Méthodes et pratiques scientifiques (MPS)
Un espace pour un enseignement scientifique interdisciplinaire en seconde

Rémy Coste(*)

Cet article est le compte rendu et le bilan d'un travail en MPS de quatre professeurs dans deux classes de seconde au lycée Blaise Pascal à Orsay (Essonne) pendant l'année scolaire 2010-2011.

Le cadre logistique

– Une plage de 3h toutes les deux semaines pour chaque classe de seconde, en alternance.
– Un professeur de mathématiques (un pour chaque seconde) et un professeur de physique-chimie (pour les deux secondes) affectés conjointement à cette plage, et quelques HSE permettant l'intervention d'un professeur de biologie.
– Deux salles informatiques communicantes à disposition, de 17 postes en réseau chacune.

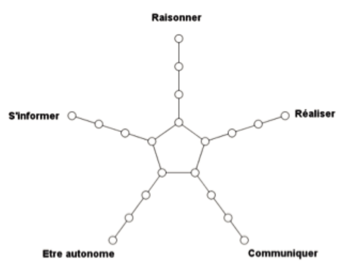
La réflexion *a priori*

L'organisation

Nous étions libres d'organiser notre enseignement comme nous le souhaitions. La facilité eut peut-être été que nous séparions la classe en demi-groupes pour que chaque professeur travaille de façon autonome, l'un en maths, l'autre en physique-chimie, en permutant les groupes chaque quinzaine ou chaque demi-séance. Mais la tentation d'expérimenter un enseignement plus global des sciences avec un encadrement interdisciplinaire nous a conduits au choix inverse. Je le dis tout de suite, la très grande satisfaction que nous en retirons a dépassé notre espérance.

L'évaluation

Peu enthousiastes à l'idée d'attribuer une note, nous avons préféré une évaluation distinguant les compétences, suivant ainsi les recommandations du document ressource sur MPS (site Eduscol). L'étoile ci-contre permet d'en faire la représentation. Souhaitant communiquer aux élèves ce que chaque désignation recouvre précisément, nous l'avons accompagné d'un lexique (voir ci-dessous).



(*) remy.coste@ac-versailles.fr

Sur la compétence « Raisonner » la discussion entre enseignants de mathématiques et enseignants de sciences expérimentales a abouti à prendre acte d'une différence importante que nous avons tenté d'exprimer, renonçant ainsi à un discours commun. Cette différence porte sur ce que signifie « valider » en maths et en sciences expérimentales.
Ce tableau nous a été utile, mais ne se prétend pas être un modèle et je constate aujourd'hui qu'il est incomplet : ainsi, dans la compétence « Communiquer », outre l'aspect « émission », manque l'aspect « réception » : rechercher, lire, utiliser un document et la compétence « raisonner » devrait bien sûr inclure « vérifier le résultat obtenu ».

<table>
<tr><td>S'informer</td><td colspan="2">Rechercher, extraire et organiser l'information utile à la résolution du problème.</td></tr>
<tr><td>Réaliser</td><td colspan="2">– Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les consignes de sécurité.
– Expérimenter, prendre des exemples, réaliser une simulation à l'aide d'un logiciel ou d'une calculatrice</td></tr>
<tr><td>Raisonner</td><td><u>En sciences expérimentales</u>
– mettre en place une démarche d'investigation étape par étape : émettre une hypothèse, émettre des conséquences prévisibles, proposer un protocole expérimental, mettre en relation des résultats, valider ou invalider l'hypothèse.</td><td><u>En sciences mathématiques</u>
– exprimer en termes mathématiques une question ou un énoncé suggérés par l'observation (conjectures) ;
– expérimenter pour mettre à l'épreuve une conjecture ;
– rechercher et apporter des éléments de preuve mathématique (calculs, raisonnement) .</td></tr>
<tr><td>Communiquer</td><td colspan="2">Savoir expliciter, à l'écrit et à l'oral, les résultats de la recherche à l'aide d'un langage et d'outils adaptés.</td></tr>
<tr><td>Être autonome</td><td colspan="2">Prendre des initiatives, savoir organiser son travail, mener à bien un projet individuel ou en groupe, faire preuve de curiosité et s'impliquer dans les recherches.</td></tr>
</table>

