

Projet pédagogique : séances bi-disciplinaires en terminale S

Laure Lucas-Fradin(*) & Jean-Marie Amitrano()**

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'une réflexion menée au lycée franco australien de Canberra sur le sens des apprentissages scientifiques et leurs cohérences dans les disciplines scientifiques au lycée.

Disciplines concernées	Mathématiques et sciences physiques.
Elèves concernés	Une classe de terminale S.
Professeurs concernés	Les professeurs de mathématiques et de sciences physiques de terminale S.
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> - Déconstruire les frontières interdisciplinaires. - Faciliter un glissement des compétences d'une matière à l'autre. - Comprendre l'interaction entre les deux disciplines. - Ouvrir à d'autres notions hors programme pour promouvoir la curiosité scientifique.
Organisation	Selon les séances, les professeurs forment des îlots hétérogènes de 2 ou 3 élèves.
Mise en œuvre du projet	Proposer aux élèves un problème issu des sciences physiques dont la résolution nécessite des notions mathématiques du programme de première, terminale ou bac+1.
Fréquence	Une séance de deux heures chaque mois, soit entre 8 et 10 séances dans l'année scolaire
Support horaire	Accompagnement Personnalisé.

1. Pourquoi des séances bi-disciplinaires ?

Partis du constat qu'il est très difficile pour le professeur de mathématiques d'aborder toutes les notions dont les professeurs de sciences ont besoin dans le temps demandé, nous avons réfléchi à un mécanisme qui permettrait au professeur de sciences physiques de construire une progression cohérente, sans pour autant priver les élèves de l'introduction épistémologique et mathématique de ces notions.

Lors de la mise en œuvre des programmes de 2002 et 2012, nous avons constaté que la plupart des élèves de terminale S faisaient difficilement le lien entre les notions étudiées dans les deux disciplines, ces notions étant étudiées quelquefois de façons assez différentes. Nous pouvons citer à titre d'exemple les deux façons équivalentes mais différentes dans la forme d'exploitation d'une égalité vectorielle (projection sur les axes du repère pour le professeur de sciences physiques ou égalité des coordonnées de vecteurs égaux pour le professeur de mathématiques), mais nous pourrions aussi évoquer de nombreux points de vocabulaire : par exemple, le sens du substantif « hypothèse » est différent dans les deux disciplines.

(*) Professeur de sciences physiques. laure.lucas-fradin@ed.act.edu.au

(**) Professeur de mathématiques. jean.amitrano@ed.act.edu.au

Sans harmonisation entre les professeurs des deux disciplines, des confusions peuvent s'installer dans l'esprit des élèves. Le professeur de mathématiques présente régulièrement des notions que les élèves ont déjà utilisées en sciences (de l'exponentielle au logarithme, en passant par les fonctions circulaires ou les primitives). Le professeur de sciences physiques se trouve ainsi dans l'obligation de faire une introduction mathématique avant d'aborder son sujet d'étude. Certains élèves se trouvent alors confrontés à la double difficulté de comprendre le phénomène physique tout en s'appropriant des notions mathématiques qu'ils découvrent. D'autres élèves au contraire ne ressentiront plus la nécessité de formaliser les connaissances en cours de mathématiques lorsque celles-ci sont abordées plus tard dans l'année. Enfin, le formalisme utilisé en sciences physiques utilise parfois des raccourcis dont les élèves ne comprennent pas les subtilités et que le professeur de physique ne veut pas approfondir, faute de temps. Le professeur de mathématiques devra rebâtir un savoir déjà entaché d'erreur ou d'approximation dans l'esprit de l'élève.

Pour tenter de remédier à ces difficultés, nous avons choisi d'offrir cette année aux élèves, à titre expérimental, des séances bi-disciplinaires mathématiques-sciences physiques durant lesquelles les deux professeurs sont présents dans la classe et guident les élèves dans leur travail. Les choix des thèmes des séances ont été guidés par les questions posées par les élèves les années précédentes, mais aussi par le programme de mathématiques entré en vigueur à la rentrée de septembre 2012. Ce programme suggère en effet dans ses commentaires quelques thèmes transversaux pouvant créer des ponts entre les disciplines expérimentales et les mathématiques.

2. Les thèmes retenus

Nous avons choisi de retenir les thèmes de travail suivants. Cette liste n'est pas exhaustive et nous restons attentifs aux difficultés rencontrées par les élèves pour la faire évoluer au cours de cette année. Nous l'avons également fait évoluer en tenant compte de la progression dans les deux matières. Nous aurions enfin aimé avoir un meilleur équilibre entre physique et chimie sur les activités mais compte tenu des programmes, cela nous semble difficile.

