

La lettre Physique-Chimie Grenoble



Dans ce numéro

- **Actualités : Clise 2018**
- **Formations en ligne**
- **Physique à main levée**
- **Logiciel et application pour le lycée**
- **Revue de presse**

Dossier

Les rapprochements didactiques entre la physique-chimie et les mathématiques

ÉDITO

Ce nouveau numéro de notre Newsletter Physique-Chimie Grenoble donne des informations sur un événement qui se déroulera du 29 janvier au 3 février 2018 et auquel vous pouvez participer : la semaine de la classe inversée. Nous vous proposons aussi plusieurs MOOC en lien avec notre discipline et un site comportant de nombreuses vidéos pouvant être utilisées dans nos séances d'enseignement. Deux outils numériques développés et testés par des enseignants de physique-chimie de notre académie complètent cette présentation.

Le dossier thématique de notre newsletter aborde un sujet qui nous concerne tous, quels que soient nos niveaux d'enseignement : les rapprochements didactiques entre la physique-chimie et les mathématiques.

ACTUALITÉS : CLISE 2018

Qu'est-ce que la « Clise 2018 » ?

La **semaine de la classe inversée « Clise 2018 »** aura lieu du **29 janvier au 3 février 2018**. Cet événement est porté par l'association « Invertissons la classe ! ».

Pour découvrir cet événement, vous pouvez **visionner la capsule vidéo** de Nicolas Vossier, le coordonnateur académique de la « Clise 2018 » pour l'académie de Grenoble :

<https://youtu.be/wmsEcxgsPZ4>

Vous trouverez également une **infographie avec des informations** sur cet événement au bas de la page à l'adresse suivante :

<https://goo.gl/forms/yU8PrK267NthZyRG2>

Pour qui ?

La semaine de la classe inversée concerne à la fois les **enseignants qui souhaitent découvrir cette pratique pédagogique** et **ceux qui la mettent en œuvre** dans leurs classes. Vous pouvez partager votre expérience en ouvrant vos classes, échanger avec des praticiens de la classe inversée, participer à des ateliers ou assister à des séances près de chez vous.

Comment s'inscrire ?

Si vous souhaitez visiter la classe d'un enseignant pratiquant la classe inversée ou si vous voulez partager votre expérience de « classe inversée » en accueillant des collègues, vous devez **remplir le questionnaire** présent à l'adresse :

<https://goo.gl/forms/yU8PrK267NthZyRG2>



FORMATIONS EN LIGNE

• La **plateforme FUN** propose actuellement plusieurs MOOC susceptibles d'intéresser les enseignants de physique ou de chimie :

« **Des particules aux étoiles** » : <https://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:ParisSaclay+71001+session03/about>

« **Astrophysique : du système solaire au Big Bang** » : <https://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:amu+38001+session02/about>

« **Comprendre les nanosciences** » : <https://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:UPSUD+42003+session02/about>

« **Étudiants dyslexiques dans mon amphi : comprendre et aider** » : <http://www.ens-lyon.fr/savoirs/moocs/mooc-etudiants-dyslexiques-dans-mon-amphi-comprendre-et-aider?platform=hootsuite>

• S'il est parfois difficile de suivre ces MOOC en temps réel, l'inscription permet d'accéder à des ressources conçues par des spécialistes au moment où on le souhaite.

PHYSIQUE À MAIN LEVÉE

• Le site « **Physique à main levée** » d'UNISCIEL (Université des Sciences en Ligne) rassemble les vidéos de plus de 300 expériences (avec des fiches pédagogiques) dans plusieurs domaines de la physique pour le collège et le lycée.

Adresse du site : <http://phymain.unisciel.fr/>

• Rappelons que le site UNISCIEL propose deux autres séries avec de nombreuses vidéos utilisables au collège et au lycée :

- la **série Kézako** (présentée dans la newsletter 1) : <http://kezako.unisciel.fr/category/episodes-video-de-la-serie/>

- la **série Fuseschool** (présentée dans la newsletter 4) : <https://www.youtube.com/playlist?list=PLWfc4QDrcvkPYd6LGnkBYJ1M2QAW3kbfX>

LOGICIEL ET APPLICATION POUR LE LYCÉE

• **TitraB** est un logiciel conçu par deux chercheurs et une enseignante de physique-chimie de l'académie de Grenoble. Ce logiciel propose **16 exercices de niveau progressif** pour apprendre à élaborer le protocole du titrage d'un acide ou d'une base et à exploiter le résultat. Il s'adresse aux élèves des **filières S et STL** mais aussi aux **étudiants en chimie**.

