

Activité 7

Les ondes, les séries de Fourier et la musique

Par André Blais

Activité réalisée
au Collège André-Grasset

Primée au concours « Sortir des sentiers battus »
organisé par le Saut quantique en collaboration avec
Merck Frosst Canada & Cie et l'Ordre des ingénieurs du Québec
dans la catégorie : *Amener les élèves à établir des liens entre la science,
la technologie et la société (discipline principale : physique)*

Activité 7

Les ondes, les séries de Fourier et la musique

Par André Blais

Collège André-Grasset

Note : Dans ces textes, le générique masculin est utilisé seul, sans aucune discrimination et dans le seul but d'alléger le texte.

Les annexes en format PDF se retrouvent dans le cédérom qui accompagne ce recueil.

De plus, vous pouvez vous les procurer en format Word dans la section « Trésors pédagogiques » — Coffre aux trésors pédagogiques — du site Internet du Saut quantique à l'adresse URL : <http://www.apsq.org/sautquantique>. Vous pouvez aussi consulter une analyse pédagogique de cette activité aux mêmes endroits.

Les auteurs autorisent toute utilisation de ce texte à des fins pédagogiques, pourvu qu'il y ait mention des auteurs.

Le respect de ces recommandations encouragera les auteurs à partager leur expérience.

Vous pouvez communiquer avec l'auteur à l'adresse électronique : ablais@grasset.qc.ca pour plus d'information ou pour tout commentaire.

Activité 7

Les ondes, les séries de Fourier et la musique

Introduction

L'activité consiste à utiliser les séries de Fourier comme thème intégrateur de plusieurs volets du programme *Sciences de la nature* et comme ouverture à la musique. L'élève doit apprendre par lui-même, et en équipe, ce qu'est le théorème et la série de Fourier tout en utilisant les acquis de mathématiques, d'informatique et de physique. Il applique ensuite ses connaissances à la musique et à la technologie de reproduction des sons. Il doit également appliquer, à l'aide des séries de Fourier, ses connaissances acquises en électricité pour fabriquer des filtres et analyser l'effet sur les sons. Le professeur gère l'activité, encadre et motive les élèves dans leur cheminement. Il garde constamment en tête que les élèves sont en train d'apprendre à apprendre.

Les élèves visés par cette activité terminent un profil de sciences pures et appliquées dans le programme *Sciences de la nature*. Ils sont inscrits dans un cours de quarante-cinq heures portant sur l'intégration des sciences. L'activité, d'une durée d'environ cinq semaines, a eu lieu pour la première fois à l'hiver 2001; elle s'adressait à deux groupes de vingt-quatre élèves en moyenne. Nous croyons qu'il vaut mieux ne pas dépasser ce nombre. Une grande partie du travail se fait aux laboratoires de physique et d'informatique. L'activité mène à un examen la semaine suivant la remise du travail. Le tout vaut 35 % de la note totale du cours. Trois autres activités complètent le cours : application des mathématiques en physique, construction d'un appareil radio et présentation sur *PowerPoint* d'un sujet scientifique.

Le professeur pourra illustrer l'analyse ou la synthèse à l'aide d'un synthétiseur et d'un oscilloscope. On peut ajouter plus de couleurs avec des instruments de musique. Bien souvent, il y a des musiciens dans le groupe, incluant le professeur!

Objectifs pédagogiques

Par cette activité, nous visons à améliorer l'intégration des connaissances de l'élève, plus particulièrement l'utilisation des mathématiques en sciences et les applications expérimentales. De plus, nous souhaitons développer son autonomie et son assurance devant un nouveau problème à résoudre. Il aura aussi la chance de travailler en équipe et ainsi découvrir l'importance des pairs dans son apprentissage et ses recherches.

Cette activité s'inscrit dans un cours qui vient en quelque sorte couronner le programme *Sciences de la nature*. Elle permet à l'élève de fouiller dans sa boîte à outils de mathématiques, d'informatique et de physique pour illustrer une partie de la richesse acquise dans le programme. Lors des cours plus traditionnels, l'élève n'a pas toujours la chance de bâtir lui-même son apprentissage et de prolonger ses acquis à l'extérieur de la salle de classe ou du laboratoire. Il n'a pas souvent l'occasion de tisser lui-même des liens multiples entre ses cours et le monde qui l'entoure. Cette activité lui permet de transférer ses apprentissages du laboratoire d'informatique à ses cours de calcul différentiel et intégral, à ses cours de physique sur les ondes ainsi qu'à ceux de physique électrique. En plus, elle facilite l'analyse d'une note de musique produite par divers instruments (ex. synthétiseur électronique) et la compréhension de la technologie de reproduction de la musique. Cette diversité a emballé les élèves.

