

Mathématiques et ExAO

François Moussavou^(*)

Ce texte retrace succinctement un travail réalisé par le groupe lycée professionnel de l'IREM d'Aix-Marseille à la fin des années 2 000 avec des classes préparant des spécialités industrielles du baccalauréat professionnel. En effet, une grande partie des spécialités de baccalauréats des secteurs tertiaires n'ont pas d'enseignement de sciences physiques.

Dans ce texte, pour des raisons d'habitude de langage, on utilisera préférentiellement le terme d'ExAO (expérimentation assistée par ordinateur) à celui d'ATIDEx (acquisition et traitement informatique de données expérimentales), bien que ce dernier soit plus adapté à la description des pratiques effectives en lycée professionnel.

1. L'ExAO dans les classes préparant au baccalauréat professionnel

L'utilisation de l'expérimentation assistée par ordinateur pour l'enseignement des sciences physiques dans les classes préparant au baccalauréat professionnel est une pratique ancienne. Le diplôme du baccalauréat professionnel a été créé en 1985 ; les premières sessions de cet examen, alors préparé en deux ans après, généralement après l'obtention d'un BEP, se sont déroulées en 1987 ; en 1995, une modification des modalités de certification conduit à une scission de l'épreuve de sciences physiques en deux parties : un écrit, noté sur 5 points et intégré à l'épreuve de mathématiques et une épreuve pratique, notée sur 10 points, appelée *formation méthodologique de base* qui consiste à réaliser, devant un examinateur, une expérience de physique ou de chimie à partir d'un protocole expérimental proposé dans le sujet. À partir de la session 2008 du baccalauréat, une nouvelle modification impose qu'au moins deux des sujets susceptibles d'être tirés au sort par les candidats lors de l'épreuve de *FMB*, comportent de l'ExAO. Cette injonction institutionnelle, généralement accompagnée de plans d'équipement ambitieux, a eu pour conséquence immédiate de faire passer l'utilisation de l'ordinateur en cours de maths-sciences du statut de recommandation à celui d'obligation. La pression de l'examen et l'accès facilité aux machines permettent de généraliser l'utilisation des outils numériques dans les classes.

2012 voit l'arrivée de la première génération de *bac pro 3 ans* (en réalité, deux générations d'élèves passent le baccalauréat professionnel la même année : les premiers *bac pro 3 ans* et les derniers *bac pro 2 ans*) et, avec elle, de nouveaux programmes, un nouveau règlement d'examen et de nouvelles modalités d'évaluation : l'ExAO redevient une recommandation et perd son caractère obligatoire, mais c'est pour l'épreuve de mathématiques que l'usage d'outils numériques devient obligatoire.

^(*) francois.moussavou@free.fr

Ce sont ces liens entre mathématiques et sciences physiques au travers des outils numériques que ce texte se propose d'interroger.

2. L'idée de départ : la convergence de logiciels

À l'origine de ce travail d'expérimentation du groupe lycée professionnel de l'IREM d'Aix-Marseille se trouvait une idée assez simple, appuyée par des constats partagés, à l'époque, par l'ensemble des membres du groupe :

Les élèves de lycée professionnel restaient souvent, malgré de bonnes intuitions et de bonnes intentions, pénalisés par leur déficit de maîtrise des techniques de calcul.

Les outils numériques en développement depuis le début des années 2 000 pouvaient permettre de pallier ce déficit. Durant l'année scolaire 2005-2006, une expérimentation visant à généraliser l'usage de calculatrices capables de faire du calcul formel, avait été menée par le groupe dans des classes de terminale professionnelle. Le bilan de cette expérimentation avait permis de conclure sur une plus-value évidente liée à l'utilisation de ce type d'outil, minorée par le temps nécessaire à l'acquisition d'une maîtrise et d'une autonomie suffisante des élèves face à leur calculatrice [1].