Un **mode enseignant** permet de suivre le travail des élèves et de choisir le type de rétroactions apportées par le logiciel.

Vous trouverez plus d'informations à l'adresse : <https://lc.cx/gfpr>

• « **Bac à protons** » est une application développée par un collègue de l'académie de Grenoble. Elle permet de s'entraîner grâce à des **QCM sur des thèmes de physique et de chimie de seconde et de terminale**.

Pour télécharger l'application : <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.renaudhennino.QCM>

Pour obtenir plus d'informations, vous pouvez consulter le site Web : <https://www.bacaproton.fr/>

REVUE DE PRESSE



■ Actualité chimique

Pierre-Gilles de Gennes et l'innovation - p. 16-22 - n° 424 - décembre 2017.

■ Le Bup

Le Bup n° 998 novembre 2017

Adapter l'enseignement pour donner du sens aux incertitudes de mesures par Aude Causserieu et Andrée Tiberghien - p. 1111-1126.

Quelques difficultés rencontrées par les étudiants dans l'application du deuxième principe de la thermodynamique par Abdelkader Anakkari, Abdelhalim Guelzim et Maxime Nagels - p. 1127-1137.



■ Pour la science

40 ans de découvertes – Numéro anniversaire 1977-2017- n° 481-novembre 2017.

■ Cahiers pédagogiques

Les tâches complexes à la loupe. n° 541 - décembre 2017.



CONTACT

• Direction de la publication : Inspection de physique-chimie

• Rédaction : Agnès Berthet : Agnès-Paule.Berthet@ac-grenoble.fr

• Adresse du site académique : <http://www.ac-grenoble.fr/disciplines/spc/>



Pour nous suivre sur twitter :

@PhysChiGrenoble

DOSSIER : Les rapprochements didactiques entre la physique-chimie et les mathématiques

Dans ce dossier, nous avons décidé de faire le point sur les difficultés que nos élèves rencontrent lorsqu'ils utilisent des notions mathématiques. Nous avons parfois l'impression qu'elles se sont accrues ces dernières années depuis la réforme du lycée. Pourtant, combien de fois avons-nous entendu les parents de nos élèves dire qu'ils n'avaient jamais compris les cours de physique parce que « c'est comme les mathématiques, il y a plein de formules » ? Ce problème fait actuellement l'objet de travaux communs entre les groupes physique-chimie et mathématiques au niveau de l'Inspection générale. Un séminaire consacré à ce sujet a eu lieu en mars 2017 [1]. Les vidéos des différentes présentations sont disponibles à l'adresse : <http://eduscol.education.fr/cid115245/interdisciplinarite-maths-et-physique-chimie-au-college.html#lien1>.

Ce dossier thématique présente de manière non exhaustive certaines difficultés dues à l'utilisation fréquente des mathématiques dans notre discipline et propose quelques pistes pour essayer d'aider les élèves à les surmonter. Si nous nous intéressons à la place des mathématiques, nous n'oublions pas cependant les Sciences de la Vie et de la Terre qui peuvent également s'intégrer dans nos séances d'enseignement à certains moments.

1. LES LIENS ENTRE LA PHYSIQUE-CHIMIE ET LES MATHÉMATIQUES

Deux disciplines ayant leurs spécificités ...

La physique-chimie et les mathématiques possèdent leurs **spécificités** : abstraction des mathématiques, statut de l'expérience en physique-chimie, rigueur et concision du langage mathématique, langage symbolique pour la chimie ... On note également des **différences de présentation et d'interprétation selon les disciplines** pour plusieurs notions communes. Certains termes très employés en mathématiques tels que la « démonstration » et les « hypothèses » ont d'ailleurs un sens différent. En physique-chimie, les **grandeurs** sont très souvent exprimées avec une **unité**, ce qui introduit des types de questions spécifiques à notre discipline et nécessite que les élèves sachent convertir des unités ou vérifier un calcul en effectuant une analyse dimensionnelle. De plus, l'interprétation d'**expériences** peut amener à utiliser une démarche différente, par exemple inductive pour vérifier une loi à partir de plusieurs mesures expérimentales alors que les mathématiques utiliseraient plutôt une démarche déductive [2]. Les **incertitudes de mesure** modifient aussi le raisonnement et la procédure à mettre en œuvre : alors que deux points suffisent pour tracer une droite en mathématiques, un plus grand nombre de points expérimentaux, qui ne sont pas exactement alignés, peut pourtant être modélisé par une droite dans notre discipline à cause des incertitudes de mesure.