Relation avec le programme des élèves

Voici les buts généraux du programme *Sciences de la nature* touchés par cette activité.

Formation spécifique

- **Appliquer la démarche scientifique**

L'élève doit, dans les activités au laboratoire de physique, effectuer plusieurs observations et recueillir des données. Il lui faut, à partir de ces données, formuler les bonnes hypothèses et effectuer par la suite les bonnes vérifications. Il doit, dans certains cas, élaborer lui-même les montages et utiliser correctement les appareils de mesure. Par la suite, il doit déduire les résultats et les interpréter correctement. Ce travail se fait particulièrement lors de l'étude sur les filtres.

- **Utiliser des technologies appropriées de traitement de l'information**

L'élève doit utiliser le langage symbolique *Maple* et un traitement de texte. *Maple* lui permet notamment de faire une démonstration de la synthèse de Fourier et d'animer la simulation. Il présente le travail sur papier et il l'envoie au professeur par courriel.

- **Raisonnement avec rigueur**

L'élève doit présenter lui-même le théorème, l'analyse et la synthèse de Fourier. Il doit d'abord fouiller la documentation appropriée et repérer par la suite les idées importantes qu'il exprimera de façon claire et dans un ordre logique. Au laboratoire, la rigueur de pensée s'impose pour cheminer vers l'atteinte des objectifs visés.

- **Communiquer de façon claire et précise**

Pour structurer son travail, l'élève doit d'abord s'exprimer clairement dans son équipe. Il doit lire plusieurs textes et ensuite écrire sa présentation de façon claire et logique dans un français correct.

- **Apprendre de façon autonome**

L'élève doit faire preuve de beaucoup d'autonomie. Aucun cours, aucun plan ne lui sera donné. Il doit trouver lui-même la documentation et l'organiser logiquement. Il doit planifier son travail pour réaliser le projet qu'on lui présente. Il doit lui-même élaborer la seconde expérience sur les filtres au laboratoire de physique.

- **Travailler en équipe**

Tout le travail se fait en équipe de trois élèves. Chacun doit établir une bonne communication avec les autres membres de l'équipe pour obtenir un fonctionnement adéquat. Plusieurs rôles peuvent se dessiner dans l'équipe, par exemple, un membre assume le leadership au départ, un autre collabore de façon hors pair, un troisième encourage le groupe sur le bord de la déprime et relance le travail sur la bonne voie. Il faut apprendre à travailler en équipe!

- **Établir des liens entre la science, la technologie et l'évolution de la société**

En utilisant plusieurs outils mathématiques, physiques et informatiques, l'élève tisse des liens entre la science et la technologie. De plus, le sujet l'amène vers la musique, un art omniprésent dans notre société. La technologie se présente alors comme un outil pour la société qui apprécie cet art dans son environnement quotidien. L'élève analyse la production de quelques instruments de musique dont le synthétiseur. Il étudie également la numérisation des sons (disque compact, ordinateur...).

- **Adopter des attitudes utiles au travail scientifique**

Ce projet développe chez l'élève des attitudes et des qualités utiles à un scientifique. Le problème au départ semble énorme : *il faut persévérer*. On ne trouve pas toujours sur-le-champ ce dont on a besoin : *il faut maintenir un effort soutenu*. Il faut présenter une démonstration de la synthèse de Fourier à

l'aide de *Maple* : l'élève doit faire preuve de créativité. Travailler en équipe n'est pas toujours facile : l'élève utilise plus de sous-pelles et fait montre d'esprit d'entraide. Il faut choisir parmi l'amoncellement d'informations colligées : il développe son esprit critique.

- **Traiter des situations nouvelles à partir de ses acquis**

Cet objectif se trouve au cœur du projet. Voici quelques exemples :

L'élève va puiser, dans ses cours de mathématiques, l'information sur les dérivées, les intégrales et les séries; il tire de ses cours de physique les informations nécessaires sur les ondes et les circuits RC; il utilise de son bagage informatique ce qu'il a appris sur Internet, sur *Maple* et sur *Word*. Il développera des outils mathématiques avec les séries de Fourier, une meilleure compréhension des ondes avec l'analyse de Fourier, des outils physiques avec les filtres RC et des outils informatiques avec la numérisation des valeurs analogiques. Il possédera une meilleure compréhension des instruments de musique et apprendra le fonctionnement de base d'un synthétiseur.