Les modalités du travail des élèves

Les élèves travaillent par groupes de quatre. À la fin de chaque sujet d'étude (6 à 7 séances), chaque groupe devra présenter à l'oral, en 10 minutes, son travail : sa démarche, ses réflexions, ses résultats, ses interprétations, les réponses aux problèmes posés, ce qu'il en retient. Cette présentation est suivie de questions. Dans l'une des divisions, une synthèse d'une page, individuelle, a été aussi requise aussi bien pour orienter les élèves vers une analyse réflexive, que pour avoir un retour écrit des élèves sur leur ressenti par rapport à cet enseignement.

Premier sujet d'étude : l'accélération d'un mobile

Phase A - Le TGV

Une vidéo de 7 secondes montrant le déplacement d'un TGV (caméra fixe) est mis à disposition des élèves. Dans un second temps, deux autres vidéos (décollage de la fusée Ariane 5, et déplacement d'un jouet roulant à ressort) sont également données aux élèves, après que l'étude de la première a abouti. Une question est posée : **le TGV accélère-t-il ?**

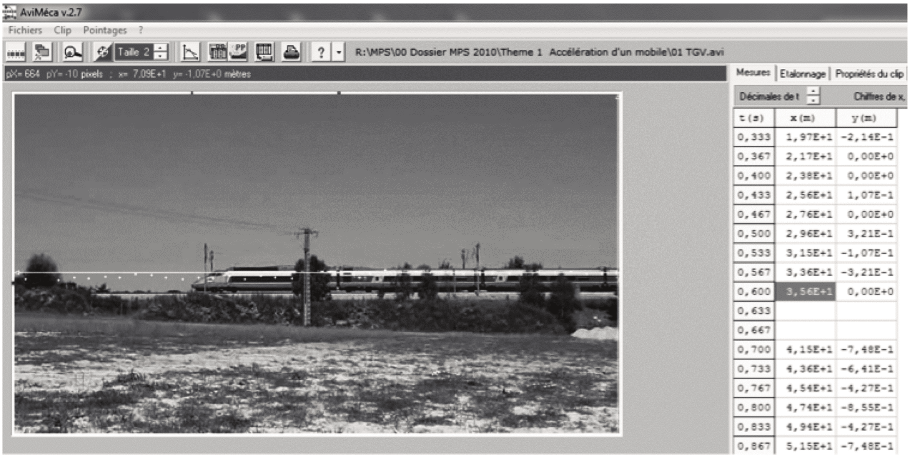
Aucune indication n'est donnée *a priori*, ni suggestion de démarche, ni signification de ce qu'est une accélération. En début de seconde, les élèves n'ont qu'une représentation très empirique de cette notion, essentiellement liée aux effets ressentis dans des situations de la vie courante.

Une procédure mise en œuvre par des élèves consiste à chronométrer (avec un chronomètre réclamé au professeur de physique) le temps de passage du nez du train entre les bords droit et gauche du cadre de l'image, puis celui de la queue. D'autres chronomètrent le temps de passage du train devant deux repères fixes différents. Dans les deux cas, les élèves finissent par identifier le fait qu'ils comparent deux vitesses moyennes. Alors que les deux mesures sont très voisines, et cela même en les répétant, les élèves en concluent que… l'on ne peut rien dire car « *c'est trop imprécis* ». Ils expriment un ressenti (lié à la difficulté de synchroniser le déclenchement du chronomètre et l'apparition du train), mais qui n'est étayé par aucune quantification objective. Quelques élèves s'aventurent en formulant l'hypothèse que le train n'accélère pas, et ne ralentit pas, sa « vitesse reste la même ».