La généralisation de l'utilisation de tableurs et de graphes en cours de mathématiques, ainsi que l'évolution des logiciels d'ATIDEx, rendait ces familles d'outils de plus en plus proches ; mais leur complexité, liée à l'augmentation de leurs possibilités d'utilisation, allongeait également le temps nécessaire à leur prise en main.

À partir de là, se dessinait assez naturellement le concept de *Maths & ExAO* : utiliser le même logiciel pour faire un travail sur tableur ou grapheur en mathématiques et pour faire l'acquisition et le traitement informatique des données expérimentales en sciences physiques ; optimiser le temps investi dans la formation sur les outils numériques, en le mutualisant.

L'idée de départ de ce projet n'est donc pas **inter**, mais **trans**disciplinaire : il s'agissait, au départ, d'utiliser un même outil dans deux disciplines différentes sans pour autant faire un lien supplémentaire entre elles. Paradoxalement, cette idée va faire long feu mais sa tentative de mise en œuvre débouchera sur ce qui sera au final le véritable apport de cette expérimentation.

3. Premier constat, premier échec

Il y a au moins deux raisons qui ont fait que cette idée de *convergence de logiciels* n'a pas fonctionné.

La première est assez basique : la nature même de l'ExAO et le fait que les logiciels d'acquisitions soient liés aux capteurs permettant les mesures imposent que, dans ce projet, on ait été amené à faire des mathématiques avec un logiciel ExAO (et pas de l'ExAO avec des outils numériques dédiés aux mathématiques) ; or l'arrivée de logiciels de géométrie dynamique, intégrant les fonctionnalités d'un tableur et pouvant

facilement être utilisés comme grapheur, a placé les possibilités offertes par les logiciels d'ExAO bien trop loin des standards attendus pour les outils numériques du cours de mathématiques.

La seconde raison est davantage liée à l'orientation du projet initial : en restreignant la pratique des élèves à l'usage d'un seul logiciel, on a voulu les rendre experts et donc les affranchir des difficultés inhérentes à la mauvaise maîtrise des outils ; au lieu de cela, on les a en fait privés de très formateurs allers retours entre logiciel tableur, tableur de calculatrice, logiciel ExAO, grapheur, etc. *Ce jeu de cadres* [2] qui permettait aux élèves comprendre les outils en variant et leur forme (environnement spécifique pour chaque logiciel) et le champ d'application, disparaît en grande partie lorsque les outils ne sont plus qu'un seul et unique outil.

4. L'interdisciplinarité à la rescousse

Pour créer des situations propices à l'utilisation d'un logiciel d'ExAO dans le cours de mathématiques, on est assez naturellement et assez rapidement amené à faire des expériences modélisables par des fonctions ; au fur et à mesure que l'idée de départ axée sur les outils logiciels s'est avérée peu probante, la multiplication des situations permettant de travailler sur la notion de fonction à partir de l'exploitation de données expérimentales était, elle, très prometteuse. Pendant les trois années qu'ont duré ce projet, celui-ci est passé par différents stades : dans un premier temps, il y a eu une recherche plus ou moins systématique de phénomènes de sciences permettant d'introduire les différentes fonctions de référence du programme de mathématiques, puis dans un second temps et parallèlement à la poursuite de cette première quête, on s'est intéressé aux expériences du cours de sciences dont les résultats pourraient être exploités grâce à l'utilisation d'un modèle mathématique. On peut citer, dans un ordre quelconque :

- l'introduction des fonctions exponentielles à partir de l'étude de la décharge d'un condensateur,
- le lien entre les fonctions du second degré et les trajectoires d'objets lancés et étudiés en chronophotographie,
- l'illustration d'une utilisation des fonctions linéaires à travers le principe fondamental de l'hydrostatique ($P = \rho gh$) et des mesures de pression dans une éprouvette graduée,
- la détermination d'une valeur pour le zéro absolu basée sur la loi des gaz parfaits ($PV = nRT$) et les propriétés des fonctions affines,
- l'introduction des fonctions logarithmes par l'étude de la décroissance de l'intensité d'une source sonore dont on s'éloigne de façon régulière,
- fluctuation d'échantillonnage et répétition d'une même mesure,
- suites numériques et chute libre.