Formation générale

Du côté de la formation générale, le projet demande à l'élève de présenter un rapport structuré dans une langue de qualité. Cette maîtrise de la langue lui permet de communiquer ses idées et ses arguments de façon claire.

L'élève doit trouver des documents lui permettant de bien comprendre le sujet. La majorité de la documentation est en anglais. Il doit donc bien comprendre cette langue. Il notera ainsi son importance en sciences et en technologie.

Le projet lui permet aussi de s'ouvrir au monde de la musique, un domaine fort différent des sciences. L'élève remarquera ainsi que des liens existent entre les arts et les sciences.

Pertinence de l'activité

Cette activité a lieu dans un cours dédié à l'intégration des mathématiques et des sciences et elle cible avec succès, selon nous, plusieurs buts généraux du programme *Sciences de la nature*.

L'activité met en valeur plusieurs liens entre les cours du programme; l'élève utilise notamment les concepts ou les outils suivants :

- Dérivées, intégrales et séries (*Calcul différentiel et intégral*);
- Ondes (*Ondes, optique et physique moderne*);
- Circuits filtres (circuits RC, *Électricité et magnétisme*);
- Informatique : programmation (langage symbolique *Maple*), Internet, traitement de texte, courriel...

Éléments du profil d'entrée

Les élèves qui abordent ce projet doivent avoir réussi les cours de mathématiques NYA, NYB et NYC et les cours de physique NYA et NYB. De plus, il doit avoir suivi ou être en train de suivre *Mathématiques 303 (Calcul différentiel et intégral III)* et physique NYC.

Objectifs du profil de sortie

L'activité rejoint plusieurs éléments du profil de sortie en sciences pures et appliquées.

L'élève doit :

- Maîtriser les outils du calcul différentiel et intégral en sciences;
- Maîtriser les éléments de base d'un langage de programmation symbolique (*Maple*);
- Faire montre d'assurance et d'autonomie au laboratoire.

Encadrement pédagogique et directives aux élèves

Le professeur joue le rôle de guide et de gestionnaire dans ce projet en présentant les différents documents aux élèves : *Guide présentant le projet* (annexe E.1) incluant les directives, le protocole de laboratoire : *Le Filtre RC passe-bas*, les instructions pour remplir un cahier de bord et des sites Internet intéressants à consulter.

Le professeur doit donc maîtriser les concepts et les outils suivants : calcul différentiel et intégral, circuits RC et filtres RC, ondes sonores, séries de Fourier, langage *Maple*. Il veille à la formation des équipes et à la préparation de l'équipement aux laboratoires de physique et d'informatique.

L'activité dure environ cinq semaines, à raison de six heures par semaine (cours 0-3-3). Le professeur devrait être disponible trois heures par semaine; les élèves ajoutent environ trois heures de travail personnel. Nous avons formé des équipes de trois. Chaque équipe était composée par les élèves à partir de trois groupes égaux (A, B et C) de telle sorte que chaque équipe comptait un élève fort (groupe A), un élève moyen (groupe B) et un élève moins fort (groupe C). Pour classer les élèves, nous avons utilisé les résultats dans les cours de mathématiques et de physique qui précédaient cette activité. Les élèves ne connaissaient pas l'origine de la formation des groupes.

Le professeur prépare des exemples d'une médiagraphie possible, essentiellement une liste de sites Internet, le tout placé sur le réseau

informatique du collège. Il doit s'assurer de la disponibilité de l'équipement des laboratoires d'informatique et de physique aux moments opportuns.

Description du matériel

Les élèves doivent avoir accès à un ordinateur branché sur Internet et doté d'un traitement de texte et de *Maple* (ou l'équivalent). Le laboratoire de physique doit posséder, pour chaque groupe, un générateur d'ondes audio, un oscilloscope, des résistances et des condensateurs de valeurs courantes.

Matériel nécessaire pour les élèves

Annexe E.1 : *Guide pour les élèves, Projet : Ondes, Série de Fourier et Musique.*

Matériel pour le professeur

Annexe P.1 : *Deuxième examen intra.*

Annexe P.2 : *Résumé des résultats d'une mini enquête auprès des élèves.*

Note : Les annexes en format PDF se retrouvent dans le cédérom qui accompagne ce recueil. De plus, vous pouvez vous les procurer en format Word dans la section « Trésors pédagogiques » — « Coffre aux trésors pédagogiques » — du site Internet du Saut quantique à l'adresse URL : <http://www.apsq.org/sautquantique>. Vous pouvez aussi vous procurer une analyse pédagogique de cette activité aux mêmes endroits.