... mais indissociables

Cependant, nos deux disciplines sont « *historiquement et fondamentalement liées* » [1], dans la constitution des savoirs savants ou dans leur enseignement. « *Les mathématiques apportent à la physique des outils, mais inversement, la physique fournit aux mathématiques des problématisations et des exemples concrets facilitant l'assimilation de notions abstraites.* » [3]. De plus, de **nombreuses notions, démarches et compétences communes** pourraient faire l'objet d'un travail commun afin d'explicitier aux élèves les spécificités disciplinaires et de leur montrer ce qu'est la **démarche scientifique** [4]. Les compétences mathématiques nécessaires en physique-chimie dans la filière générale S et les filières technologiques STL et STI2D visent à permettre de « mettre en œuvre la démarche scientifique jusqu'à la modélisation » [5]. « L'état d'esprit » des programmes actuels de mathématiques et de physique-chimie des filières scientifiques a évolué puisque l'un des objectifs visés est aussi de développer la démarche de recherche, la prise d'initiative et l'autonomie des élèves. Les liens explicites entre ces deux disciplines scientifiques ont d'ailleurs été rajoutés dans l'aménagement du programme de seconde [6].

2. LES DIFFICULTÉS RENCONTRÉES PAR LES ÉLÈVES

Les enseignants de lycée et du supérieur (CPGE, université, IUT) mentionnent souvent les difficultés que les élèves et les étudiants rencontrent lors de l'utilisation de notions mathématiques [3] : difficultés pour effectuer des applications numériques, difficultés dans la manipulation des fractions, non-maîtrise du calcul littéral, non-maîtrise de la proportionnalité ... Ces difficultés amènent d'ailleurs souvent les élèves et les étudiants à utiliser à outrance la calculatrice.

Un nombre élevé de notions mathématiques

De **nombreuses notions mathématiques** sont nécessaires **au lycée** pour les séances de physique-chimie : proportionnalité, graphiques, fonctions, isolement d'une variable, manipulation de formules, statistiques (moyenne, écart-type, intervalle de confiance), trigonométrie (cos, sin, tan, degré/radians, petits angles), vecteurs (addition, projections, coordonnées, dérivée, produit scalaire) ... [5]. L'enseignant de physique-chimie pense parfois que les élèves maîtrisent ces notions alors qu'elles n'ont été **étudiées en mathématiques qu'une seule fois**, ne leur laissant pas le temps de se les approprier. De plus, il lui arrive de les introduire lui-même, en simplifiant le formalisme mathématique, lorsqu'il en a besoin pour ses séances d'enseignement.

Faire le lien entre la physique-chimie et les mathématiques

Les élèves ne réussissent pas à faire le lien spontanément entre les disciplines scolaires. C'est le cas pour la physique-chimie et les mathématiques [4 ; 7]. Il est donc primordial de leur **expliquer les interactions** entre ces deux matières, la **manière d'aborder des notions identiques**, les **démarches** à mettre en œuvre, la **rédaction** et le **sens pris par certains termes** en fonction de la discipline concernée pour que les élèves ne pensent pas qu'il y a des contradictions dans les propos de l'un des enseignants.

Difficultés pour donner du sens aux concepts de physique-chimie

En plus de **s'approprier des notions mathématiques**, les élèves doivent souvent **en même temps donner du sens à des concepts de physique-chimie qu'ils sont en train de découvrir**. C'est par exemple le cas pour la relation

$P = m g$ au collège [7]. L'utilisation correcte de cette relation algébrique nécessite d'établir une relation entre les symboles et les concepts qu'ils représentent. Les élèves rencontrent cette formule au moment où ils étudient la gravitation pour la première fois. Ils ne donnent aucun sens à l'intensité de la pesanteur g . Les difficultés sont accrues par le fait que, dans le langage courant, les termes « masse » et « poids » sont utilisés pour désigner la même grandeur.