Un exemple de la richesse de ce type d'approche à travers une situation illustrant la résolution d'équations différentielles

Un tel sujet d'étude pouvait être proposé en cours de terminale pour les spécialités des métiers de l'énergie avant la réforme de 2009 et trouve aujourd'hui toute sa place dans ces mêmes classes dans les cours d'Enseignement Général Lié à la Spécialité [3].

Situation : La loi de refroidissement de Newton propose un modèle permettant de décrire l'évolution de la température d'un corps en train de refroidir à l'air libre ; elle dit que la vitesse de refroidissement de ce corps est proportionnelle à la différence entre la température de ce corps et la température du milieu ambiant dans lequel il se refroidit.

Problématique : Peut-on vérifier, expérimentalement, la validité d'un tel modèle ?

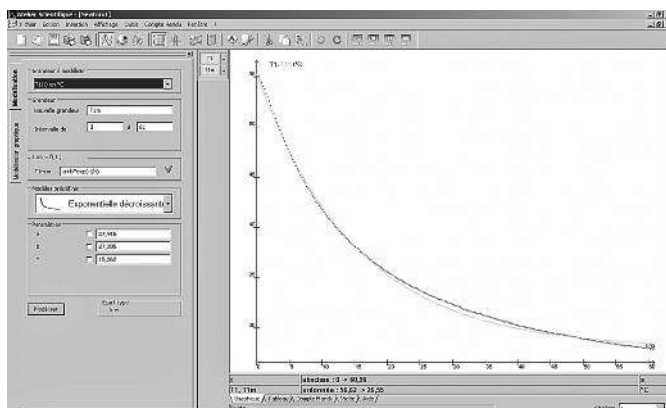
Expérience à réaliser

- Paramétrer le logiciel d'ExAO : en abscisse, le temps sur une durée de 1 minute ; en ordonnée la température en degrés Celsius.
- Mesurer (repérer) et noter la température T_{milieu} de la pièce.
- Verser de l'eau bouillante dans un bécher.
- Plonger la sonde d'un capteur température dans le bécher d'eau bouillante, la ressortir et la fixer, immobile, grâce à une pince à burette.
- Lancer l'acquisition et observer la courbe de refroidissement obtenue.

Remarque : pour les besoins de l'expérience, on ne mesure pas vraiment le refroidissement d'un corps, mais le refroidissement de la sonde d'un thermomètre. Du point de vue d'un cours de sciences physiques, il y aurait sans doute beaucoup à redire sur une telle expérimentation mais les résultats récupérés sont ceux dont le cours de mathématiques à besoin.

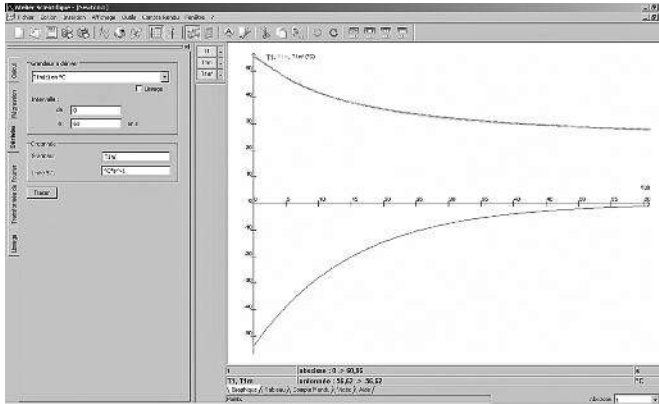
Exploitation des résultats expérimentaux

