Q3) $\sigma = \lambda_{Cu^{2+}} \times [Cu^{2+}] + \lambda_{SO_4^{2-}} \times [SO_4^{2-}] = (\lambda_{Cu^{2+}} + \lambda_{SO_4^{2-}}) \times [Cu^{2+}]$

À la recherche de …

On souhaite savoir si la modélisation trouvée dans l'activité « Les traitements en viticulture » est aussi valable pour d'autres solutions ioniques.

Afin de répondre à cette problématique, vous vous répartirez en groupe de chercheurs et analyserez le lien concentration/conductivité de plusieurs solutions contenant des ions définis $(Na^+, Cl^-)\ ou\ (Fe^{2+}, SO_4^{2-})\ ou\ (Zn^{2+}, SO_4^{2-})\ ou\ (K^+, HO^-)$.

Vous disposerez dans votre laboratoire :

- De 5 solutions de concentration définies contenant les ions……
- D'un conductimètre
- De papier millimétré

1) En vous inspirant de l'activité « Les traitements en viticulture », proposer un modèle permettant de faire le lien entre conductivité et concentration.

Concentration des solutions (g/L)	1	1,5	3	3,5	5
Conductivité (mS/m)					

2) Informer la communauté scientifique de vos résultats en entrant vos données sur le poste enseignant, dans le fichier Excel « enseignant » en faisant attention de bien utiliser les colonnes dédiées à chaque groupe.

À retenir :

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Pour un composé ionique donné en solution, on observe que la représentation graphique de la conductivité en fonction de la concentration massique est une droite passant par l'origine du repère.

Il existe donc une relation de proportionnalité entre ces deux grandeurs qui peut être modélisée par une fonction linéaire de type :

$$\sigma = k \times Cm$$

Où k est un paramètre dépendant de la nature du composé ionique en solution.

MASTER METIERS DE L'ÉDUCATION, DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA FORMATION	
Mention	**Parcours**
Second degré	Physique-Chimie
Site de formation :	**Rangueil**

MÉMOIRE

Les fonctions liées à la modélisation : Exemple de l'importance de l'interdisciplinarité mathématiques physique-chimie

Axel GUILLERMIN

Directeur de mémoire	**Co-directrice de mémoire**
Nicolas HERVÉ (MCF didactique des sciences, ENSFEA)	**Marie-Hélène LECUREUX** (PrAg Mathématiques INSPÉ)
Membres du jury de soutenance : (en précisant le statut)	
- - -	
Soutenu le 15/06/2021	

I. Introduction

J'ai choisi ce sujet de mémoire pour plusieurs raisons. Tout d'abord, en tant qu'élève, j'ai toujours eu bien plus de difficultés en mathématiques qu'en physique, bien qu'ayant conscience de l'imbrication de certaines notions mathématiques en physique et en chimie. Ma compréhension des outils mathématiques s'est souvent faite *a posteriori*, au fur et à mesure que ma maîtrise des sciences physiques progressait. De cette façon, je me suis surpris moi-même à accorder un intérêt manifeste pour les mathématiques ; pas au point de me réorienter dans un parcours plus mathématique, mais suffisamment pour me découvrir une réelle envie d'aider, à mon tour, les élèves que j'aurai devant moi en mathématiques, tout autant qu'en physique, de façon à démystifier la/les matière(s). J'en arrive ainsi à la deuxième raison du choix de mon sujet. Étant étudiant en licence, j'ai notamment accompagné un lycéen en cours particuliers pendant deux ans, de sa 2nde à sa 1ère STL. Je lui dispensais aussi bien des cours de mathématiques que de physique ou de chimie selon les besoins. Au demeurant, cette délimitation ne présentait de réalité que pour ses parents et lui, puisque je faisais systématiquement le lien entre mathématiques et sciences physiques. Le lien fait, servait à étouffer les questions telles que « ça sert à quoi ça ? ». Typiquement, pour les fonctions, dont il sera question dans ce mémoire, j'ai pris l'exemple de la conquête spatiale et les alunissages qui, sans les mathématiques et les fonctions, ne seraient même pas envisagés.

II. Analyses préalables

a. Mise en situation

« En physique, l'usage d'expressions mathématiques est complexe, parce que la signification physique auxiliaire des symboles est utilisée pour transmettre des informations omises de la structure mathématique de l'équation. C'est parce que nous avons un but différent pour les mathématiques : modéliser des systèmes physiques réels.» (Redish & Kuo, 2015)

REDISH et KUO font également référence au schibboleth[1] de Corinne pour mettre en relief les différences de notation et de précautions prises entre les enseignants de mathématiques et de physique. Il apparaît notamment que pour les physiciens, chaque symbole, chaque variable est associée d'une façon ou d'une autre à une grandeur, ou plus largement à un phénomène physique, alors que les notations au sens mathématique du terme servent davantage à éclaircir ou aérer leurs problèmes et équations, au moins dans un premier temps et traitent donc le problème brut. Le lien entre les mathématiques et les sciences physiques est, selon mes analyses que je vais détailler par la suite, la notion de modélisation. La physique se sert des mathématiques pour modéliser le monde qui nous entoure. Mon mémoire se concentrera donc sur cette notion de modélisation.

[1] Un shibboleth représente un signe de reconnaissance verbal. Durant la Première Guerre mondiale, les Alsaciens eurent leur shibboleth entre *« Regenshirm »* et *« Schirm »* contre *« barabli »* contre les Allemands pour désigner un parapluie.

b. Exemples de discordances identifiées entre les pratiques de mathématiques et les pratiques de physique-chimie

1) Proportionnalité

Une des discordances que j'ai rapidement identifiées se trouve dans la notion de proportionnalité. Durant mon stage de M2B, j'ai assisté à une évaluation posée par ma tutrice sur la loi d'Ohm. Une des questions de l'évaluation se posait en ces termes :

« Pourquoi peut-on dire que l'intensité du courant I est proportionnelle à la tension U ? »

, ce à quoi était juxtaposé un graphe représentant une série de valeurs de courant en fonction des valeurs associées du courant électrique. L'enseignante avait même tracé la modélisation par régression linéaire de telle façon à ce que $U = f(I)$ soit de la forme $y =$

ax où a représentait la valeur de résistance du circuit à relever dans la question qui suivait. Pour ma tutrice et moi-même, faisant valoir des exigences d'enseignants de physique-chimie, cette question, liée à la proportionnalité, ne devait pas poser de problème. En effet, il avait été régulièrement martelé en cours que, si la droite qui représente l'évolution d'une grandeur en fonction d'une autre, passe par un maximum de points et par l'origine du repère, alors les deux grandeurs sont proportionnelles. Notre *a priori* sur la difficulté de la question était d'autant plus étayée que la question elle-même suggérait que les deux grandeurs étaient proportionnelles. Nous avons donc été surpris de constater à la correction qu'une proportion non-négligeable d'élèves avait écrit que les grandeurs tension et courant n'étaient pas proportionnelles dans l'exemple donné puisque « tous les points ne sont pas exactement sur la droite tracée ». Il nous a semblé que le biais de raisonnement provenait des cours de mathématiques. Cette supposition a été confirmée après discussion avec l'enseignant de la classe concernée. En effet, en mathématiques, c'est clair. Si tous les points sont (parfaitement) alignés sur une droite passant par l'origine, alors il y a proportionnalité. En physique, c'est un peu moins clair. En tous cas, il y a davantage de sous-entendus pas toujours explicités. Pour les physiciens, il faut que la répartition des points puisse être associée à une modélisation de droite passant par l'origine. Les écarts au modèle linéaire sont généralement mis sur les incertitudes, sans que celles-ci soient véritablement expliquées.

2) Extremum local

Je me dois de préciser que je n'ai pas pu observer cette dissonance en cours parce que le chapitre qui s'y prêterait, la mécanique du point matériel, n'a lieu qu'en fin d'année. En cours de physique, lorsqu'un enseignant attend qu'un élève détermine le maximum ou le minimum d'une fonction (Typiquement, si l'on veut calculer la *flèche*, c'est-à-dire le point culminant d'une trajectoire $y(x)$ en mécanique du point matériel), il attend que l'élève cherche pour quelle valeur de variable, la dérivée s'annule. Dans le cas du calcul de la *flèche*, l'élève aura obtenu au préalable l'équation horaire du mouvement de chute libre où l'expression de celle-ci est une fonction de l'altitude z ou y, selon le repère utilisé, en fonction du temps t. L'élève devra par suite chercher le temps t_{fleche} pour lequel l'expression de la dérivée z' ou y' (donc la vitesse) s'annule. Comme les trajectoires étudiées au lycée sont systématiquement au plus paraboliques, la notion d'extremum local est claire dans le contexte étudié.

En cours de mathématiques, toutes les fonctions étudiées ne sont pas des paraboles…

Cela implique de se poser davantage de questions quant aux propriétés de ladite fonction et de sa dérivée. Il faut montrer que la fonction est dérivable sur l'intervalle étudié d'une part et chercher la valeur de x telle que la dérivée change de signe. En effet, pour une fonction quelconque, le fait que la dérivée s'annule ne suffit pas à justifier que nous sommes en présence d'un extremum local. Prenons l'exemple de la fonction mathématique suivante :

$$f(x) = 3x^4 - 4x^3$$

On trouvera facilement que la dérivée a pour expression :

$$f'(x) = 12x^2(x - 1)$$

Il vient amors immédiatement que l'équation $f'(x) = 0$ a deux solutions $\begin{cases} x = 0 \\ x = 1 \end{cases}$

En traçant la courbe représentative de $f'(x)$ on voit qu'en x=0, la dérivée ne change pas de signe. Il ne s'agit donc pas d'un minimum local, mais d'un point d'inflexion. Par contre, pour x=1, la dérivée change de signe, donc f admet un minimum local ici. Cette différence de précautions mathématiques est due aux contextes physiques étudiés. Le contrat didactique implicite fait qu'en physique, l'élève serait guidé progressivement si le problème étudié nécessite plus de « réflexion » que d'ordinaire.

3) Modélisation trop rapide

Bien que l'intention initiale (partir de situations concrètes de la vie de tous les jours pour introduire une notion mathématique telle que les fonctions affines et linéaires) soit très charitable, il faut admettre que, généralement, les méthodes pédagogiques qui en découlent sont imparfaites et que le formalisme mathématique $f(x) = \cdots$ intervient souvent de façon un peu trop abrupte. En effet, l'idée du professeur de mathématiques est trop rapidement de se raccrocher au formalisme. C'est ainsi que, pour un exemple d'élongation de ressort[2] en fonction de la masse qui y est suspendue, la masse est trop vite notée x et l'élongation trop vite notée $f(x)$ ce qui grille potentiellement une étape d'appropriation du problème et du formalisme mathématique pour les élèves. Peut-être est-il donc nécessaire d'expliciter cette étape, par exemple :

$$\varepsilon = a \times m \Longrightarrow \varepsilon(m) = a \times m \Leftrightarrow f(x) = a \times x \Leftrightarrow f(x) = ax$$

III. Cadre théorique

a. Notations

Les différences de notations (ou ostensifs) d'un cours à l'autre ou même d'un enseignant à l'autre sont souvent passées sous silence de façon totalement involontaire puisqu'utilisée par simple(s) habitude(s) de l'enseignant en question. Ces dissemblances peuvent passer inaperçues.

[2] (MENESR/DGESO, 2014)

1) Fonction(s) et variable(s) associée(s)

En reprenant l'exemple de la chute libre vu plus haut, d'un point de vue d'enseignement de physique-chimie, on obtient classiquement d'une part une équation horaire

$$z(t) = -\frac{gt^2}{2} + v_{0z}t$$

Et d'autre part une équation de trajectoire : $z(x) = -\frac{gx^2}{2v_{0x}^2} + \frac{v_{0z}x}{v_{0x}}$

Cela n'engendre aucun problème, pour un physicien d'attribuer la même lettre z à ces deux fonctions. Pourtant, mathématiquement, il s'agit de 2 fonctions distinctes :

$$x \longmapsto z(x) \quad t \longmapsto z(t)$$

Dans l'absolu, les deux fonctions dont il est question ne sont même pas de même nature. Le cas ici est particulier puisqu'il se trouve que la variable x dépend linéairement de l'autre variable t. De ce fait, il serait inacceptable pour un mathématicien de nommer ces deux fonctions z. Il conviendrait alors d'associer la grandeur altitude z à deux fonctions distinctes $f(x)$ et $g(t)$.

Ce potentiel obstacle didactique est omnipotent. Dans les études supérieures, en thermodynamique tout particulièrement, lorsque l'on parle d'entropie par exemple, un physicien n'éprouvera aucun scrupule à changer de jeu de variables et ainsi traiter tantôt la fonction $S(T, P)$, $S(P, V)$ ou $S(T, V)$. La troisième variable est donc toujours prise comme constante, de façon plus ou moins explicite. On va voir que cette diversité de notation pour les fonctions n'est que la partie immergée de l'iceberg.

2) Dérivées et dérivées partielles

Historiquement, il existe trois notations pour les dérivées pour la fonction notée

$x = f(t)$ ou $x(t)$.

(1) $f' : t \longmapsto f'(t)$

(2) $\frac{dx}{dt} \quad dx = x(t + dt) - x(t)$

(3) $\dot{x} \Leftrightarrow v(t) = \frac{dx}{dt}$

La notation (1) est la notation de Lagrange. Elle est très usitée en cours de mathématiques étant donné que l'on étudie majoritairement des fonctions f sans dimension et que cette notation est assez « légère » visuellement.