Les registres de représentation

Les **différents registres de représentation** (également appelés registres sémiotiques dans le domaine de la recherche) ont fait l'objet d'une étude par R. Duval en mathématiques en 1995 [8]. Pour que les élèves s'approprient ces différents modes de représentation, il est nécessaire qu'ils les rencontrent et les utilisent régulièrement, qu'ils les produisent et qu'ils effectuent des changements de registres (passage des données chiffrées à un tableau ou d'un graphique à sa signification en français par exemple). Ces travaux ont été repris par plusieurs auteurs et mettent tous en évidence les difficultés des collégiens mais aussi des lycéens pour utiliser le registre verbal, le registre graphique et le registre symbolique [9-10]. Signalons également la **complexité de deux modes de représentation** employés dans de nombreuses disciplines pour une organisation et une présentation claire des informations : **les tableaux et les graphiques**. La présentation des informations sous forme de tableaux est très répandue en physique-chimie, notamment pour récapituler les mesures obtenues pendant une expérience. Si ce mode de représentation permet une lecture rapide des résultats, son utilisation peut parfois entraîner des difficultés chez les élèves du fait de la diversité des types de tableaux rencontrés dans pratiquement toutes les disciplines et dans la vie quotidienne [11-12].

La notation des fonctions et des dérivées

Lorsqu'une grandeur dépend de plusieurs autres grandeurs, les physiciens emploient **la même notation** pour désigner **toutes les fonctions** tandis que les mathématiciens utilisent **des lettres différentes pour chaque fonction** [13]. C'est par exemple le cas dans le thème sur le mouvement d'un projectile dans le champ de pesanteur uniforme en terminale S. L'abscisse x du centre d'inertie du système étudié et son altitude z (rarement appelée cote en physique-chimie) dépendent de l'instant t . Il est ainsi possible d'exprimer z en fonction de t ou de x et d'écrire avec la même lettre z deux fonctions différentes : $z(x)$ et $z(t)$. Les différences de notation entre les mathématiques et la physique-chimie se rencontrent dès le début de l'enseignement de la mécanique en terminale pour **la dérivée en un point donné** [13]. Dans l'ancien programme de terminale S (2002), ces distinctions étaient présentes dans plusieurs thèmes, y compris en chimie dans la partie consacrée à l'évolution temporelle d'un système chimique. Actuellement, les élèves sont confrontés à la notation de Leibniz en cinématique et sont amenés à découvrir simultanément cette nouvelle écriture et la dérivée d'un vecteur. Il est donc recommandé de passer du temps à leur expliquer les « règles de fonctionnement » et de **faire la correspondance avec la notation employée en**

mathématiques en multipliant les exemples, afin de ne pas rajouter une difficulté supplémentaire à ce thème contenant de nombreux concepts complexes (thème fondamental dès la première année dans certaines formations scientifiques de l'enseignement supérieur).

Le calcul littéral et les applications numériques

Depuis plusieurs années, les élèves de lycée rencontrent souvent des difficultés pour effectuer des calculs simples ou des applications numériques. Certains ne maîtrisent pas le calcul littéral et **ne réussissent pas à isoler un terme** à partir d'une relation algébrique. Si les astuces comme le triangle magique permettent aux élèves d'obtenir le résultat, elles ne semblent pas les aider à long terme puisque cette difficulté est souvent encore observée après [1]. Pour les applications numériques, plusieurs facteurs sont à l'origine des erreurs : mauvaise utilisation de la calculatrice (en particulier pour les puissances de dix), erreurs dans les conversions d'unités ... Un contrôle de l'ordre de grandeur du résultat final permettrait souvent aux élèves de détecter une erreur dans leurs applications numériques voire de les corriger. De plus, écrire les unités dans les calculs est actuellement recommandé pour les aider à réussir les conversions d'unités [5].

3. COMMENT AIDER LES ÉLÈVES À SURMONTER CES DIFFICULTÉS ?

Un travail conjoint en physique-chimie et en mathématiques

Les enseignants des deux disciplines scientifiques peuvent **régulièrement se concerter**. Le professeur de physique-chimie doit connaître le programme de mathématiques tant au niveau de son contenu, du vocabulaire et des notations employées que de son « état d'esprit » pour utiliser de manière efficace des notions mathématiques dans sa discipline [1 ; 2 ; 5]. De même, le collègue de mathématiques doit également savoir quelles notions de sa matière sont nécessaires

dans les différents thèmes de physique-chimie et la manière dont elles sont abordées et présentées aux élèves. Ceci peut faire l'objet de **travaux communs** [1], par exemple pendant des séances d'accompagnement personnalisé. Des fiches méthodologiques communes comportant une partie « physique-chimie » et une partie « mathématiques » pourront être fournies aux élèves pour les notions nécessitant une double approche comme la proportionnalité, le tracé et l'utilisation de graphiques, les vecteurs, les dérivées ... Ces notions peuvent également être abordées dans des projets bidisciplinaires, pendant les TPE ou les EPI [4].