Cette première phase, par le jeu des questions que nous posons, permet de clarifier certains mots et de reformuler le problème, puis d'orienter leur recherche :

- la vitesse moyenne est le quotient d'une distance (différence entre deux positions) et d'une durée (différence entre deux instants) ;
- une accélération correspond à une variation de la vitesse (qui ne peut être qu'une vitesse moyenne entre deux positions à ce stade) ;
- questions : dans l'hypothèse où la vitesse du train au début du film est la même à la fin du film, comment faire pour savoir si, au cours de ce déplacement, cette vitesse est bien restée constante en permanence ? Dans le cas où elle aurait varié, comment quantifier cette variation ?

Il apparaît donc qu'il faudrait pouvoir analyser ce que fait le train sur des durées beaucoup plus courtes. Nous mettons à disposition des élèves un « logiciel de pointage », Aviméca (à télécharger sur le site académique de l'académie de Rennes). Ce logiciel permet de lire une vidéo image par image ; après avoir réalisé un étalonnage (nécessitant ainsi une recherche documentaire sur le type de TGV observé et de sa longueur) et choisi un repère, il permet d'acquérir des données (temps et position) en pointant une à une les positions successives du mobile. Le logiciel est livré avec un mode d'emploi simplifié dont les élèves s'emparent facilement de façon autonome.



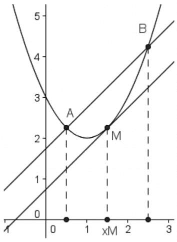
Le tableau des données recueillies est exportable vers un tableur. Les valeurs du temps sont obtenues avec un pas de 1/30 s. Seules les valeurs de x sont conservées, la colonne y (correspondant à la hauteur du curseur de pointage, donc ici inutile) est supprimée.

C5 =(B5-B4)/(A5-A4)

	A	B	C	D	E
2	t	x	Vitesse		
3	s	m	m.s^{-1}		
4	0	0,21			
5	0,033	2,03	55,03		
6	0,067	3,95	56,47		
7	0,1	5,98	61,52		
8	0,133	8,01	61,52		

Il s'agit maintenant de calculer les vitesses successives, en commençant par écrire une formule dans la cellule C5 (voir ci-contre). Mais de quelle vitesse s'agit-il ? Une contradiction dans les discours des deux enseignants a surgi. Pour l'enseignant de maths, il s'agit de calculer la vitesse moyenne entre deux valeurs consécutives, en appliquant donc la même formule qui avait prévalu sur une durée plus longue. Le fait que la durée soit beaucoup plus courte ne change rien quant à la nature de la grandeur, donc rien sur la formule. Pour l'enseignant de physique au contraire, du fait que cette durée est petite, il s'agit de la « vitesse instantanée ». Et il donne aux élèves une formule différente : Vitesse instantanée à l'instant t_n est : $\dfrac{x_{n+1}-x_{n-1}}{t_{n+1}-t_{n-1}}$. Ce qui se traduit en C5 par la formule (B6–B4)/(A6–A4), et non pas (B5–B4)/(A5–A4). Cette formule est présentée comme le fait d'une pratique convenue, définissant la vitesse instantanée ! Elle est justifiée par l'idée que l'on « équilibre » en prenant les valeurs proches de part et d'autre de l'instant considéré. Les physiciens appellent également ce quotient « la dérivée symétrique ». Son écriture mathématique générale est $\dfrac{f(x+h)-f(x-h)}{2h}$, et il s'agit évidemment d'une approximation du nombre dérivé, en générale bien meilleure que le simple taux d'accroissement. D'autant que la fonction dérivée ne peut se calculer, elle, que si l'on dispose d'une fonction qui modélise correctement la situation. Pour l'élève, il y a donc de fait deux vitesses instantanées : celle du mathématicien, et celle du physicien !