La notation (2) est la notation de Leibniz. Si on établit le parallèle entre Lagrange et Leibniz pour une fonction f qui relie x et t telle que $x = f(t)$ alors $dx = f'(t)dt$ ou bien $f'(t) = \frac{dx}{dt}$.

La notation de Leibniz est chérie par les physiciens puisqu'elle explicite directement la grandeur physique dérivée et la grandeur physique variable.

La notation (3) est la notation de Newton. Le point au-dessus de la variable dérivée indique que celle-ci est dérivée une fois par rapport au temps. Cela permet de gagner en rapidité dans les résolutions d'équation, par exemple en dynamique du point ou du solide.
Comme dit plus haut, la notation de Leibniz permet de lever l'ambiguïté sur la variable. On sait immédiatement quelle grandeur est dérivée par rapport à quelle autre. Cette notation permet aussi, par exemple de démontrer très rapidement la formule des dérivées composées. En effet si on note $z = g(y)$ et $y = f(x)$, alors avec la notation de Lagrange, on a :

$$(g \circ f)'(x) = g'(f(x)) \times f'(x)$$

ce qui, avec la notation de Leibniz devient :

$$\frac{dz}{dx} = \frac{dz}{dy} \times \frac{dy}{dx}$$

Ici, tout se passe comme s'il suffisait de *« simplifier par dy »* pour ne pas tenir compte de la variation infinitésimale de y. C'est un moyen mnémotechnique redoutable, tout en étant une démonstration résolument irrecevable mathématiquement.

Ça se complique un peu lorsque l'on considère des dérivées partielles. Soit une fonction

f à plusieurs variables x, y, z, t. On peut noter la dérivée de f par rapport à x de plusieurs façons :

(4) $\frac{\partial f}{\partial x}$

(5) $f'(x, y, z, t)$

(6) $\partial_1 f$

La notation (4) est largement préférée, que ce soit en mathématiques ou en physique. Dans un domaine de la physique tel que l'électromagnétisme, cette notation ne suscite aucune difficulté puisque les variables sont toujours spatio-temporelles (x, y, z, t). Par contre, si on reprend l'exemple de l'entropie en thermodynamique, ça s'obscurcit un peu. Prenons la fonction entropie S définie en variables température T et volume V : $S(T, V)$. Auquel cas, on travaille déjà en milieu isobare ($P = cte$). Si l'on souhaite exprimer la dérivée de S par rapport à T, il faut alourdir un peu la notation de la façon suivante, de sorte que toutes les informations concernant les grandeurs variables soient considérées:

$$\left.\frac{\partial S}{\partial T}\right|_V$$

Au final, au crayon d'un physicien, pour la fonction $S(T, V)$, les deux dérivées partielles s'écrivent :

$$\left.\frac{\partial S}{\partial T}\right|_V \quad \left.\frac{\partial S}{\partial V}\right|_T$$

Un mathématicien, lui, prendra le temps d'introduire $S = f(T, V)$. La notation des dérivées partielles est donc plus concise :

$$\frac{\partial f}{\partial T} \quad \frac{\partial f}{\partial V}$$

Si l'envie prend au mathématicien et au physicien d'étudier les dérivées partielles de la fonction entropie S définie en variables pression P et volume V : $S(P, V)$, alors le physicien notera

$$\left.\frac{\partial S}{\partial P}\right|_V \quad \left.\frac{\partial S}{\partial V}\right|_P$$

alors que le mathématicien introduira $S = g(P, V)$ et notera :

$$\frac{\partial g}{\partial P} \quad \frac{\partial g}{\partial V}$$

b.Notations de la modélisation[3]

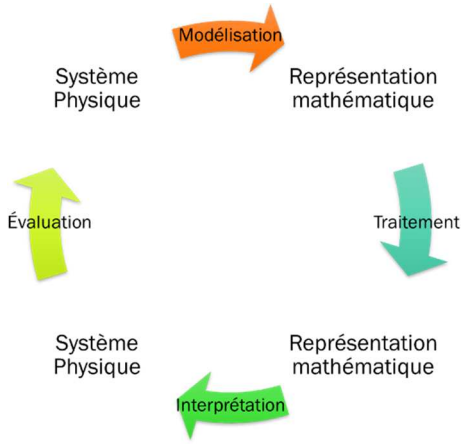


Figure 1 : Un modèle de modélisation mathématique...

Avant toute chose, on désigne certains aspects d'un système physique particulier que l'on souhaite décrire. On identifie par la suite des *mesurandes*, des variables et des paramètres que l'on peut quantifier (du moins en théorie… pas toujours en pratique). On détermine alors quelle structure(s) mathématique(s) est/sont appropriée(s) pour décrire les caractéristiques qui nous intéressent. Par la suite, on modélise le système physique en incorporant ces mesures dans des symboles mathématiques et en exprimant les relations entre les quantités mesurées en opérations entre les symboles mathématiques. À partir de la structure mathématique, on a des règles et des méthodologies pour transformer les relations et résoudre les équations. On peut ainsi traiter les mathématiques pour résoudre des problèmes qui mènent à des réponses que nous n'étions pas capables de voir directement à partir de nos compréhensions physiques. Cela nous laisse cependant seul face aux mathématiques. Enfin, on interprète ce que le résultat obtenu précédemment signifie rétrospectivement dans le système physique et on évalue à hauteur de quoi ce que l'on a obtenu est en accord avec notre choix originel de modèle.

[3] Redish, Kuo (2015) : *« Language of Physics, Language of Math: Disciplinary Culture and Dynamic Epistemology »*

IV. Premières questions et début des investigations

a. Intérêts perçus de l'interdisciplinarité mathématiques-physique-chimie

1) Définitions

Revenons donc au choix de ce sujet et sur cette idée d'interdisciplinarité. Tout d'abord, ce mot : ***interdisciplinarité***… de quoi s'agit-il réellement ? On pourra rencontrer également les termes ***pluridisciplinarité*** et ***transdisciplinarité***. Ces trois termes sont, pour le commun des mortels, très semblables, voire synonymes et commutables. Dans les faits, ces trois formules ne sont pas strictement équivalentes.

La pluridisciplinarité est un fait constatable : c'est la juxtaposition de plusieurs disciplines. La pluridisciplinarité n'est pas un choix pédagogique. Elle infère des choix pédagogiques : l'interdisciplinarité et la transdisciplinarité[4]. « […] elle est explicitée en vue d'une comparaison avec l'interdisciplinarité afin d'appuyer les limites de la pluridisciplinarité par opposition à la richesse et aux possibilités prétendument illimitées de l'interdisciplinarité. » (Colet & Mary, 1993)

L'interdisciplinarité est une démarche pédagogique conçue à partir de l'idée de décloisonnement des matières scolaires. Les matières scolaires ainsi associées participent, tout en préservant leurs spécificités, à un dessein commun en y véhiculant leurs savoir- faire et leurs méthodes. Elles coopèrent et échangent entre elles de façon à répondre aux besoins de compréhension. L'interdisciplinarité est au service des disciplines dans un souci de retombée ou d'utilité directe à court ou moyen terme dans la discipline.

« La transdisciplinarité prend ses racines dans l'interdisciplinarité, mais se veut une étape supplémentaire dans la démarche d'intégration des disciplines, celle qui consisterait à faire éclore une méta-science ou méta-discipline, avec une méthodologie et une épistémologie communes, capables de s'affronter à une pluralité de situations et de problématiques (Morin, 1983 ; Piaget, 1972). La méthode et le langage transdisciplinaire visent donc la réunification des connaissances, unification basée sur l'utilisation de concepts et de théories communs. » (Colet & Mary, 1993) Cela implique donc la consolidation et l'acquisition de compétences communes (transversales) aux disciplines associées. C'est donc là l'occasion d'utiliser les spécificités de chacune de ces disciplines pour aboutir à ces objectifs communs (compétences transversales).

Il est à noter que la pluridisciplinarité, l'interdisciplinarité et la transdisciplinarité s'harmonisent dans un raisonnement conduisant vers une meilleure imbrication des disciplines scientifiques. Ces définitions étant établies, il m'est donc désormais plus clair de parler d'interdisciplinarité mathématiques-physique-chimie dans le cadre de ce mémoire (puisque beaucoup de notions étudiées par les élèves sont en fait transdisciplinaires).

[4] Bulletin Officiel du ministère de l'Éducation Nationale et du ministère de la Recherche n°25 du 29 juin 2000

2) Pourquoi l'interdisciplinarité ?

L'interdisciplinarité apparaît à mes yeux comme une façon, assez idéale, de lisser les attentes et exigences des enseignants de mathématiques et de sciences physiques. Cela pourrait permettre plusieurs conséquences somme toute bénéfiques, à savoir déjà une meilleure maîtrise des connaissances de la part des enseignants eux-mêmes. Une fois les contenus mieux maîtrisés par les enseignants, nous serions en droit d'espérer davantage d'adaptations réciproques des deux disciplines. Par exemple, les cours de mathématiques pourraient se vouloir moins formels et plus concrets, le tout de façon progressive bien sûr, mais l'on peut légitimement se poser la question de la nécessité de dispenser des cours de mathématiques parfois si abstraits à des non-spécialistes. Cependant, il serait bien impertinent de n'exiger des « efforts » que de la part des mathématiciens. L'enseignant de physique et de chimie pourrait lui aussi faire un pas vers son collègue de mathématiques en essayant d'être plus rigoureux sur certaines notions. Cela étant, un des objectifs de ce mémoire est donc de chercher quelle(s) notion(s) devrait(-ent), à mon humble avis, être adaptée(s) d'un côté ou de l'autre.

b. Contexte et premières investigations

Étant lors de l'écriture de ce mémoire en *M2B* (M2 non-stagiaire suite à un CAPES 2020 loupé), j'effectue un stage filé, différent donc des stages SOPA qui ont pu être réalisés en M1. Je suis donc dans un lycée (lycée Berthelot à Toulouse) tous les vendredis, de début octobre 2020 jusqu'à début mars 2021. Je suis ainsi au contact d'élèves de 2nde, de 1ère Enseignement Scientifique et T^{le} Enseignement Scientifique. Le contexte sanitaire étant celui que nous connaissons, il n'est pas évident pour ma tutrice de me laisser beaucoup la main pour donner cours. J'ai tout de même pu dispenser des cours de cristallographie aux 1ères et des cours sur les échelles macroscopique et microscopique de la matière aux 2nde notamment. Les séances avec les 2nde sont, pour une part importante, des activités expérimentales durant lesquelles je suis là en soutien et cela se transforme souvent en co-animation.

Au début de ce stage, j'ai posé, via un sondage en ligne, une liste de questions aux élèves. Le sondage a été diffusé à tous les élèves de ma tutrice et pas seulement aux élèves que j'ai pu avoir en face de moi. Les questions étaient assez diverses, mais celles qui étaient les plus orientées pour mon mémoire étaient par exemple « Le niveau en mathématiques influence-t-il le niveau en physique, ou inversement ? », « Les difficultés rencontrées semblent-elles liées ? » et « Penses-tu que ton enseignant de mathématiques et ton enseignant de sciences physiques travaillent ensemble ? ». Les réponses à ces questions sont en ANNEXE (figures 16, 17 et 18). Pour la première question ci-avant, on voit que les réponses recueillies sont en proportions très diverses. Cela est plutôt normal puisque cela dépend de la sensibilité de chacun. Il est tout de même à noter que plus de la moitié des élèves qui ont répondu pensent que leurs niveaux en mathématiques et en physique- chimie sont interdépendants. Ma surprise était plus prenante à la vue des résultats récoltés à la deuxième question ci-avant. Bien que beaucoup d'élèves se plaignent souvent de la présence trop pesante des mathématiques en physique-chimie, ils sont minoritaires à affirmer que les difficultés rencontrées dans les deux disciplines ne sont pas liées. Enfin, le « non » l'emporte avec une infime avance sur le « oui » quant à la coopération ressentie des enseignants des deux matières. Après discussion avec ma tutrice, il semblerait que la coopération entre enseignants de mathématiques et de physique-chimie soit inexistante, d'où le sourire en coin que j'ai pu observer à la vue des 43 % de « oui » par ma tutrice. En

creusant un peu le sujet de la coopération entre professeurs, les deux enseignants de physique-chimie que j'avais alors en face de moi en sont arrivés à la conclusion suivante :

« *Avant d'aller s'harmoniser avec les mathématiques, il serait déjà bien que nous accordions nos violons quant aux exigences que nous avons, nous tous, enseignants de physique-chimie de ce lycée* ».

c. Idées d'activités à mener

Avant une quelconque réelle mise en œuvre, plusieurs idées d'activités me sont venues, mais je me suis souvent freiné tout seul face à la potentielle difficulté de mise en place que cela pouvait engendrer étant donné que je n'ai pas mes propres classes. Ayant pu remarquer que la même question posée lors de deux évaluations, l'une en mathématiques et l'autre en physique-chimie, pouvait amener l'élève à répondre de façon différente selon le contexte dans lequel il se trouvait, j'ai pensé qu'il serait intéressant de mettre les élèves eux-mêmes devant ce constat. Par exemple, je pourrais intervenir une fois en maths en leur faisant faire un test « à la sauce professeur de mathématiques », puis une autre fois un test très similaire « à la sauce professeur de sciences physiques ». Si l'élève ne se rend pas compte seul des différences qu'il fait entre les deux approches, une sorte de correction et/ou de mise en parallèle des deux tests faite par mes soins pourrait les révéler et faire réfléchir les élèves sur la proximité entre mathématiques et physique- chimie sur certains points. Les tests en question reposeraient sur les programmes de mathématiques du niveau considéré (ou du niveau inférieur), de sorte à ce que je puisse partir de l'idéal où tous les élèves traiteraient les sujets avec la même base de niveau mathématique.