Un exemple de travail commun : le travail effectué par des inspecteurs et des enseignants de physique-chimie et de mathématiques en STL de notre académie [14]

Leur document « Mathématiques physique-chimie série STL » [14] propose des situations variées étudiées en physique ou en chimie en première STL : suivi temporel d'une synthèse chimique, dosage pH-métrique, lentilles minces, codage binaire d'une transmission ADSL ... Le contenu abordé en mathématiques et en physique-chimie est présenté ainsi que le principe (en physique ou en chimie) et les notions mathématiques que la situation permet de travailler.

Il est aussi recommandé d'**introduire progressivement les différents outils mathématiques** nécessaires au collège puis au lycée en explicitant aux élèves les spécificités de chaque discipline [3 ; 10] et de veiller à la cohérence au niveau du langage mathématique employé en physique-chimie. Un **travail sur la démarche de modélisation** doit aussi être régulièrement mis en œuvre, amenant petit à petit à une abstraction de plus en plus grande. Plusieurs activités peuvent être proposées : sélection de grandeurs pertinentes pour décrire un phénomène, choix d'hypothèses simplificatrices, construction des relations entre ces grandeurs, réflexion sur les limites du modèle ... [1 ; 10]. Certains thèmes se prêtent bien à des travaux conjoints en physique-chimie et en mathématiques. Nous pouvons citer l'astrophysique qui permet d'aborder, dans notre discipline, la spectroscopie, les lois de Newton et l'effet Doppler-Fizeau, tout en travaillant la modélisation à partir des mesures obtenues, en effectuant des liens entre les observations et des concepts abstraits. De nombreuses notions mathématiques peuvent être mobilisées comme les ordres de grandeur les représentations graphiques, fonctions sinusoïdales ... [15].

Faire de la physique-chimie « avec les mains » pour donner du sens aux concepts

Avant de démarrer un développement mathématique comportant des calculs, il peut être intéressant d'effectuer avec les élèves une **analyse qualitative du phénomène étudié** afin d'éviter qu'ils ne perdent le sens de l'étude en étant concentrés sur les calculs qu'ils sont en train de réaliser. De même, déterminer **l'ordre de grandeur** de la valeur qu'ils doivent calculer leur permet de voir si le résultat obtenu à la fin de leur calcul est possible [10]. Ainsi, faire de la physique-chimie « avec les mains » peut aider certains à mieux s'appropriier les concepts étudiés.

Travailler la proportionnalité

L'apprentissage de la proportionnalité doit s'effectuer **pendant les trois cycles de la scolarité obligatoire** [1]. Les élèves doivent apprendre à **résoudre un problème de proportionnalité** par différentes techniques [16], mais aussi à **reconnaître une situation de proportionnalité**. Au cycle 4, plusieurs activités peuvent

faire l'objet d'un travail commun entre la physique-chimie et les mathématiques, comme la loi d'Ohm ou la relation entre la masse et le volume. Néanmoins, comme les élèves ne connaissent pas l'intensité et la tension, il est préférable de commencer par l'activité expérimentale sur la relation entre la masse et le volume qui permettra d'introduire la notion de masse volumique en physique-chimie et de fonction linéaire en mathématiques. Il est également recommandé de travailler certaines situations de proportionnalité en traçant un graphique ou sans tracer de graphique [17].

Au lycée, certains élèves ont tendance à utiliser la proportionnalité dans toutes les situations qu'ils étudient, de manière « automatique ». C'est par exemple le cas en terminale S pour la relation entre l'intensité sonore et le niveau d'intensité sonore. Le fait qu'ils aient surtout étudié des modèles proportionnels au collège renforce peut-être cette conception. Il est donc fondamental de **traiter également des phénomènes qui ne sont pas régis par des relations de proportionnalité** aux cycles 3 et 4 [1 ; 10 ; 16]. La gravitation universelle permet ainsi d'introduire dès le cycle 4 une formule plus compliquée (que les élèves ne devront pas mémoriser) correspondant à une situation où il n'y a pas proportionnalité tout en travaillant les conversions d'unités et les applications numériques.