Courbe de refroidissement



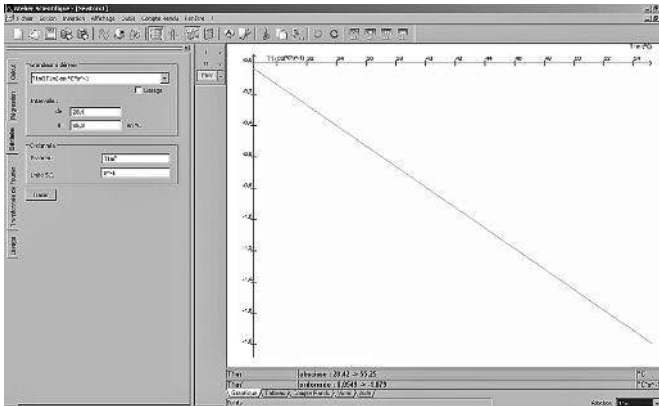
On modélise ces résultats par une exponentielle décroissante. La même courbe aurait pu être obtenue avec un thermomètre et un chronomètre, sans passer par l'ExAO mais en nettement plus de temps.

Visualisation de la vitesse de refroidissement



Une première exploitation des possibilités spécifiques de l'ExAO : le logiciel va nous permettre de dériver le modèle de refroidissement construit, par rapport au temps.

Vitesse de refroidissement en fonction de la température



Une seconde utilisation de l'ExAO : on peut placer n'importe quelle grandeur mesurée ou modélisée sur n'importe quel axe ; ici, on remplace le temps, en abscisse, par la température.

On peut utiliser cette situation pour, au choix, résoudre :

$$T(t) = T_{\text{milieu}} + (T(0) - T_{\text{milieu}}) e^{-\alpha t}$$

ou construire cette équation différentielle $T'(t) = -\alpha (T(t) - T_{\text{milieu}})$.

On a, ici, un phénomène physique simple à appréhender (le refroidissement d'un corps chaud) qui conduit à l'introduction ou à l'utilisation de notions mathématiques complexes que l'on peut « visualiser » grâce à l'ExAO.

5. En guise de conclusion

Un retour sur cette expérimentation menée à l'IREM d'Aix-Marseille il y a presque 10 ans permet d'illustrer une façon dont peut se créer une approche interdisciplinaire d'un enseignement.

Le lycée professionnel devrait être un lieu d'expression naturelle pour l'interdisciplinarité : le professeur de mathématiques et celui de sciences physiques sont la même personne, situation favorisant a priori grandement les échanges de point de vue. La présence des spécialités professionnelles incite fortement à contextualiser l'enseignement de ces deux disciplines. Les programmes en vigueur, appuyés par de nombreuses injonctions institutionnelles, prêtent volontiers au rapprochement des deux matières.

Pourtant ce projet, *Maths et ExAO*, a débouché sur une approche interdisciplinaire, au côté de pratiques de ce type, déjà présentes, alors que ce n'était pas son objectif de départ. Le rapprochement entre les deux disciplines (mathématiques et sciences physiques) s'est imposé « parce qu'il est là ». De nombreux collègues, de toutes les académies, ont réalisé une approche semblable (individuellement ou à partir de réflexions collectives) et ont construit le même style de productions.

Il reste intéressant d'observer que c'est une réflexion sur l'utilisation d'outils (numériques en l'occurrence) qui nous a amenés à interroger et modifier nos pratiques dans un cadre qui dépasse largement cette simple utilisation et qui nous a permis, en partant des programmes de 1995, de placer au centre des cours de mathématiques et de sciences la notion de modélisation qui deviendra si importante dans les programmes de 2009.

Bibliographie

- [1] Les calculatrices formelles en classes de baccalauréat professionnel
Groupe lycée professionnel - IREM d'Aix – Marseille ; MathemaTICE n°1 – septembre 2006.
<http://revue.sesamath.net/spip.php?article27>
- [2] Des apports de la didactique des mathématiques à l'enseignement – Régine Douady – Repère IREM n°6 janvier 1992.
- [3] Faire le lien entre les mathématiques et les spécialités professionnelles – François Moussavou – Bulletin de l'APMEP n° 508 Mars-Avril 2014