V. Premier test : mathématiques

a. Énoncé et justification des choix de questions posées

Le premier test est initialement proposable à l'ensemble des lycéens (en tous cas à tous les niveaux, de la seconde à la terminale spécialité mathématiques et/ou physique- chimie). Dans les faits, il n'a été donné qu'à deux classes de seconde. Pour m'assurer de la condition évoquée au paragraphe précédent, ce sujet (fourni en ANNEXE figures 19 et 20) repose entièrement sur le programme de seconde de mathématiques et sera donc volontairement assez abstrait.

Les trois premières questions reposent sur les vecteurs et les connaissances associées. Tout d'abord, il était demandé d'énumérer les vecteurs ayant la même norme et les vecteurs ayant le même sens, de façon à vérifier si la différence entre direction et sens était bien acquise. La deuxième question a plus de lien direct avec le test de physique. En effet, les élèves devaient donner une des possibilités parmi les vecteurs donnés qui vérifieraient $\vec{v} + \vec{w} + \cdots = \vec{0}$. Nous verrons pour le test de physique que ce type de question sera appliqué à un système pseudo-isolé. Enfin, la troisième question exigeait de donner les coordonnées de deux vecteurs et de calculer leurs normes ; les relations littérales étant données.

Les questions 4 à 7 traitent des fonctions affines. Après leur avoir demandé de donner le nom des nombres a et b dans l'équation de droite générale $y = ax + b$, j'ai voulu qu'ils m'expliquent leur méthode pour déterminer le coefficient directeur a. La question 6 avait pour objet de les faire réfléchir sur la particularité des coordonnées d'un point K qui serait le point

d'intersection entre une droite du repère et l'axe des ordonnées. Les faire réfléchir sur cela n'est pas très habituel dans leur cursus, mais cela devait pouvoir les aider à donner les équations des droites données à la question 7, puisque pour 3 droites sur 5, l'ordonnée à l'origine n'était pas visible sur le graphique.

La question 8 est une question directe de proportionnalité, une des plus simples qu'ils ont pu rencontrer jusqu'ici, à savoir déterminer si les deux entrées d'un tableau de valeurs sont proportionnelles ou non.

b. Réponses au test et réponses potentielles d'élèves

La correction de ce test est fournie en ANNEXE (figures 21 et 22). Une bonne partie de ce test, s'il est réalisé en autonomie, est assez directe. En ce sens que pour la majorité des questions posées, l'élève sait répondre ou ne sait pas. Dans la partie vectorielle, il s'agit uniquement de connaître le vocabulaire rattaché à cette notion ou de la lecture graphique. Pour le calcul des normes, il faut aussi demander le bon calcul à la calculatrice. Dans cette partie, donc, je m'attendais à davantage de soucis de calculatrice que de réels problèmes inhérents à l'objet mathématique qu'est le vecteur.

De la même façon, les questions 4, 5 et 8 ne demandaient pas de raisonnement mathématique. Si l'élève connaît le cours sur les fonctions affines et les équations de droites qui les représentent, ces questions sont immédiates. S'il ne sait pas, les réponses sont difficiles à inventer. Concernant la proportionnalité, le format de la question est celui vu depuis le collège donc l'immense majorité des élèves savent y répondre et savent expliquer leur raisonnement.

En revanche, les questions 6 et 7, elles, sont bien plus délicates puisqu'elles imposent une maîtrise de la notion suffisante pour s'approprier l'énoncé et adapter ses connaissances à un contexte un peu plus complexe que d'ordinaire. Je m'attendais donc à récupérer des productions plutôt fragiles sur ces deux questions.

c. Analyses de productions d'élèves

i. Question 1

Cette question a été réussie par l'immense majorité des élèves. Beaucoup ont même inclus les vecteurs unitaires $\vec{i}$ et $\vec{j}$ dans leurs réponses (figure 2).

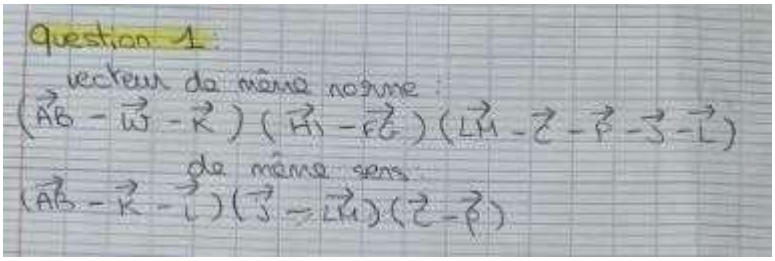


Figure 2

ii. Question 2

Bien que je pensasse cette question relativement simple, puisque la « pointe » du vecteur $\vec{w}$ coïncide avec le début du vecteur $\vec{v}$, la moitié des élèves se sont trompés ou n'ont pas su quoi répondre. Plus anecdotiquement, parmi les réponses correctes, tous les élèves ont donné la même, à savoir $+2\vec{c}$. $+2\vec{p}$ était une réponse tout aussi directe, mais le vecteur $\vec{c}$ est plus à l'écart, donc peut-être plus vite repérable.

iii. Question 3

J'ai été surpris de constater qu'une part non-négligeable des élèves se sont arrêtés aux relations littérales. Cela est d'autant plus surprenant que la plupart du temps, nous leur reprochons plutôt d'écrire directement les applications numériques en omettant les expressions littérales… du moins en physique-chimie.

iv. Question 4

Ici, une légère majorité des élèves a répondu correctement. Néanmoins, sur certaines productions, nous pouvons constater des confusions. Plusieurs élèves ont parlé d'abscisse et d'ordonnée, respectivement pour a et b tandis que d'autres les ont qualifiés de repères. Cela soulève un ensemble de confusions que je n'avais pas remarquées jusqu'alors. On retrouve ce type de difficulté dans le supérieur, lorsqu'il s'agit de distinguer « base », « repère » et « référentiel » par exemple.

v. Question 5

Pour cette question, environ un élève sur trois a répondu correctement, pendant que la moitié des élèves n'a pas répondu ou a répondu faux. Cette proportion est cohérente avec ce qui a déjà pu être remarqué sur les exercices de physique chimie en électricité où il faut déterminer une résistance à l'aide d'un graphe où est tracée $u = f(i)$. En figure 3, j'ai pris un exemple d'explication sous forme de phrase d'une élève. Connaissant moi- même la méthode pour déterminer le coefficient directeur, je réussis à comprendre globalement l'idée décrite, mais l'explication est assez approximative. C'est pourquoi je pense qu'il s'agit davantage d'une difficulté à exprimer à l'écrit une méthode personnelle, que d'une mauvaise méthode.

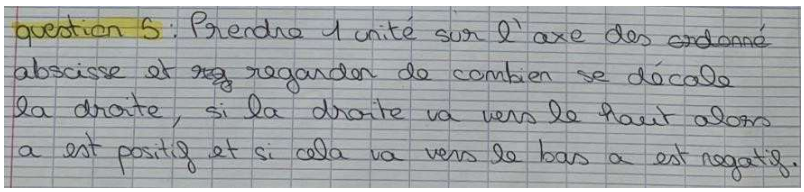

question 5 : Prendre 1 unité sur l'axe des ordonné abscisse et reg regarder de combien se décale la droite, si la droite va vers le haut alors a est positif et si cela va vers le bas a est negatif.

Figure 3

vi. Question 6

Cette question, qui demandait plus d'appropriation de la leçon que les autres, n'a pas été réussie. Plus de la moitié des élèves n'ont pas répondu et ceux qui ont tenté de répondre n'ont pas réussi à répondre correctement. Toutefois, un tiers des élèves ont trouvé un rapprochement entre le point K et l'ordonnée à l'origine b. Seulement, la plupart du temps, un point se retrouvait égal à un nombre ($K = b$) ou bien les coordonnées de K étaient égales aux « coordonnées de la droite ».

vii. Question 7

Comme dit précédemment, cette question était pour le moins ardue, en tous cas pour les droites B, D et E puisque l'ordonné à l'origine n'était pas visible sur le repère fourni. C'est donc sans surprise que la proportion d'élève ayant réussi l'exercice totalement est très faible (2 élèves de la classe). Cependant, les équations des droites A et C étaient assez facilement trouvables et un élève sur trois a déterminé les deux équations correctement.

viii. Question 8

Cette dernière question a eu plus de succès que les précédentes. La quasi-totalité des élèves a répondu juste, ce qui est conforme à ce que j'avais imaginé.

VI. Deuxième test : physique

a. Énoncé et justification des choix

Cet énoncé a été proposé à la même classe qui a composé pour le test de mathématiques, mais a aussi été proposé à une classe supplémentaire, dont les élèves n'ont pas composé sur le test de mathématiques. Cela pourra permettre d'observer si l'exercice de mathématiques influence ou non, positivement ou non, les productions des élèves au test de physique.

Comme dit précédemment, le test de physique s'appuie sur les mêmes notions mathématiques que le test de mathématiques. Les notions sont alors abordées de façon plus appliquées et plus concrètes. L'énoncé dont il est question ici figure également en ANNEXE (figures 23, 24 et 25). La première question porte sur une résultante nulle des forces appliquées sur une voiture garée en pente. Il est intéressant de noter que les élèves à qui a été posé ce test n'avaient pas encore vu les forces et leur représentation vectorielle en physique-chimie. De plus, le test de physique a été donné après celui de mathématiques où la notion de somme nulle de vecteurs a été abordée. Cette question demande donc à l'élève de tracer un troisième vecteur force de façon à ce que la voiture reste immobile. Bien que les élèves n'aient pas encore vu cette notion en cours de physique chimie, j'ai estimé qu'ils avaient, théoriquement, le bagage mathématique nécessaire et suffisant pour tenter de répondre.

Toutes les questions qui suivent gravitent autour d'une même situation, à savoir la proportionnalité entre la hauteur de sable qui s'écoule d'un sablier et le temps écoulé. Pour tenter d'interpeller les élèves sur leur « erreur » récurrente qui consiste à dire que

« si les points représentant les donnés de la situation physique ne sont pas exactement alignés et ne peuvent pas être reliés par une droite qui passe par l'origine du repère, la situation n'est pas proportionnelle. » , j'ai voulu modifier la situation du sablier en clepsydre, de façon à moduler légèrement les données de telle sorte à ce que les points ne soient pas parfaitement alignés (comme ils le sont dans le cas du sablier). Je fais alors intervenir trois élèves fictifs. Une première, Morgane, qui affirme que la situation est proportionnelle malgré tout, comme on a l'habitude de le penser en physique. Une deuxième, Pauline, qui estime que la situation n'est pas proportionnelle et qui raisonne comme écrit plus haut. Enfin une troisième, Ivana, qui reporte les points avec un stylo à pointe très

épaisse. Il est alors demandé aux élèves s'ils pourraient tracer une droite qui passerait par tous les gros points. J'ai bien sûr fait en sorte que ce soit possible, *stricto sensu.* Bien que pour un physicien ou un mathématicien aguerri ces points grossiers, et qui plus est, carrés puissent donner des sueurs froides, l'idée ici était de matérialiser la surface à l'intérieur d'hypothétiques barres d'erreur liée aux incertitudes de mesure. De cette façon, si tant est que les élèves pensaient que la hauteur d'eau écoulée de la clepsydre n'est pas proportionnelle, je veux mener les élèves à se questionner sur leurs propres façons de penser. Il serait assez idéal qu'un élève pense de prime abord que la hauteur d'eau qui s'écoule de la clepsydre n'est pas proportionnelle au temps, puis qu'en traçant une droite passant par tous les points grossiers d'Ivana, l'élève en vienne à évoquer avec ses mots l'idée d'incertitude.

Comme exprimé en début de paragraphe, une partie des copies prises en exemple pour illustrer mes propos concernent des élèves qui n'ont pas eu à composer sur le test de mathématiques. Il sera donc précisé, si tant est que cela soit pertinent, si la copie en question a été récupérée par d'élève ayant subi le test de mathématiques ou pas.

b. Réponses au test et réponses potentielles d'élèves

La correction de ce test est également fournie en ANNEXE (figures 26 et 27). Les éventuelles réponses d'élèves à la première question sur le système pseudo-isolé sont difficiles à imaginer. Il peut exister autant de conception initiale que d'élèves. Néanmoins, bien qu'ils aient, normalement, le bagage mathématique nécessaire et suffisant pour essayer de répondre à cette question, plusieurs obstacles peuvent survenir. Par exemple, le fait que le poids et la réaction du support n'aient pas le même point d'application peut perturber les élèves.

Pour la suite concernant la proportionnalité, j'ai déjà évoqué le raisonnement que beaucoup d'élèves font sur les situations modélisées par une régression linéaire quand les points expérimentaux ne sont pas rigoureusement alignés. Toutefois, plusieurs profils peuvent se dégager en étant confrontés à cet enchaînement de questions.

Il peut tout d'abord y avoir des élèves, convaincus que l'écoulement d'eau de la clepsydre n'est pas proportionnel au temps, et ce, indépendamment du déroulé des questions, qui passeront à côté de la réflexion que ce test voulait leur faire avoir.

Il est également probable que certains élèves interceptent l'idée que je veux leur transmettre. Auquel cas, leur avis quant à la proportionnalité est susceptible d'évoluer au fur et à mesure des questions posées.