Travailler les registres de représentation

Parmi les registres de représentation fréquemment employés, le tracé et l'exploitation d'un graphique créent de nombreuses difficultés, y compris au lycée. L'utilisation du tableur est très fréquente en physique-chimie dans les séances de TP car il présente l'avantage de calculer quasi-instantanément de nouvelles grandeurs et d'afficher toutes les représentations souhaitées par l'utilisateur, ce qui permet d'augmenter le nombre de mesures. La modélisation est également très rapide. Néanmoins, tous les élèves ne maîtrisent pas l'interprétation des graphiques obtenus. Ils utilisent des fiches techniques pour effectuer le travail demandé sans une réelle compréhension des concepts sous-jacents et du phénomène étudié. Malgré le gain de temps évident, il semblerait que les élèves s'approprient parfois mieux le sens de l'étude **en traçant le graphique sur une feuille de papier millimétré** car ils sont amenés à réfléchir aux grandeurs, aux échelles et au report des points. C'est par

exemple le cas pour l'étude de la diffraction de la lumière par une fente lorsqu'il faut représenter la largeur de la tache centrale de diffraction en fonction de l'inverse de la largeur de la fente. D'ailleurs, pour la filière S, il arrive encore parfois que certains sujets de baccalauréat nécessitent de tracer un graphique sur une feuille de papier millimétré.

D'autres aides

Le livret méthodologique du groupe TraAM

Le livret méthodologique numérique du groupe TraAM 2016-2017 de notre académie contient des **ressources méthodologiques** et des **exercices interactifs autonomes** pour travailler des compétences en lien avec les mathématiques :

- reconnaître et utiliser la proportionnalité
- convertir des unités
- construire un graphique sur papier millimétré
- manipuler une expression littérale

Adresse du site : <http://www.ac-grenoble.fr/disciplines/spc/articles.php?lng=fr&pg=100>

Des outils numériques

Lorsque plusieurs paramètres ont une influence sur un phénomène, utiliser une **simulation** permet d'obtenir **plusieurs représentations du phénomène étudié**. La simulation ne remplace pas l'expérience, mais la complète en **réalisant rapidement des tests supplémentaires**. Elle peut ainsi aider les élèves à avoir une meilleure compréhension du phénomène et à

s'appropriier des concepts délicats. Néanmoins, pour que son utilisation soit pertinente, les élèves doivent être conscients qu'ils n'ont pas effectué une expérience et qu'ils visualisent une modélisation et non la réalité. Parmi les nombreux logiciels de simulation disponibles, nous pouvons citer le site de PhET. Plusieurs simulations concernent des notions mathématiques comme l'addition de deux vecteurs et la dérivée.

- Adresse du site : <https://phet.colorado.edu/fr/>

- Addition de vecteurs :
https://phet.colorado.edu/sims/vector-addition/vector-addition_fr.html

- Dérivée :
https://phet.colorado.edu/sims/calculus-grapher/calculus-grapher_fr.html

Une publication rédigée par le GRIESP (Groupe de Recherche et d'Innovation dans l'Enseignement des Sciences Physiques) présente les avantages des **logiciels de géométrie dynamique** comme Géogebra pour l'enseignement de la physique-chimie [18]. En effet, cet outil répandu en mathématiques permet de tracer une construction graphique puis de l'utiliser comme animation afin de voir son évolution en faisant varier l'un des paramètres (exemple : cas de la chute libre).

La méthode des graphes formels

La méthode développée par Eric Vieil sur les graphes formels à l'Université commence à être utilisée dans le secondaire, notamment par plusieurs collègues de la Cité Scolaire Europole [19].

RÉFÉRENCES

- [1] **Séminaire « Construction des croisements didactiques en mathématiques et physique-chimie au collège »**. 10 mars 2017. Vidéos et ressources du séminaire disponibles sur eduscol : <http://eduscol.education.fr/cid115245/interdisciplinarite-maths-et-physique-chimie-au-college.html>
- [2] MALAFOSSE D., LEROUGE A. & DUSSEAU J.-M. (2001). **Étude en inter-didactique des mathématiques et de la physique de l'acquisition de la loi d'Ohm au collège : espace de réalité**. *Didaskalia*, n° 16, p. 81-106.
- [3] BARBET-MASSIN R., BRUNEL Y, BOISSÉ P., BOUYRIE G., OLIVIER S., PARBELLE V. et VINCE J. (2016). **Groupe de réflexion interassociations sur l'enseignement de la physique au lycée-Quelques propositions**. *Bull. Un. Phys*, vol. 110, n° 980, p. 165-182.
- [4] LUCAS-FRADIN L. et AMITRANO J.-M. (2015). **Projet pédagogique : séances bidisciplinaires en terminale S**. *Bull. Un. Phys*, vol. 19, n° 975, p. 869-878.