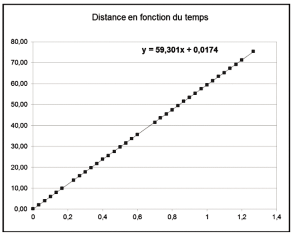
Renseignement pris auprès des collègues du lycée, les enseignants de sciences expérimentales n'utilisent que rarement la dérivée enseignée en première, et le fait que la « dérivée symétrique » en soit une approximation n'est pas évoquée dans le cours de physique. Dans celui de maths non plus, mais elle est souvent l'objet d'une activité de découverte d'une propriété remarquable des fonctions trinômes : La droite coupant la parabole en A et B d'abscisses a et b est parallèle à la tangente en $\dfrac{a+b}{2}$. Autrement dit, dans le cas des fonctions trinômes, la dérivée symétrique et le nombre dérivé sont égaux quel que soit h et en tout point.

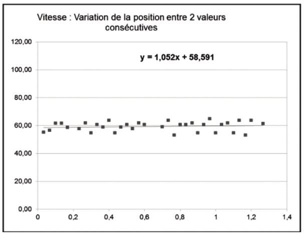


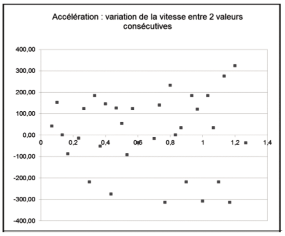
Plus généralement, pour une fonction suffisamment dérivable, un calcul élémentaire utilisant les développements limités en $\dfrac{a+b}{2}$ montre que la différence entre la dérivée symétrique et la dérivée est au moins d'ordre deux.

Un premier graphique ci-dessous montre que, pour chaque accroissement du temps de 1/30 s, la distance parcourue augmente environ de la même valeur, ce qui se traduit par des points alignés (de façon convaincante). La fonction modélisant la situation semble être une fonction affine, dont une expression est proposée par le tableur en demandant « une courbe de tendance », et l'affichage de son équation. La pente ainsi quantifiée donne une valeur de la vitesse du TGV : 59 m.s^{-1}. Par contre, avec le graphique donnant les vitesses, là où on s'attend à obtenir des points sur une droite horizontale (y = 59), il faut décocher l'option « unités automatiques » et imposer des unités plus petites (ce qui « tasse » le nuage de points) pour s'en persuader… Quant au graphique donnant l'accélération, il est difficile, à le voir, de conclure qu'elle est constamment nulle.

Avec les mesures

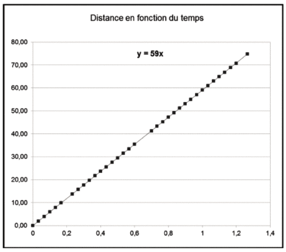


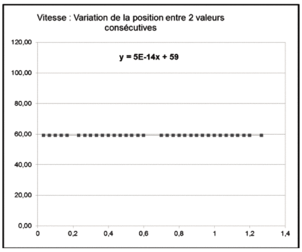


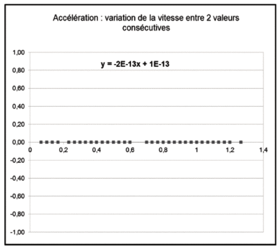


En refaisant les même graphiques, mais à partir de la fonction affine qui modélise, ça va mieux !