Vraisemblablement, au moins une petite partie des élèves interrogés auront déjà saisi cet implicite qui veut qu'en physique et en chimie, la prise en compte des incertitudes dans la modélisation peut amener à considérer une situation réelle comme proportionnelle, malgré des mesures expérimentales qui auraient tendance à traduire le contraire.

c. Analyses de productions d'élèves

i. Question 1

Bien que les élèves n'aient pas encore abordé la notion de force en physique-chimie au moment du test, un peu plus de la moitié des élèves ont tracé un vecteur $\vec{F}$ qui part du point G, se dirige approximativement dans la bonne direction et dans le bon sens (figures 4 et 5).

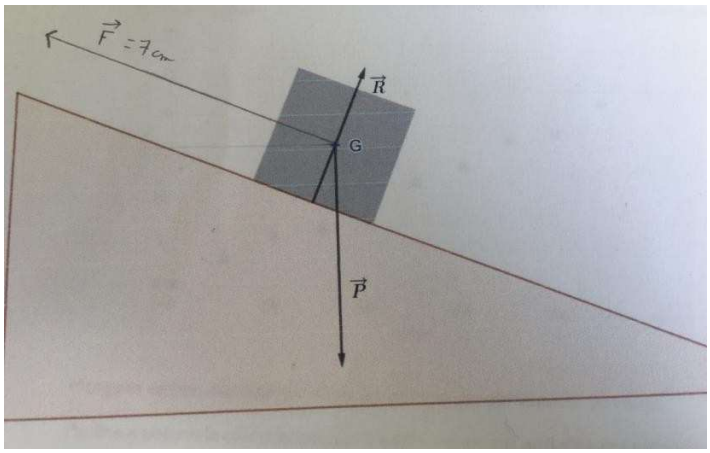


Figure 4

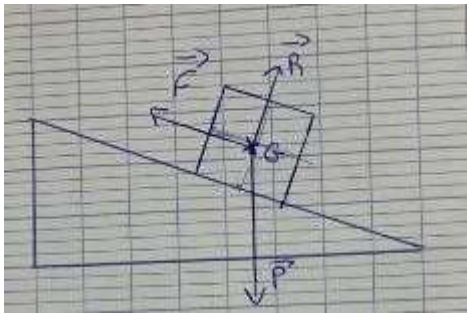


Figure 5

Une des explications qui peut découler de ce constat consiste à penser que ces élèves ont pu tracer un vecteur qui leur paraissait correspondre, sans toutefois réaliser le tracé de façon plus précise. Jusqu'à trois élèves par classe ont réussi à tracer correctement le vecteur $\vec{F}$ (figure 6).

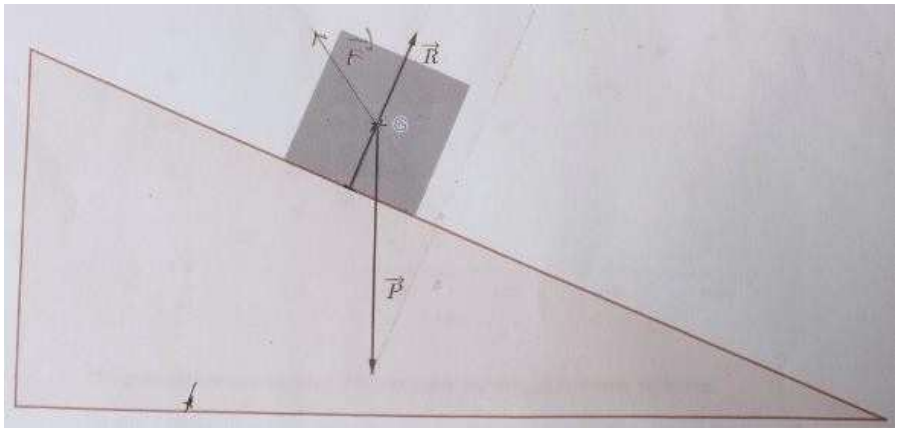


Figure 6

Cela montre que, même sans leçon sur les forces et leur représentation vectorielle, les élèves sont capables de mobiliser leurs connaissances mathématiques pour les appliquer en physique, pour peu que les propriétés physiques ou chimiques leur soient données (ici la définition d'un système pseudo-isolé). D'autres exemples de tracés ont tendance à diriger $\vec{F}$ dans la même direction que $\vec{R}$ (figure 8) ou dans une direction entre celle de $\vec{R}$ et celle du poids $\vec{P}$ (figure 7).

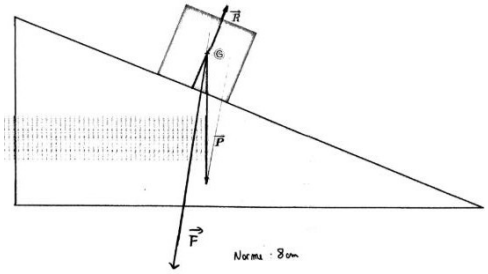


Figure 7

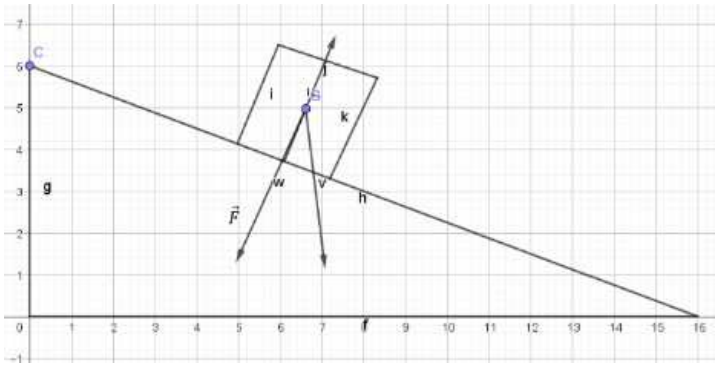


Figure 8

ii. Question 2

Cette question a fait l'unanimité, aux nuances près. Tous les élèves ont affirmé que la hauteur de sable s'écoulant du sablier est proportionnelle au temps. Tous ont également justifié leurs propos en précisant que la proportionnalité est due au fait que l'on peut tracer une droite passant par l'origine du repère à partir des points expérimentaux (figure 9).

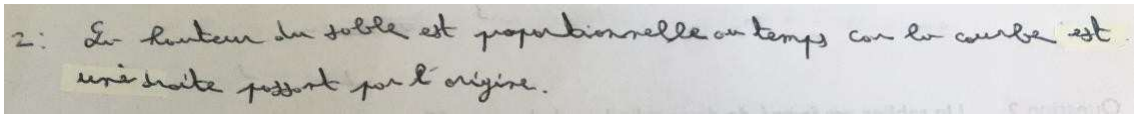
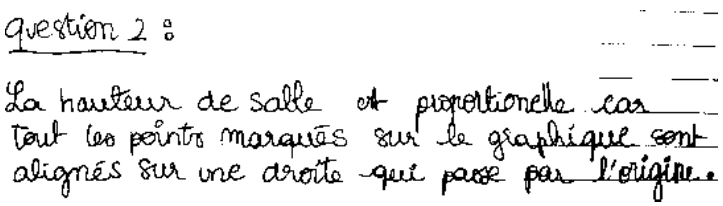

2: La hauteur du sable est proportionnelle au temps car la courbe est une droite passant par l'origine.

Figure 9

Près d'un tiers des élèves ont ajouté que tous les points étaient parfaitement alignés sur la droite qu'ils ont tracée (figure 10).


Question 2 :

La hauteur de salle est proportionelle car tout les points marqués sur le graphique sont alignés sur une droite qui passe par l'origine.

Figure 10

iii. Question 3

La détermination du coefficient directeur (ou de proportionnalité) a été correctement faite par plus des deux tiers des élèves (figure 11).

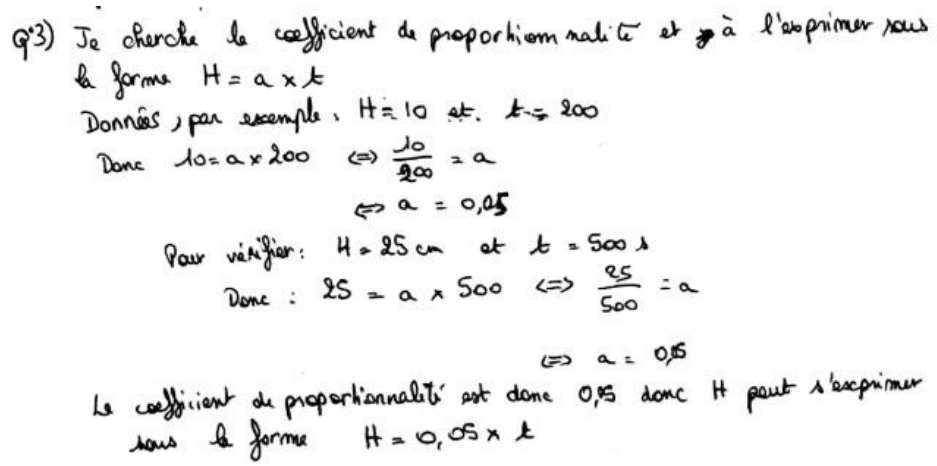


Figure 11

Une petite proportion, moins d'un quart de l'échantillon, a calculé l'inverse, soit :

a= $\frac{100}{5} = 20$ (figure 20).

prendre 100 en abscisse et 5 en ordonnée puis le diviser$100 \div 5 = 20$. Ensuite on peut faire la même chose avec un autre point facile pour pouvoir comparer comme 300 en abscisse et 15 en ordonnée $300 \div 15 = 20$. On voit que le résultat est le même donc cela veut dire que c'est proportionnel.

3° Les calculs sont dans la question précédente donc le coefficient multiplicateur est 20 a=20.

Figure 12

Cette erreur se trouve uniquement chez les élèves qui n'ont pas fait le test de mathématiques avant. La part d'élèves restante n'a pas répondu ou a démontré de grosses confusions (figure 13).

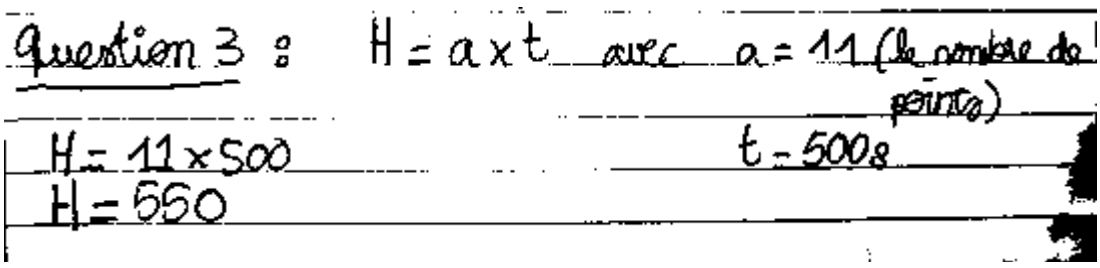


Figure 13

d. Cas des questions 4 et 5

Comme je m'y attendais, ces questions ont conduit à presque autant de réponses que d'élèves. J'ai donc regroupé les types de réponses les plus fréquents ainsi que leur fréquence d'apparition pour les deux questions dans les deux tableaux ci-dessous.

Tableau 1 :

Question 4	
Impossibilité de tracer une droite qui passe par l'origine et par tous les points, donc situation non-proportionnelle.	50 %
Selon le nombre de points situés en dessous ou au-dessus de la courbe, la situation est proportionnelle ou non.	20 %
Situation proportionnelle, mais droite « imparfaite » due aux « imprécisions » ou au caractère « expérimental » de l'expérience.	25 %
On peut tracer une droite passant par l'origine, donc situation proportionnelle.	5 %

Tableau 2 :

Question 5	
Le tracé est possible, mais pas précis, la situation est proportionnelle.	45 %
Le tracé est possible, mais pas assez précis donc la situation n'est pas proportionnelle.	40 %
Le tracé impossible, mais la situation « semble » proportionnelle.	15 %

Grâce à ces tableaux, on peut se rendre compte que même si la moitié des élèves questionnés pensent d'abord que la situation n'est pas proportionnelle, le fait d'avoir grossi les points et d'avoir posé la question à nouveau a permis d'avoir à la fin du test presque la moitié des élèves qui évaluent finalement la situation comme étant effectivement proportionnelle.

Bien sûr, ces chiffres sont à nuancer, puisqu'en réalité, la proportion d'élèves difficiles à convaincre n'est pas négligeable. Ces élèves, bien que perturbés par la question 5, n'ont pas voulu faire de concession sur le caractère proportionnel de la hauteur d'eau écoulée par rapport au temps. De la même façon, les élèves déjà convaincus de la proportionnalité des deux grandeurs n'ont pas changé d'avis sous prétexte que les points étaient plus gros. La dernière ligne du tableau 2 est intéressante. Ces 15 % jugent impossible le tracé convenable d'une droite qui modéliserait la situation, mais la taille des points semble toutefois leur faire accepter qu'il y ait bien proportionnalité.