- [5] « **Quelles compétences mathématiques sont sollicitées en physique-chimie et SVT au lycée, et nécessaires pour la licence ?** ». Document rédigé par les groupes de liaison lycée-université de l'académie de Créteil. Septembre 2016. Disponible à l'adresse : <http://pc.ac-creteil.fr/spip.php?article590>
- [6] **Aménagement du programme de physique-chimie de seconde.** Disponible sur éducol : http://cache.media.education.gouv.fr/file/18/95/5/ensel512_physique_757955.pdf
- [7] BALDY E., DUSSEAU J.-M. et DURAND-GUERRIER V. (2007). **Mathématiques et physique en classe de troisième : l'exemple de la proportionnalité.** *Repères-IREM*, n° 66, p. 73-82.
- [8] DUVAL R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine.* Berne: Peter Lang.
- [9] MALAFOSSE D., LEROUGE A. & DUSSEAU J.-M. (2000). **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*, n° 18, p. 61-98.
- [10] « **Expérimentation et modélisation, la place du langage mathématique en physique-chimie** ». Document du GRIESP. Octobre 2016. Disponible sur éducol : http://eduscol.education.fr/fileadmin/user_upload/Physique-chimie/PDF/experimentation-modelisation-place-langage-mathematique-physique-chimie.pdf
- [11] RUFFENACH M. et COURTILLOT D. (2009). *Enseigner les sciences physiques-L'enseignement par compétences.* Éditions Bordas.
- [12] DUVAL R. (2003). **Comment analyser le fonctionnement représentationnel des tableaux et leur diversité ?** *SPIRALE - Revue de Recherches en Éducation*, n° 32, p. 7-31.
- [13] « **Rapprochements didactiques entre trois disciplines scientifiques dans la continuité [bac-3 ; bac+3]** ». Document de l'IGEN. Octobre 2014. Disponible sur éducol : https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Mathematiques/29/9/Ressources_Math_Rapprochements_didactiques_Maths-PHCH-SI_359299.pdf
- [14] « **Mathématiques physique-chimie série STL** ». Document de l'IGEN. Octobre 2014. Disponible sur éducol : https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Mathematiques/85/9/Ressources_Premiere_STL_Maths-PC_222859.pdf
- [15] ROLLINDE E. (2016). **Enseigner la physique et les mathématiques autrement-EU-HOU, Hands-On Universe.** *Bull. Un. Phys*, vol. 110, n° 983, p. 469-496.
- [16] « **Résoudre des problèmes de proportionnalité** ». Ressources d'accompagnement du programme de mathématiques. Disponibles sur éducol :
 Au cycle 4 : https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Proportionnalite_/09/2/RA16_C4_MATH_RESOU_PROPO_555092.pdf
 Au cycle 3 : https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Proportionnalite/95/5/RA16_C3_MATH_doc_maitre_proport_N.D_576955.pdf
- [17] « **La guirlande électrique** ». Ressources d'accompagnement du programme de physique-chimie au cycle 4.
 Sans graphique : https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Physique_Chimie/59/8/EV16_C4_PhysChim_guirlande_electrique_749598.pdf
 Version graphique : https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Physique_Chimie/60/0/EV16_C4_PhysChim_guirlande_electrique_graph_749600.pdf
- [18] « **L'utilisation d'un logiciel de géométrie dynamique, un atout pour l'enseignement de la physique-chimie** ». Document du GRIESP. Septembre 2016. Disponible sur éducol : http://eduscol.education.fr/fileadmin/user_upload/Physique-chimie/PDF/utilisation_logiciel_geometrie_dynamique.pdf
- [19] « **De la physique sans équations ...** ». Article sur les travaux d'Éric Vieil. Juin 2014. Disponible sur le site EchoSciences Grenoble : <https://www.echosciences-grenoble.fr/articles/de-la-physique-sans-equations>