Avec le modèle





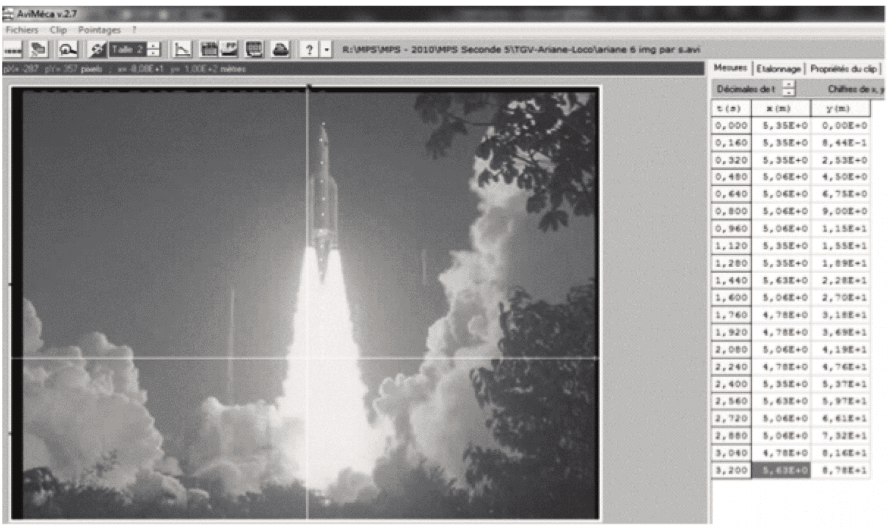


Les élèves n'avaient pas encore travaillé en mathématiques, en seconde, sur les fonctions affines, ni en particulier sur leur caractérisation par la proportionnalité des accroissements. Cette situation et son exploration ont permis de le faire de façon efficace. De plus, les questions liées à la difficulté de valider un modèle en sciences expérimentales d'une part, et l'intérêt de s'abstraire d'une situation particulière et expérimentale du monde physique pour étudier directement des modèles en mathématiques d'autre part, ont trouvé là une illustration probante.

Ce travail met bien en évidence les différences entre le travail du physicien, qui cherche d'abord des méthodes efficaces, et celui du mathématicien qui forge des concepts plus universels. Ainsi, la dérivée symétrique du physicien est efficace au plan du calcul, mais rendrait dérivable par exemple la fonction valeur absolue et ne rendrait pas compte des points anguleux, ce qui peut être examiné en première S.

Phase B - La fusée Ariane

Le même plan de travail a été suivi pour étudier le décollage de la fusée Ariane sur la deuxième vidéo.

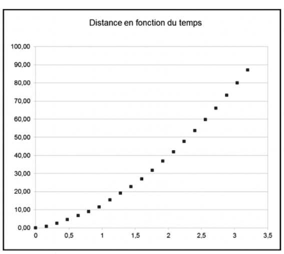


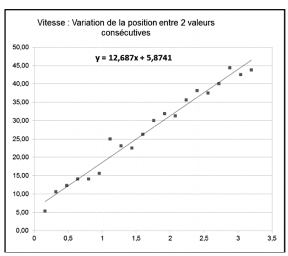
	A	B	C	D
1	Ariane V			
2	t	y	Vitesse	Accélération
3	s	m	m.s^{-1}	m.s^{-2}
4	0	0,00		
5	0,16	0,84	5,28	
6	0,32	2,53	10,54	32,89
7	0,48	4,50	12,31	11,09
8	0,64	6,75	14,06	10,94
9	0,8	9,00	14,06	0,00
10	0,96	11,50	15,63	9,77
11	1,12	15,50	25,00	58,59
12	1,28	19,20	23,13	-11,72
13	1,44	22,80	22,50	-3,91

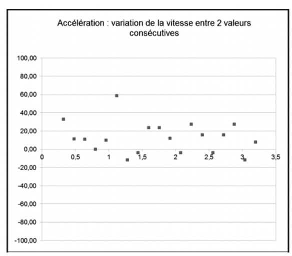
Comme on ne s'intéresse qu'à l'altitude de la fusée, c'est la colonne x qui sera supprimée après l'exportation dans un tableur. Le calcul des vitesses entre deux positions consécutives (pas de 1/6 s) montre qu'elles ne sont pas constantes et qu'elles augmentent de façon significative. Les élèves en concluent que « *la fusée accélère* ». Nous leur demandons de quantifier cette accélération, c'est-à-dire de mesurer les variations de la vitesse au cours du temps. La proximité de cette question avec celle concernant précédemment le TGV « comment varie la distance du TGV au cours du temps ? » les incite à procéder aux mêmes calculs faits pour la vidéo du TGV, mais appliqués cette fois aux vitesses de la fusée : on va calculer « la vitesse de la vitesse ».