- Thème 1 Ondes progressives, ondes stationnaires
Fonctions circulaires, périodicité
- Thème 2 Forces et vecteurs, accélérations
Somme de vecteurs - Coordonnées - Primitives
- Thème 3 Trajectoire d'un projectile dans un champ de gravitation uniforme.
Paraboles - Trajectoire - Courbes paramétrées
- Thème 4 Oscillateurs
Équations différentielles - Fonction exponentielle
- Thème 5 Théorie de la relativité restreinte. Facteur de Lorentz. Durée de vie des muons
Approximation affine, équation différentielle

- Thème 6 pH et pKa – échelle logarithmique
- Thème 7 Mouvements des astres dans l'espace
- Thème 8 Produit scalaire et travail
- Thème 9 Analyse du laser : incertitudes. Physique statistique et thermodynamique
Probabilités
- Thème 10 Produit vectoriel et repères dans l'espace
- Thème 11 Énergie potentielle de pesanteur.
- Thème 12 Chiralité et géométrie

3. Le déroulement d'une séance

- Les élèves se réunissent par îlots de 2 ou 3. Nous avons dans un premier temps laissé les élèves choisir leur groupe de travail, ce qui est revenu à créer des groupes de niveau. À partir de la deuxième séance, nous avons créé des groupes hétérogènes, ce qui s'est révélé bénéfique pour tous les élèves. Nous poursuivrons donc dans ce sens.
- Les deux professeurs (mathématiques et sciences physiques) sont présents pendant les deux heures. Il faut donc prévoir un emploi du temps qui permette cette organisation. Pendant les deux heures, les professeurs aident les élèves à mettre en relation les deux disciplines et apportent leur point de vue sur chacune des questions que les groupes se posent, que la question relève plutôt des mathématiques ou plutôt des sciences physiques.
- Les élèves disposent d'une fiche de travail sur laquelle les questions de sciences physiques et de mathématiques s'entremêlent. Dans les premières fiches nous indiquions clairement s'il s'agissait de question de mathématiques ou de sciences physiques. Mais à partir de la séance 4 nous avons décidé de ne plus l'indiquer afin de déconstruire encore davantage la frontière entre les deux disciplines.
- À la fin des deux heures (ou quelquefois après un travail en temps libre), chaque groupe rend aux professeurs le compte rendu de son travail.
- Chaque professeur corrige les questions le concernant plus directement et une note à faible coefficient est attribuée au groupe. Chaque élève du groupe reçoit alors cette note en mathématiques et en sciences physiques.

4. La préparation d'une séance

Il s'agit d'un moment très important et très riche d'échange entre les deux professeurs. Le point de départ est toujours une notion du programme de terminale S en sciences physiques (par exemple, les ondes progressives pour la séance n° 1, le coefficient g en relativité pour la séance n° 5). Le professeur de sciences physiques crée une trame de travail (avec ou sans expérience) dans laquelle le professeur de mathématiques insère les notions en jeu (du programme de PremièreS, TS ou bac + 1). Il s'agit donc en mathématiques de révisions (par exemple le second degré), de consolidation (les fonctions circulaires), d'introduction d'une notion de terminale non encore abordée (les primitives) ou d'approfondissement (les équations

différentielles). Pour les deux professeurs c'est ce moment d'échanges préalables, de discussions qui est au cœur du projet. Chacun peut confronter sa vision des notions abordées à celle de son collègue. Pour le professeur de sciences physiques, les énoncés partent toujours d'un exercice à orientation mathématique. Le but étant d'organiser l'exercice de manière à pouvoir justifier certaines des méthodes utilisées en sciences physiques par les raisonnements mathématiques. L'interaction entre les deux matières se doit d'être explicite afin que l'élève ne soit plus confronté à des possibles contradictions ou simplifications (évidentes pour les professeurs, mais que l'on demande souvent d'admettre aux élèves). La curiosité de l'élève est d'ailleurs clairement stimulée. Les mécanismes de glissement paraissent naturels. Certaines notions non abordées dans ces séances, mais reliées indirectement, sont également bénéficiaires de ce travail. La logique scientifique est mise en lumière.

5. Un exemple de problème

Le coefficient γ en relativité

1. Le facteur γ défini par :

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

permet d'évaluer l'écart entre la durée mesurée par une horloge embarquée et celle mesurée par une horloge immobile. On l'appelle facteur de Lorentz.

Calculer et rassembler dans un tableau les valeurs de γ pour des horloges liées aux systèmes suivants :

Horloge	Valeur de γ avec ... chiffres significatifs
Un TGV qui avance à 300 km.h ⁻¹ par rapport au sol terrestre	
l'Airbus A380, à la vitesse de 900 km.h ⁻¹ par rapport au sol terrestre	
la fusée Ariane 5, à la vitesse de 8000 km.h ⁻¹ par rapport au centre de la Terre	
Apollo 11, à la vitesse de 40 000 km.h ⁻¹ par rapport au centre de la Terre	
un proton sortant de l'accélérateur du PSI (Paul Scherrer Institut) à une vitesse égale à 79% de celle de la lumière dans le vide	
un proton sortant de l'accélérateur du LHC (Large Hadron Collider) à une vitesse égale à 99,9999991% de celle de la lumière dans le vide.	