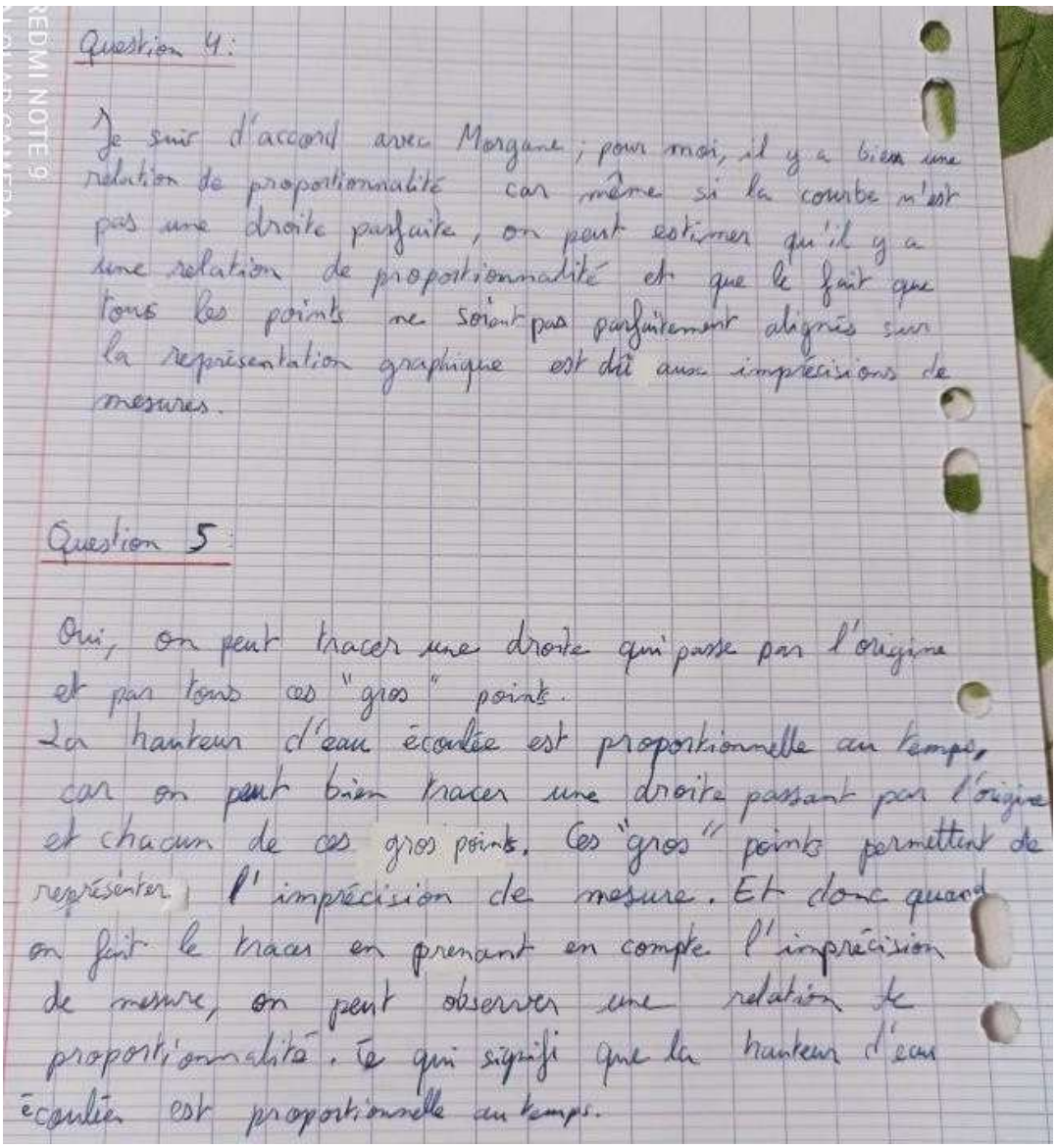
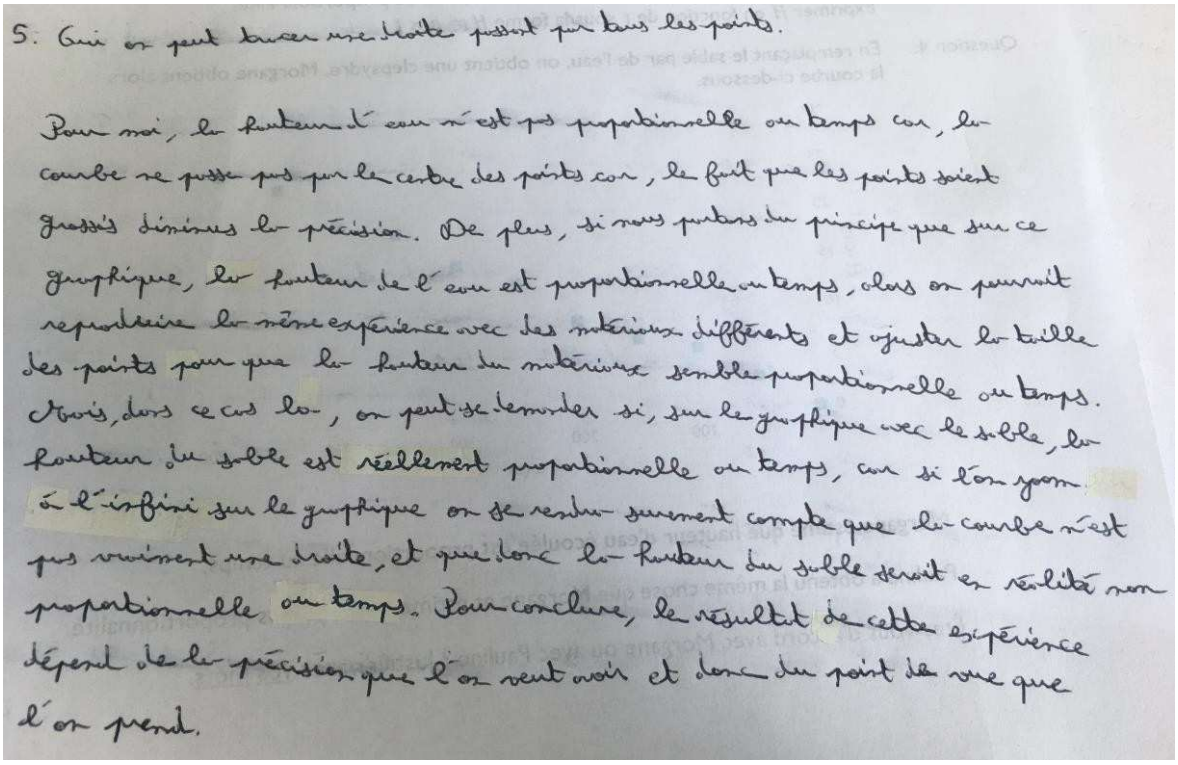


Figure 14

La première copie (figure 14) est celle d'un élève ayant compris dès le début que la quantité d'eau qui s'écoule d'une clepsydre est proportionnelle au temps. Il fait clairement mention de la notion d'imprécision de mesure dès la question 4 et explique que les gros points expérimentaux sont justement présents pour représenter cette incertitude. La deuxième copie (figure 15) est celle d'un élève qui explique avec détail , que si on peut effectivement tracer une droite passant par tous les points, la situation n'est pas proportionnelle pour autant. Il met même en doute la proportionnalité dans le cas du sable pour le sablier en imaginant que si nous pouvions « zoomer à l'infini » sur une portion de courbe, peut-être nous rendrions-nous compte qu'en réalité la courbe n'est pas exactement une droite. Il précise que si l'on voulait multiplier l'expérience en testant des fluides autres que le sable et l'eau, alors il suffirait d'adapter la taille des points expérimentaux au besoin jusqu'à ce que le tracé d'une droite passant par l'origine soit possible. Nonobstant toute cette argumentation, il finit en écrivant que la conclusion sur cette expérience d'écoulement dépend de la précision exigée et du point de vue pris.


5. Car on peut tracer une droite passant par tous les points.

Pour moi, la hauteur de l'eau n'est pas proportionnelle au temps car, la courbe ne passe pas par le centre des points car, le fait que les points soient grossis diminue la précision. De plus, si nous partons du principe que sur ce graphique, la hauteur de l'eau est proportionnelle au temps, alors on pourrait reproduire la même expérience avec des matériaux différents et ajuster la taille des points pour que la hauteur du matériaux semble proportionnelle au temps. Mais, dans ce cas là, on peut se demander si, sur le graphique avec le sable, la hauteur du sable est réellement proportionnelle au temps, car si l'on zoom à l'infini sur le graphique on se rendra surement compte que la courbe n'est pas vraiment une droite, et que donc la hauteur du sable serait en réalité non proportionnelle au temps. Pour conclure, le résultat de cette expérience dépend de la précision que l'on veut avoir et donc du point de vue que l'on prend.

Figure 15

VII. Bilan des deux premiers tests

Ces deux premiers tests, centrés sur les notions de vecteurs, de fonctions linéaires et de proportionnalité, ont montré que les mathématiques peuvent avoir un important impact sur la réflexion des élèves. Dans le cas de la proportionnalité, cette empreinte très présente des cours de mathématiques est tout à fait normale. En effet, les élèves apprennent à reconnaître et traiter des situations de proportionnalité que l'on pourrait qualifier de « parfaite » dès le collège. Ils sont confrontés à différents types de problèmes tels que les pourcentages, les coefficients de proportionnalité et les évolutions successives. Cependant, les situations alors choisies le plus souvent pour rendre la notion plus concrète imposent cette proportionnalité « parfaite », non seulement parce que le fameux coefficient de proportionnalité est au cœur de ces situations, mais aussi parce que ces situations impliquent quasi-systématiquement une ordonnée à l'origine. De fait, toutes les représentations graphiques qui peuvent découler de ces exercices auront la même allure, à savoir « *une droite passant par tous les points et par zéro* ». Cette vision, fortement ancrée de la proportionnalité en mathématiques, rend beaucoup d'élèves étanches à la notion de proportionnalité telle que conçue en physique-chimie, où les mesures sont par nature entachées d'une incertitude et où les points expérimentaux relatifs aux situations étudiées sont quasiment jamais exactement alignés.

Depuis quelques années, pourtant, la notion d'incertitude prend de plus en plus de place dans les programmes de physique-chimie. L'arrivée des incertitudes au programme du cycle 4 pourrait assouplir davantage la conception que se font les élèves des mesures physico-chimiques et donc de la modélisation par régression linéaire.

VIII. Ouverture

a. Poursuite des investigations sur la notion de dérivée

Le sujet de la dérivée de fonction, qui a été abordé dans les paragraphes II et III, mériterait pour les raisons évoquées dans lesdits paragraphes un approfondissement au même titre que la proportionnalité. Des exercices sous le même format que les tests dont il est question dans ce mémoire (ou d'un autre format d'ailleurs) pourraient être envisagés en se basant sur les programmes de première et/ou de terminale spécialité mathématiques. Ces investigations n'ont pas été effectuées par mes soins jusqu'à la rédaction de ce mémoire pour plusieurs raisons. La raison majeure est le manque de temps. Le format du stage effectué, la situation sanitaire dans les lycées que nous connaissons tous ainsi que ma préparation au concours du CAPES de physique-chimie et au CAPLP de maths- physique-chimie ont rendu l'entreprise particulièrement délicate. L'autre raison est le format du nouveau baccalauréat. Comme écrit plus haut, la dérivation de fonctions et toutes les notions gravitant autour sont vues en spécialité de mathématiques ou sont apprises sur le tas en spécialité de physique-chimie lors du chapitre de mécanique du point. Il est également possible que des élèves n'ayant pas poursuivi la spécialité mathématiques en terminale suivent l'option de mathématiques complémentaires. En mécanique du point, la notion de primitive est souvent traitée avant que les élèves, mêmes spécialistes des mathématiques la traitent en cours de mathématiques. Il faut alors ruser en raisonnant à « l'envers » en demandant *« quelle fonction vitesse $v(t)$ donnerait la fonction accélération $a(t)$ en étant dérivée ? »* et de même pour obtenir la fonction position $x(t)$. Cette difficulté est souvent accentuée chez les élèves trop habitués à ce que la variable soit majoritairement x et pas t en mathématiques. Expérimenter des choses sur ces notions avec des élèves impose donc de sélectionner correctement un échantillon potentiellement réduit d'élèves. En guise de contrainte supplémentaire, il serait idéal que les élèves choisis aient le/la même enseignant(e) de spécialité physique-chimie et le/la même enseignant(e) de spécialité mathématiques de sorte à ce que les noms des enseignants soient un paramètre fixé et n'influencent pas les données recueillies.

b. Autres points intéressants à développer

1) Les obstacles liés aux notations

Bien que le problème des notations ait commencé à être abordé en introduction, c'est bien sur une autre facette de celui-ci dont il va être question ici. La formulation écrite de principes ou de lois peut être elle-même source de difficultés et d'incompréhension. Les sciences physiques reposent en majorité sur l'appropriation et l'utilisation de ces lois et principes qui, eux se formalisent à l'écrit à l'aide d'outils mathématiques. L'apprentissage des sciences physiques inclut donc une maîtrise de ces outils. Depuis quelques années, on nous enjoint à définir la vitesse comme le rapport entre une distance et une durée, soit $v = \frac{d}{\Delta t}$. Beaucoup d'élèves sont davantage habitués à utiliser $v = \frac{d}{t}$ en mathématiques, et pour cause. En mathématiques, ils apprennent que deux lettres écrites conjointement se multiplient entre elles comme dans l'expression $f(x) = ax + b$ où a est multiplié à x, alors que dans l'exemple Δt, Δ est un opérateur différence appliqué au temps t. (Bengloan & Nichele, 2012) La difficulté soulevée ici peut se répercuter dès que les dérivées sont notées $\frac{dy}{dx}$ en physique. Pendant longtemps dans la scolarité des élèves, d est la distance tout comme x parfois, alors qu'en physique x est la position et d l'opérateur différentiel ; surgit alors un potentiel cercle vicieux pour les élèves.