Les élèves obtiennent sur le premier graphique des points non alignés, en cohérence avec les observations numériques. Le tableur que nous utilisons est OpenOffice.Calc. De façon inattendue, nous réalisons qu'il ne permet pas de choisir le modèle polynomial comme courbe de tendance. Les élèves n'ont donc pas pu faire un ajustement pertinent pour le premier nuage de points. Par contre ils ont envisagé le modèle affine pour l'évolution des vitesses, même si l'alignement des points est approximatif. Sous cette hypothèse, on formule donc que la vitesse de la fusée varie de la « même manière » que la distance du TGV : à chaque unité de temps, la vitesse de la fusée augmente de la même valeur. Un point important est ainsi renforcé : c'est ce critère qui valide ou non le modèle affine. Les conclusions obtenues avec le TGV, transposées à la fusée Ariane, permettent de faire l'hypothèse que son accélération est constante, comme la vitesse du TGV l'était.

Avec les mesures

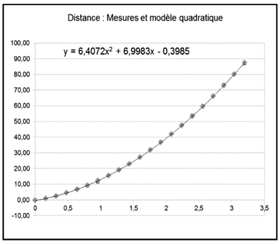


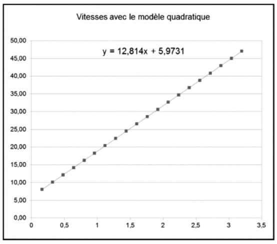


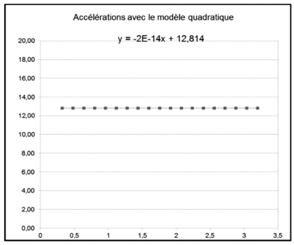


Pour cet article, les graphiques ci-dessous ont été réalisés avec Excel, ce qui permet d'illustrer ce qui aurait pu être fait en disposant du modèle quadratique comme courbe de tendance (ce qui donc n'a pas été fait par les élèves). On peut alors éprouver ce modèle et constater que le deuxième graphique correspond bien à une fonction affine, et que l'accélération est alors constante.

Avec le modèle





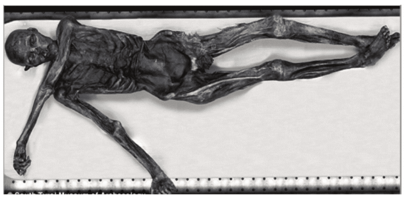


Phase C - Le jouet

Une troisième vidéo montrant un jouet roulant soumis à la détente du ressort de son mécanisme, permet de constater que les vitesses augmentent dans un premier temps (détente du ressort), puis diminuent (frottement au sol). L'accélération est positive, puis négative. Cette formulation complète celle donnée d'abord par les élèves, plus empirique : « *le jouet accélère puis ralentit* ».

Deuxième sujet d'étude : la datation de la mort d'Ötzi

Un diaporama présente la situation : En 1991, dans un glacier des Alpes à la frontière austro-italienne a été découvert le corps congelé d'Ötzi :



« *La momie congelée est celle d'un homme d'environ 45 ans, mesurant 1,59 mètre et pesant 40 kilogrammes. La datation par la méthode du carbone 14 indique que l'individu a vécu durant une période de temps comprise entre 3 350 et 3 100 av. J.-C.* » (d'après Wikipédia).

Problème posé aux élèves : une des techniques permettant de dater la mort de cet homme est celle du « carbone 14 ». Le carbone 14 est un atome radioactif. La radioactivité est un phénomène aléatoire. **Comment un phénomène aléatoire comme la radioactivité du carbone 14 permet-il de dater la mort d'Ötzi ?**