2. On appelle f la fonction définie sur $]0; 1[$ par : $f(x) = \frac{x}{\sqrt{1-x^2}}$.

- a. On admet que cette fonction est dérivable sur son ensemble de définition.

Calculer $f'(x)$ à l'aide du logiciel de calcul formel Xcas ou de la calculatrice formelle.

Simplifier le résultat jusqu'à obtenir une écriture fractionnaire (sans exposant négatif et sans racine carrée au numérateur)

$$f'(x) = \dots\dots\dots$$

- b. En déduire les variations de la fonction f sur son intervalle de définition.

c. Rappel : Approximation affine

Si f est une fonction dérivable en un point a de son ensemble de définition, alors si h est un nombre réel « proche de 0 » tel que $a + h$ appartienne à l'ensemble de définition, on a :

$$f(a+h) \approx \dots\dots\dots$$

Déterminer une approximation affine de la fonction f au voisinage de 0.

- d. En déduire que si v est petit devant c , alors γ est proche de 1.
- e. Tracer avec la calculatrice une allure de la courbe représentative de la fonction f .
Déterminer les valeurs de x (arrondies au millième) à partir desquelles $f(x)$ vérifie les conditions suivantes.

$f(x) > \dots$	1,01	1,1	1,5	2
$x > \dots$				

En déduire dans le tableau suivant les valeurs de la vitesse v pour lesquelles le facteur de Lorentz γ modifie de $p\%$ le résultat d'une mesure de durée par rapport à la prévision classique.

$p =$	1	10	50	100
$v \approx$				

- 3. Exploiter les valeurs obtenues pour déterminer, parmi les situations évoquées, celle(s) qui appartiennent au champ de validité de la physique de Newton et celle(s) qui ne sont correctement interprétées que par la physique d'Einstein.
- 4. Quelle propriété du facteur γ permet de comprendre que, dans de très nombreuses situations, la mécanique de Newton reste pertinente.

6. Après la séance

Les difficultés

En deux heures, il est difficile de faire une expérience, construire ou reconstruire une ou deux notions mathématiques et leur exploitation en sciences physiques, ce qui correspond en fait à un problème. Nous sommes donc parfois frustrés de ne pas pouvoir aller plus loin.

Au bout de deux heures, les élèves sont en général fatigués (ils sont vraiment en pleine réflexion pendant ces deux heures) et il est difficile de les récupérer et de les faire passer à une autre activité.

Nous sommes conscients que nous avons la chance d'enseigner avec des effectifs réduits et nous ne savons donc pas comment réagirait une classe habituelle. Cependant, nos élèves ne sont pas toujours très dynamiques et motivés en cours « classique » et nous avons remarqué que ces séances les éveillaient.

Les avantages

Les élèves ont d'abord été perturbés par la première séance, d'autant plus que nous avons été ambitieux d'un point de vue scientifique. À partir de la troisième séance, nous trouvons les élèves habitués à la démarche et très intéressés. Ils sont plus indépendants, arrivent à prendre plus de recul et à mettre en correspondance les notions vues dans une matière pour se les approprier et les réinvestir dans l'autre matière. Ils commencent à suivre le fil, à voir la progression. Leur motivation vis-à-

vis de ces activités a augmenté et ils veulent même parfois aller plus loin dans les notions. En Sciences Physiques, les élèves ont moins de mal à interpréter un résultat et à le comprendre, à se l'approprier.

Le point de vue du professeur de sciences physiques

« D'un point de vue personnel, ces séances et leur préparation m'apportent beaucoup de satisfaction et mettent en perspective mon enseignement. Je me rends compte, de nouveau, de la proximité des deux matières et en même temps des différences dans les points de vue des deux matières. La préparation requiert également des temps d'échange très enrichissants, réveillant ainsi la curiosité. »

Le point de vue du professeur de mathématiques

« J'ai découvert, ou redécouvert, l'approche du professeur de sciences physiques dans la présentation de son sujet. J'ai pu mesurer combien nos deux disciplines gagneraient à être enseignées de façon interconnectée. Leur proximité et leur différence permettent de créer des activités riches mettant en relief la démarche scientifique dans sa globalité. »

7. Publication et suivi du travail

Si vous souhaitez en savoir plus, les fiches de travail sont publiées au fur et à mesure sur l'espace internet du lycée franco-australien à l'adresse :

http://www.lyceeFrancoAustralien-EFS.org/Espace_maths

Les cinq premières fiches sont consultables sur le site internet de l'APMEP.

Fiche 1 : ondes stationnaires – ondes progressives

Fiche 2 : mouvement et forces

Fiche 3 : mouvement parabolique

Fiche 4 : oscillateurs

Fiche 5 : relativité

N'hésitez pas à nous contacter directement à nos adresses emails si vous avez une idée de séance ou si vous souhaitez critiquer, améliorer certaines de nos approches.