2) Le signe « = »

Le signe « = » semble être un des plus connus et des plus familiers de tous les symboles mathématiques. Pourtant, déjà au niveau lycée, le signe « = » est utilisé dans plusieurs contextes différents et possède donc plusieurs significations différentes. Lors d'une opération très simple telle que 2 + 3 = 5, le sens de signe « = » est d'ores et déjà souvent mal compris[5]. On a tendance à penser que le signe « = » signifie *« en faisant l'opération à gauche du signe =, on obtient le résultat à droite du signe = »*, alors que la présence de ce signe « = » entre deux entités, ici « 2 + 3 » et « 5 » traduit l'équivalence entre celles-ci ; en effet « 2 + 3 » représente la même quantité de *choses* que « 5 » et à ce titre, il est *vrai* d'affirmer que « 2 + 3 = 5 ».

Il est une deuxième utilisation du signe « = » très répandue, en tous cas omniprésente en physique, mais de moins en moins à mesure que les mathématiques gagnent en rigueur le long d'un cursus scolaire se trouve dans les fonctions. Cela a déjà été abordé en introduction pour une autre raison. En physique 99,99 % du temps, une fonction à n variables sera notée « $f(x, y, \dots) = \cdots$ ». Par exemple, l'énergie totale d'un pendule pesant est modélisable par une fonction de deux variables : l'angle θ que fait le pendule avec la verticale et sa vitesse angulaire $\dot{\theta}$.

$$E(\theta, \dot{\theta}) = \frac{1}{2} m\ell^2\dot{\theta}^2 + mg\ell(1 - \cos\theta)$$

Dans cet exemple, on comprend bien que le signe « = » n'a pas un sens d'équivalence. Il s'agit plutôt d'une définition. On définit l'énergie totale E par la fonction $E(\theta, \dot{\theta})$ dont l'expression est $\frac{1}{2} m\ell^2\dot{\theta}^2 + mg\ell(1 - \cos\theta)$. C'est pourquoi, en mathématiques, de façon plus rigoureuse, une telle fonction serait notée :

$$E: (\theta, \dot{\theta}) \mapsto \frac{1}{2} m\ell^2\dot{\theta}^2 + mg\ell(1 - \cos\theta)$$

Cela peut se lire *« Soit E la fonction qui, au couple de variables $(\theta, \dot{\theta})$ associe (l'expression) $\frac{1}{2} m\ell^2\dot{\theta}^2 + mg\ell(1 - \cos\theta)$ »*. On voit ici que le signe « = » n'intervient pas dans l'écriture.

Un autre exemple, qui tend à tomber en désuétude, se trouve en chimie. En effet, jadis les équations de réaction étaient souvent écrites avec le signe « = ». Par exemple, la combustion du charbon $C_{(s)}$ dans le dioxygène de l'air $O_{2(g)}$ pouvait s'écrire (sans tenir compte du fait que la réaction soit totale ou non) :

$$C_{(s)} + O_{2(g)} = CO_{2(g)}$$

Ainsi, il m'est arrivé de voir des enseignants utiliser ce type d'écriture et qu'un élève demande :*« Mais monsieur/madame, si*

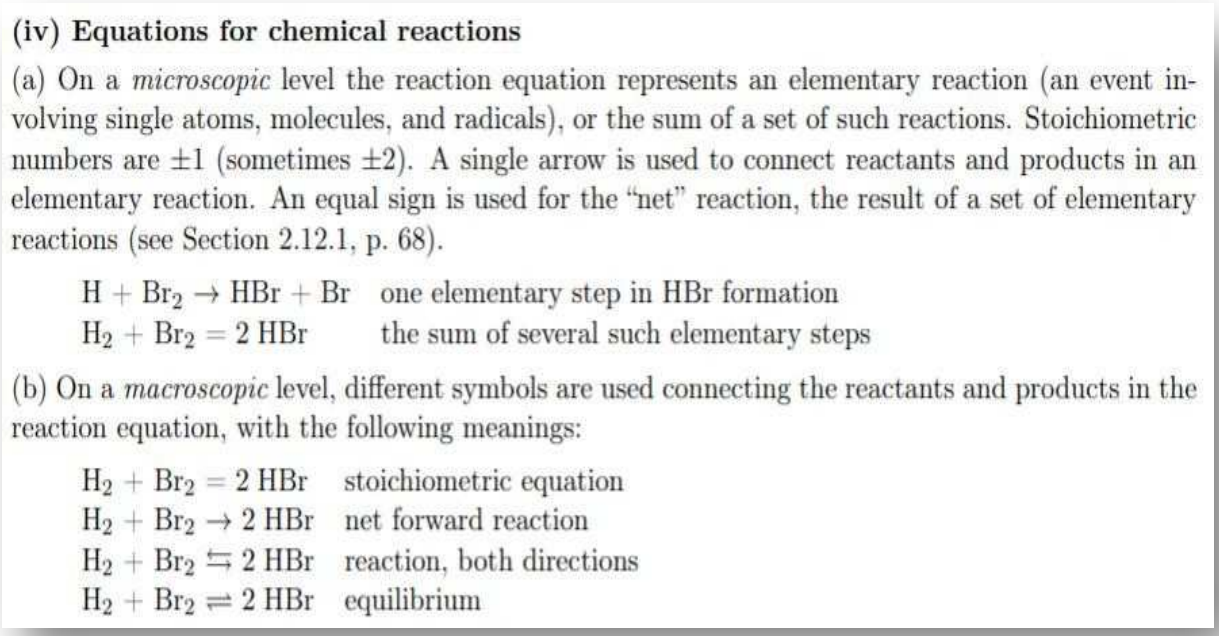
$$C_{(s)} + O_{2(g)} = CO_{2(g)}$$

[5] (Khan Academy, 2015)

est vrai, peut-on aussi écrire

$$C_{(s)} = CO_{2(g)} - O_{2(g)}$$

? ». Suite à quoi l'enseignant(e) et moi-même restions pantois, comme sidérés que cette idée saugrenue ait pu germer dans la tête d'un élève. Ce n'est qu'après discussion que nous nous sommes rendus compte du bien-fondé des différents symboles utilisés aujourd'hui. Désormais, une importance particulière est accordée à l'écriture des équations de réaction. Selon IUPAC[6], quatre symboles différents sont proposés, mais dont l'usage est cadré :



(iv) Equations for chemical reactions

(a) On a *microscopic* level the reaction equation represents an elementary reaction (an event involving single atoms, molecules, and radicals), or the sum of a set of such reactions. Stoichiometric numbers are ±1 (sometimes ±2). A single arrow is used to connect reactants and products in an elementary reaction. An equal sign is used for the "net" reaction, the result of a set of elementary reactions (see Section 2.12.1, p. 68).

$H + Br_2 \rightarrow HBr + Br$	one elementary step in HBr formation
$H_2 + Br_2 = 2\ HBr$	the sum of several such elementary steps

(b) On a *macroscopic* level, different symbols are used connecting the reactants and products in the reaction equation, with the following meanings:

$H_2 + Br_2 = 2\ HBr$	stoichiometric equation
$H_2 + Br_2 \rightarrow 2\ HBr$	net forward reaction
$H_2 + Br_2 \leftrightarrows 2\ HBr$	reaction, both directions
$H_2 + Br_2 \rightleftharpoons 2\ HBr$	equilibrium

Figure 16 : recommandations IUPAC

On voit que le signe « = » est toléré, soit pour décrire « la somme de plusieurs réactions élémentaires » (associée au niveau microscopique), soit pour décrire une « équation stœchiométrique » (associée au niveau macroscopique) rendant uniquement compte de la pondération correcte de l'équation. Toutefois, cette nécessité de précision n'est rencontrée que dans le supérieur et sous réserve de suivre une filière spécialisée. Au lycée, les symboles « ⟶ », « ⇄ » et « ⇌ » sont donc vraiment préférables au signe « = », bien qu'il faille prendre le temps d'expliciter ces différents symboles aux élèves.

Le signe « = » possède aussi une multitude de variantes, notamment en informatique. Voici la liste non-exhaustive de celles que j'ai eu l'occasion de rencontrer dans mon cursus scolaire et universitaire.

[6] (Cohen, et al., 2007)

Tableau 3 :

Variante	Signification
≈	Approximation et valeur approchée
≠	« différent de »
≡	Équivalence logique ou « égal par définition »
:=	Opérateur affectation
==	Test d'égalité
===	Test d'égalité stricte
! =	Test de non-égalité
<= ou >=	Comparaison

IX. Conclusion générale

Ce mémoire avait pour objectif de démontrer l'importance et l'intérêt de l'interdisciplinarité entre mathématiques et physique-chimie, en mettant en exergue quelques-unes des différences entre les exigences des enseignants des deux matières concernées.

Dans un premier temps a fallu tout d'abord faire des recherches en didactique et en épistémologie afin de dresser un rapide inventaire des différences couramment observées entre mathématiques et physique-chimie. Cela m'a mené, dans un deuxième temps, à cibler les plus percutantes du point de vue de la physique pour créer ces tests destinés aux élèves tests niveau(x) choisi(s). Dans un troisième temps, il s'est agi de confronter les élèves aux différences d'exigences, d'analyser leurs copies afin de pouvoir leur donner un aperçu du lien indéfectible qui lie les mathématiques et les sciences physiques de façon à ce qu'ils s'en saisissent pour mieux appréhender l'un ou/et l'autre des disciplines.

Bien qu'ayant un bon avis sur le sujet lors de mes premières réflexions, mon stage et mes recherches ont levé le voile sur des points de difficultés que je n'aurais pu soupçonner auparavant. À tel point qu'étant susceptible de m'éparpiller et de vouloir aborder d'autres sujets plus ou moins en lien avec le mien, il m'était régulièrement impératif de me recentrer. Ce mémoire m'a fait également prendre conscience de l'atout que représente l'interdisciplinarité entre mathématiques et physique-chimie. J'ai pu, au contact de collègue néo-enseignants en lycée professionnel, apprendre que la co-intervention était imposée dans ces établissements entre les enseignants de matières dites générales (telles que la physique-chimie et les mathématiques) et les matières professionnelles en lien avec les filières correspondantes. Je pense qu'en lycée général comme en lycée professionnel, il serait bon d'envisager des dispositifs équivalents ou approchants entre les matières générales elles-mêmes, notamment les matières scientifiques. Il me semble que tendre vers une uniformisation des exigences disciplinaires jusqu'au baccalauréat ne peut qu'être bénéfique, surtout pour les élèves qui ne sont pas encore spécialisés et n'ont pas encore un recul suffisant sur leurs apprentissages. Quelle(s) que soit(-ent) la/les filières qu'ils ou elles empruntent par la suite, il leur sera toujours temps de s'adapter aux différents jargons plus spécifiques.

À partir de ce constat, nous pouvons d'ores et déjà envisager une nouvelle piste de recherche. En effet, en plus d'expérimenter les autres notions mathématiques précédemment citées, nous pouvons désormais réfléchir à la mise en place de ces dispositifs. Tout d'abord, peut-être à l'échelle d'une classe de test en faisant coopérer les enseignants de mathématiques, de physique-chimie et pourquoi pas de sciences de la vie et de la Terre, puis en mesurant l'effet de ces dispositifs sur la réussite scolaire des élèves par rapport aux classes « classiques » où les enseignants des différentes disciplines ne communiquent pas ou peu entre eux. Il serait donc peut-être intéressant aussi de répartir ce travail de recherche entre plusieurs étudiants/stagiaires pour que ces derniers coopèrent dans leurs investigations.

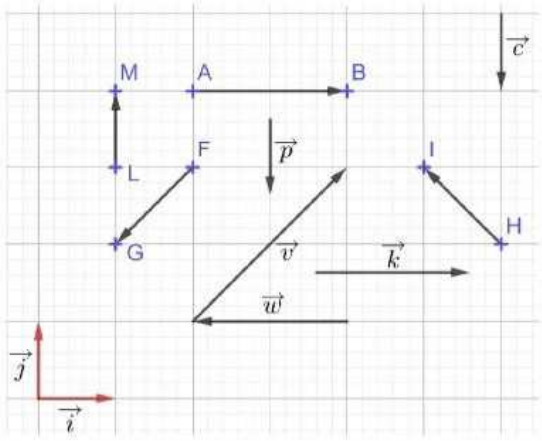
Enseignant(e)(s) de Physique :
Enseignant(e)(s) de Maths :
Classe :

TEST N°1 : MATHS

*« Chers élèves, ces petits tests) de ± **30 minutes** visent davantage à vous aider par la suite et à prendre conscience de certaines choses, qu'à vous embêter. Prenez-les le plus possible comme un jeu, des révisions ou un autotest que comme une évaluation. Ils ne seront d'ailleurs **absolument pas** **notés**, mais, puisque la correction vous sera fournie ultérieurement, il vous serait bon de garder l'énoncé. Ceci étant dit et parce qu'ils m'aideront à écrire mon mémoire de fin d'études, je vous prie de les effectuer avec sérieux. Merci à vous par avance de vous prêter à l'exercice. »*

Axel GUILLERMIN

Question 1. Dans l'image ci-dessous, repérer les vecteurs de **même norme** et les vecteurs de **même sens**.



Question 2. À partir de l'image ci-dessus, compléter la relation suivante (plusieurs choix peuvent être possibles, n'en donner qu'un) :

$$\vec{v} + \vec{w} + \cdots = \vec{0}$$

Question 3. Toujours à partir de l'image ci-dessus donner les coordonnées des vecteurs $\overrightarrow{GF}$ et $\vec{v}$ et calculer leurs normes. On rappelle que pour un vecteur $\overrightarrow{AB} = \vec{u} \begin{pmatrix} x_B - x_A \\ y_B - y_A \end{pmatrix}$ on a $\|\vec{u}\| = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$

Question 4. La forme générale d'une équation de droite dans un repère $(O; \vec{\imath}; \vec{\jmath})$ est :

$$y = ax + b$$

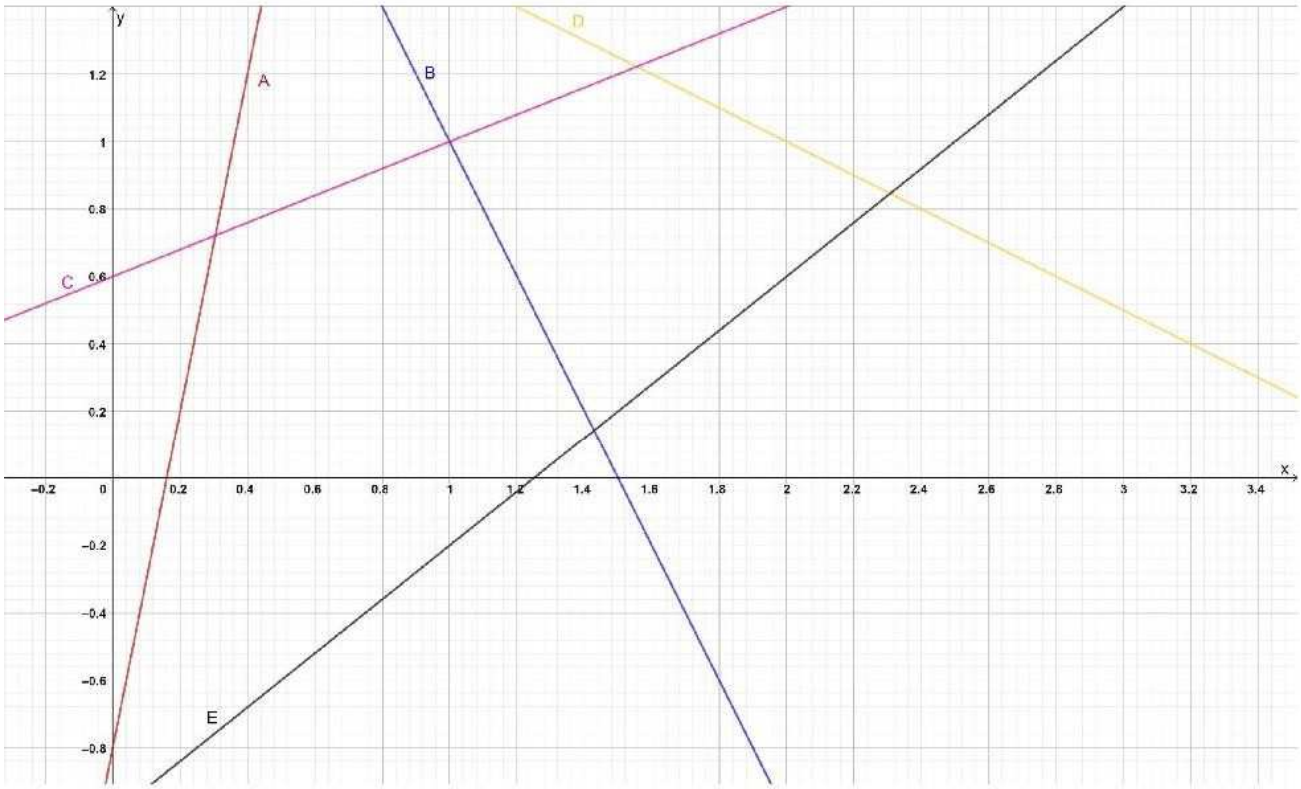
Comment appelle-t-on les nombres a et b ?

Figure 20 : Page 1 sur 2 du test de mathématiques

Question 5. Expliquer une méthode pour déterminer a.

Question 6. Quelle est la particularité des coordonnées $(x_K; y_K)$ d'un point K qui serait le point d'intersection entre une droite et l'axe des ordonnées, relativement aux nombres a et b ? On rappelle : $y = ax + b$

Question 7. Donner les équations des droites A, B, C, D et E représentées ci-dessous



Question 8. Parmi les deux situations ci-dessous, laquelle ou lesquelles est/sont proportionnelle(s) ? Justifier avec vos mots.

x	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
y	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25

x'	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
y'	0	3	6	7	9	13	15	18,5	19,5	23,5	25

Figure 21 : Page 2 sur 2 du test de mathématiques

Correction disponible dans la version numérique accessible sur le site de l'ENSFEA: **http://physiquechimie-ea.ensfea.fr**

TEST N°1 : MATHS — CORRECTION

Question 1.

Les vecteurs de même normes sont :

- $\overrightarrow{AB}$; $\vec{k}$; $\vec{w}$
- $\vec{c}$; $\vec{p}$; $\overrightarrow{LM}$
- $\overrightarrow{FG}$; $\overrightarrow{HI}$

Les vecteurs de même sens sont :

- $\overrightarrow{AB}$; $\vec{k}$
- $\vec{c}$; $\vec{p}$

Question 2.

Plusieurs réponses possibles :

$$\vec{v} + \vec{w} \begin{matrix} +2\vec{c} \\ +2\vec{p} \\ -2\overrightarrow{LM} \end{matrix} = \vec{0}$$

Question 3.

$\overrightarrow{GF} = \begin{pmatrix} x_F - x_G \\ y_F - y_G \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ et $\|\overrightarrow{GF}\| = \sqrt{1^2 + 1^2} = \sqrt{2}$

$\vec{v} = \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \end{pmatrix}$ et $\|\vec{v}\| = \sqrt{2^2 + 2^2} = \sqrt{8} = 2\sqrt{2}$

Question 4.

a est le coefficient directeur. b est l'ordonnée à l'origine.

Question 5.

On prend deux points A et B de la droite, choisis astucieusement avec $x_B > x_A$ puis $a = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$

Figure 22 : Correction page 1 sur 2 du test de mathématiques

Question 6.

Pour ce point particulier K, il se trouve que $x_K = 0$ et $y_K = b$

Question 7.

Droite A : $y = 5x - 0.8$

Droite B : $y = -2x + 3$

Droite C : $y = 0.4x + 0.6$

Droite D : $y = -0.5x + 2$

Droite E : $y = 0.8x - 1$

Exemple de méthode pour la équation de droite B :

Puisque l'on ne connaît pas l'ordonnée à l'origine b, il faut utiliser la propriété vue à la question 6.

Prenons le point $M(1; 1)$ et le point $K(0; b)$. On sait que $a = \frac{\Delta y}{\Delta x}$.

Donc

$$-2 = \frac{1 - b}{1 - 0} \Leftrightarrow 1 - b = -2 \Leftrightarrow b = 3$$

Question 8.

La première situation est proportionnelle. Le facteur de proportionnalité vaut $\frac{2.5}{50} = \frac{5}{100} = 0.05$

La deuxième situation n'est pas proportionnelle. Il n'y a pas de facteur de proportionnalité entre x' et y'.

Figure 23 : Correction page 2 sur 2 du test de mathématiques

Enseignant(e)(s) de Physique :
Enseignant(e)(s) de Maths :
Classe :

TEST N°2 : PHYSIQUE

*« Chers élèves, ces petits tests de ± **30 minutes** visent davantage à vous aider par la suite et à prendre conscience de certaines choses, qu'à vous embêter. Prenez-les le plus possible comme un jeu, des révisions ou un autotest que comme une évaluation. Ils ne seront d'ailleurs **absolument pas** **notés**, mais, puisque la correction détaillée vous sera fournie ultérieurement, il vous serait bon de garder l'énoncé. Ceci étant dit et parce qu'ils m'aideront à écrire mon mémoire de fin d'études, je vous prie de les effectuer avec sérieux. Merci à vous par avance de vous prêter à l'exercice. »*

Axel GUILLERMIN

Question 1. Imaginons une voiture garée dans une pente. La voiture est immobile. Pour simplifier, la voiture est soumise à 3 forces : le poids $\vec{P}$, la réaction de la route $\vec{R}$ et une force liée au frein à main $\vec{F}$. Pour que la voiture reste immobile, il faut que :

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = \vec{0}$$

Représenter $\vec{F}$ à l'aide de votre règle en partant du centre de gravité G de la voiture.

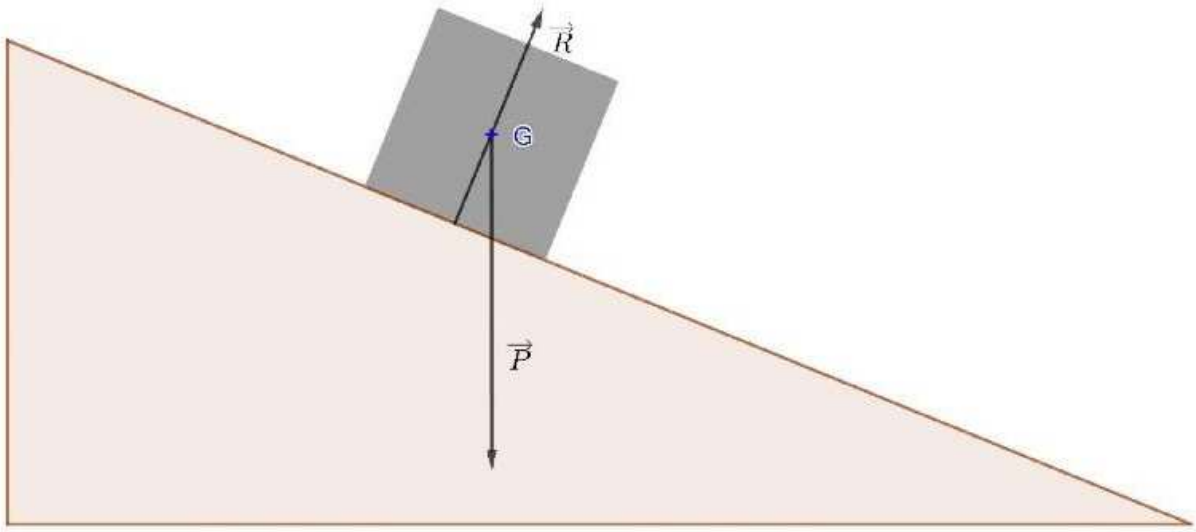
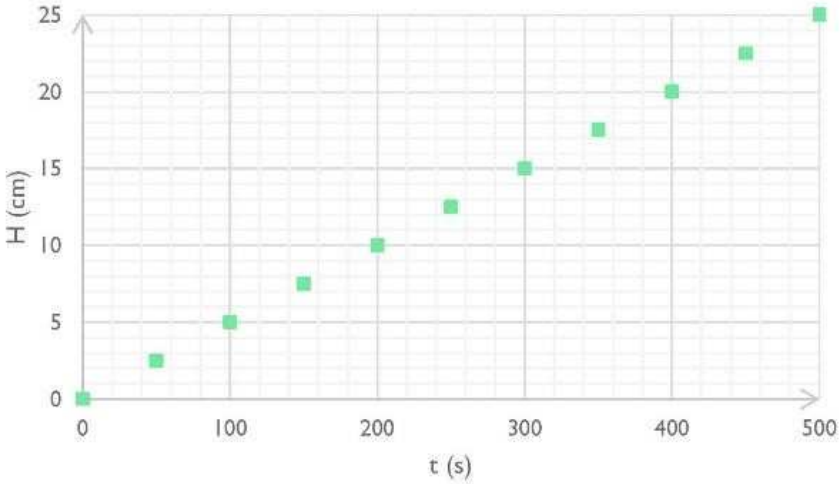


Figure 24 : Page 1 sur 3 du test de physique

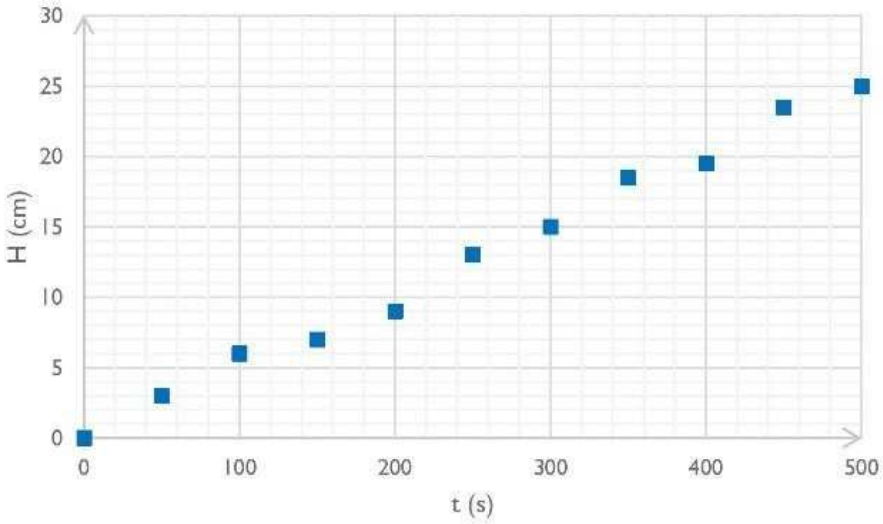
Question 2. Un sablier est formé de deux cylindres de hauteur $25\ cm$ reliés par un petit tube. Morgane a tracé la hauteur H en cm du sable écoulé en fonction du temps t en $secondes$ à partir du moment où l'on retourne le sablier.



La hauteur de sable écoulé est-elle proportionnelle au temps ? Justifier avec vos mots.

Question 3. Si cela est proportionnel, déterminer le coefficient de proportionnalité.
Exprimer H en fonction de t sous la forme $H = a \times t$

Question 4. En remplaçant le sable par de l'eau, on obtient une clepsydre. Morgane obtient alors la courbe ci-dessous.



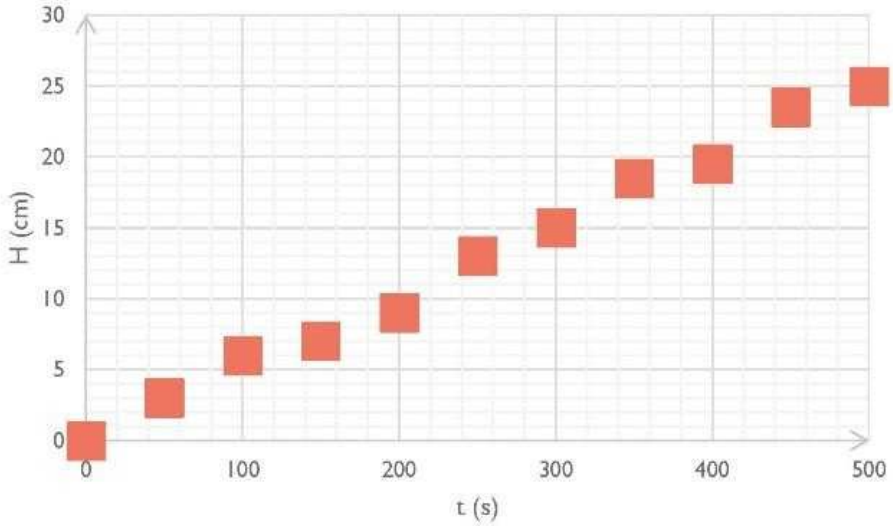
Morgane estime que hauteur d'eau écoulée est proportionnelle au temps.

Pauline a obtenu la même chose que Morgane et estime qu'il n'y a pas proportionnalité.

Êtes-vous d'accord avec Morgane ou avec Pauline ? Justifier avec vos mots.

Figure 25 : Page 2 sur 3 du test de physique

Question 5. Ivana a elle aussi reporté les mêmes informations concernant la clepsydre mais avec un stylo qui a une pointe très épaisse et voici ce qu'elle a obtenu :



Peut-on tracer une droite qui passe par l'origine et par tous ces *gros* points ?

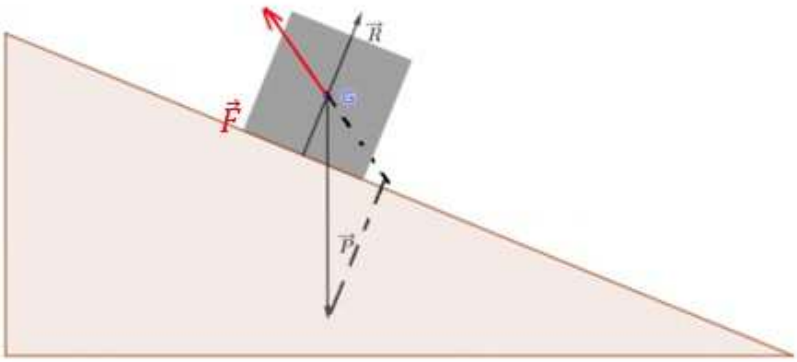
Tracez ce qu'il vous semble bon de tracer.

La hauteur d'eau écoulée est-elle proportionnelle au temps ? Justifier avec vos mots.

Figure 26 : Page 3 sur 3 du test de physique

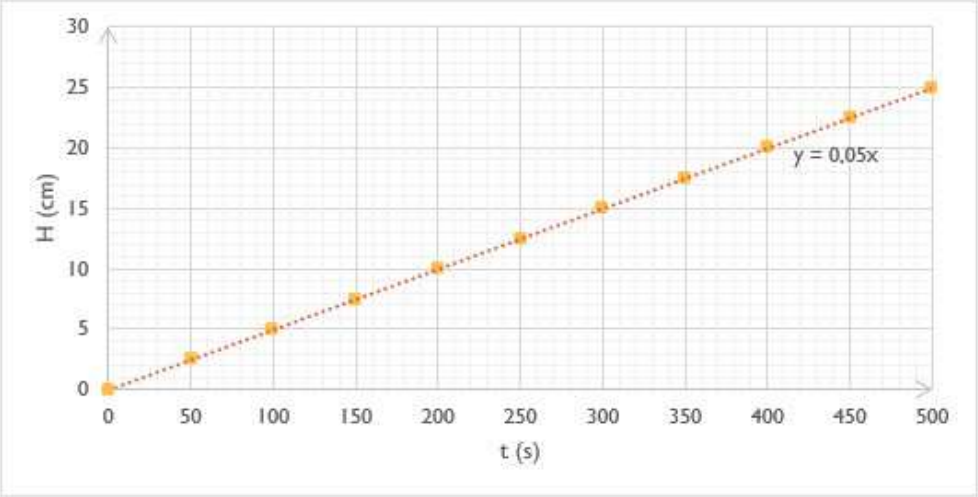
TEST N°2 : PHYSIQUE — CORRECTION

Question 1.



Question 2.

La hauteur de sable est proportionnelle au temps. On peut tracer une régression linéaire qui passe par l'origine.



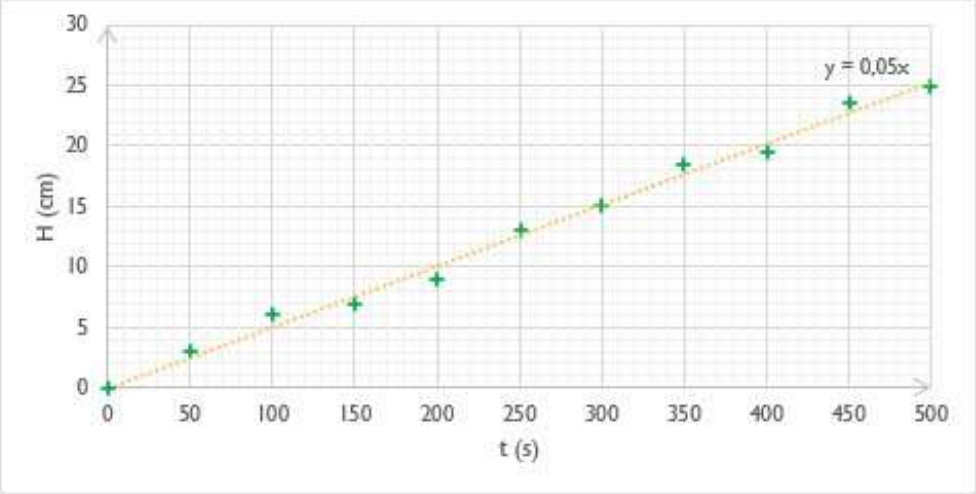
Question 3.

Comme cela figure sur le graphique ci-dessus, $a = 0.05$. (Attention, il peut être demandé de préciser l'unité de ce coefficient ! Ici, a s'exprime en $cm.s^{-1}$) $H = 0.005t$

Figure 27 : Correction du test de physique page 1 sur 2

Question 4. Question 5.

Morgane a raison du point de vue d'un physicien. En effet, il est également possible de tracer une régression linéaire qui passe par l'origine.



Bien que les points ne se trouvent pas tous rigoureusement sur la droite, en physique nous pouvons considérer cette situation proportionnelle. Le graphique obtenu par Ivana avec les gros points servait à matérialiser ce que l'on appelle les **incertitudes de mesure**. En physique et en chimie, dès qu'une grandeur est mesurée expérimentalement, la valeur trouvée est obligatoirement entachée d'une incertitude. Pour notre exemple, c'est l'épaisseur du trait d'Ivana qui traduit cette incertitude. Dans les faits, ce décalage avec la proportionnalité « parfaite » du point de vue mathématique peut s'explique via beaucoup de sources d'incertitudes. Pour notre clepsydre par exemple, cela peut provenir de l'erreur humaine de mesure de la hauteur, de l'imprécision de l'instrument de mesure de cette hauteur, du relevé fait par l'expérimentateur du temps écoulé, de l'imprécision du chronomètre,… Les points expérimentaux obtenus pour le sable dans le cas du sablier sont faussés et manipulés de telle sorte à ce que les points soient parfaitement alignés. Les valeurs expérimentales relevées pour le sablier et la clepsydre correspondent exactement aux données indiquées dans les deux tableaux du test de mathématiques !

Ces tests visaient à vous faire prendre conscience des différences entre ce qui est attendu de vous en mathématiques et en physique-chimie, bien que la physique-chimie utilise les mêmes outils que les mathématiques.

Merci encore à vous tous d'avoir joué le jeu de ces tests. Certaines de vos productions seront citées en l'état et commentées en vue de mon mémoire de fin d'études supérieures. Bien entendu, vous resterez anonymes aux yeux de celles et ceux qui liront mon mémoire.

Bonne continuation à vous tous. »

Axel GUILLERMIN

Figure 28 : Correction du test de physique page 2 sur 2

X. Travaux cités

Bengloan, J.-Y., & Nichele, R. (2012). *Réflexion sur les obstacles liés à la transposition didactiques en physique.* Lausanne.

Cohen, E. R., Cvitaš, T., Frey, J. G., Holmström, B., Kuchitsu, K., Marquardt, R., . . . Thor, A. J. (2007). *Quantities, Units, and Symbols in Physical Chemistry, IUPAC Green Book* (éd. 3rd). North Carolina, USA: RSC Publishing. doi:https://doi.org/10.1039/9781847557889

Colet, R., & Mary, N. (1993). *Pluridisciplinarité, interdisciplinarité, transdisciplinarité : quelles perspectives en éducation ? Etude du discours des professeurs de la Section des sciences de l'éducation de l'Université de Genève.* Genève.

Khan Academy. (2015, juillet 17). *Signification du signe égal.* Récupéré sur youtube.com: https://youtu.be/Ed1bep8r-Do

MENESR/DGESO. (2014). *Rapprochements didactiques entre trois disciplines scientifiques dans la continuité [bac-3 ; bac+3].* Éduscol.

Redish, E. F., & Kuo, E. (2015, March 14). *Language of Physics, Language of Math: Disciplinary Culture and Dynamic Epistemology.*

Eléments de bibliographie sur les liens Mathématiques – Physique-Chimie

Articles de recherche en didactique

Sur le concept d'angle
Munier, V., et Merle, H. (2007). Une approche interdisciplinaire mathématiques – physique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, *27*(3), 349–388.
https://revue-rdm.com/2007/une-approche-interdisciplinaire/

Sur la loi d'Ohm
Malafosse, D., Lerouge A. et Dusseau J.-M. (2001) 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, *Didaskalia*, 18, 61-98.
https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_2001_num_18_1_1111

Sur la proportionnalité
Baldy, E., Dusseau, J.-M. et Durand-Guerrier, V. (2007). Mathématiques et physique en classe de troisième : l'exemple de la proportionnalité. *Repères-IREM*, 66, 73-82.
https://publimath.univ-irem.fr/numerisation/WR/IWR07004/IWR07004.pdf

Sur les tableaux
Duval, R. (2003). Comment analyser le fonctionnement représentationnel des tableaux et leur diversité ? *Spirale - Revue de Recherches en Éducation*, 32, 7-31.
https://www.persee.fr/doc/spira_0994-3722_2003_num_32_1_1377

Sur les mouvements de translation
Ba, C., Dorier J.-L. (2007). Liens entre mouvement de translation et translation mathématique. *Repères-IREM, 69, 81-93.*
http://www.univ-irem.fr/spip.php?rubrique24&id_numero=69&id_article_reperes=475

Sur les fonctions
Achour, S. (2006). Les fonctions linéaires et affines dans l'enseignement secondaire et leur relation avec les autres disciplines *Colloque Espace Mathématique Francophone* *http://emf.unige.ch/emf-2006/*

De façon générale, on trouvera de nombreux documents concernant la physique sur le site des colloques Espace Mathématique Francophone http://emf.unige.ch/

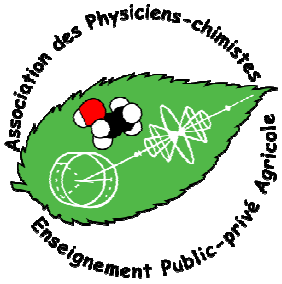
Documents institutionnels

« Expérimentation et modélisation, la place du langage mathématique en physique-chimie ». Document du GRIESP. Octobre 2016. Disponible sur éduscol :
https://eduscol.education.fr/physique-chimie/actualites/actualites/article/le-griesp-publie-experimentation-et-modelisation-la-place-du-langage-mathematique-en-physique.html

Séminaire « Construction des croisements didactiques en mathématiques et physique-chimie au collège ». 10 mars 2017.
Vidéos et ressources du séminaire disponibles sur éduscol :
http://eduscol.education.fr/cid115245/interdisciplinarite-maths-et-physique-chimie-au-college.html

https://eduscol.education.fr/document/17218/download Eduscol : compétences travaillées en mathématique : cycle 4 :

https://eduscol.education.fr/document/22672/download Eduscol la modélisation, une activité essentielle pour travailler les compétences de la démarche scientifique



Directrice de publication : Christine Ducamp et Nicolas Hervé (ENSFEA)
Bulletin numérique : Gilles Espinasse (site ENSFEA) « http://physiquechimie-ea.ensfea.fr »
Siège social : LEGTA de Pamiers – route de Belpech – 09100 PAMIERS
N° siret : 39405390400014
CPP58924