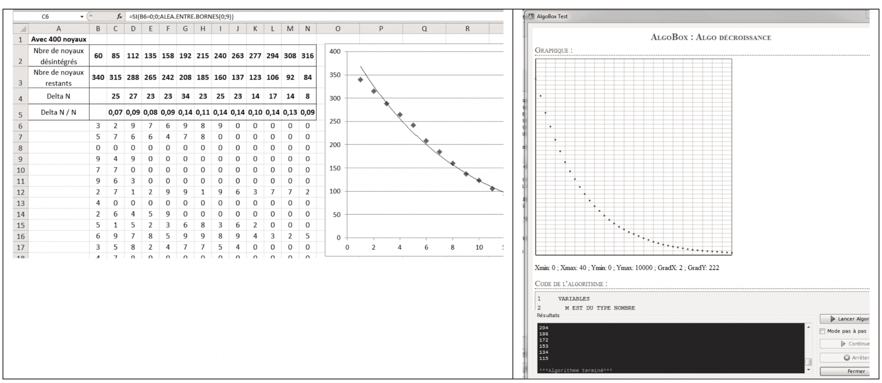
La plupart des termes employés sont inconnus des élèves, ou recouvrent des représentations très floues : carbone 14, atome radioactif, radioactivité, phénomène aléatoire. De plus, contrairement au sujet d'étude précédent, nous avons choisi de leur imposer un plan de travail, indiquant les tâches et productions attendues. Ce plan de travail est organisé en trois parties, chacune permettant de travailler des aspects relatifs à chaque discipline scientifique : physique-chimie pour la partie A, mathématiques pour la partie B, et biologie pour la partie C.
En voici la substance :

Partie A

Les élèves ont à faire une recherche documentaire pour répondre à des questions : qu'est-ce qu'un noyau radioactif, qu'est-ce que la désintégration α, β^- et β^+, quelle est l'équation de désintégration du carbone 14, quelles sont les lois dont elle découle, que signifie « phénomène aléatoire », en quoi la radioactivité est-elle un phénomène aléatoire ? Ils ont également à faire des recherches sur l'histoire de la découverte de la radioactivité, et la démarche scientifique qui a prévalu. Une synthèse de tous ces éléments est présentée sous forme d'un film dont dispose l'enseignant de physique.

Partie B

Dans une première phase, à travers des expériences réelles (lancers de dés), puis à l'aide de simulations sur tableur et à l'aide d'algorithmes programmés sur la plate-forme Algobox ou sur calculatrice, les élèves découvrent la fluctuation d'échantillonnage et sa réduction avec la taille de l'échantillon.
Dans une deuxième phase, les élèves font l'expérience consistant à lancer 10 dés ensemble, à retirer tous ceux dont la face 1 est apparue, puis de recommencer jusqu'à ce qu'il n'y en ait plus, en notant à chaque fois le nombre de dés restants. Ce passage par cette expérience réelle permet de mieux comprendre la situation. Une simulation de la désintégration de 400 noyaux est réalisée sur tableur, puis de N noyaux par un algorithme programmé sur Algobox ou calculatrice. Pour cela on fixe arbitrairement la probabilité de désintégration à $p = \dfrac{1}{10}$ à chaque étape.



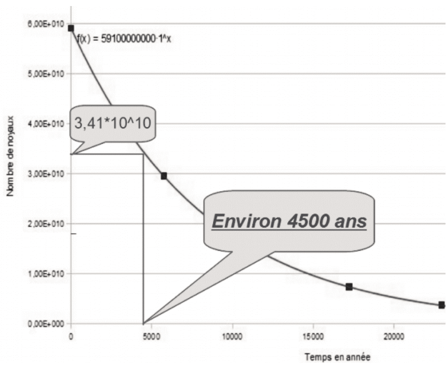
Les élèves peuvent répéter la simulation et constater ce qui persiste malgré la fluctuation. Le modèle exponentiel d'ajustement est présenté comme celui qui est pertinent lorsque le rapport $\Delta N/N$ reste constant à chaque étape. C'est ce qu'on vérifie expérimentalement tant que le nombre de noyaux est assez grand (ligne 5 dans le tableur). On trouve des quotients proches de 1/10.
Avec l'algorithme, en choisissant de plus grandes valeurs de N, les élèves recherchent au bout de combien d'étapes il ne reste plus que la moitié du nombre initial d'atomes, si ce nombre dépend du nombre initial d'atomes, et s'il dépend de la probabilité p.

Ils recherchent ainsi ce qu'on appelle demi-vie, et sa valeur pour le carbone 14.

Partie C

Par une série de questions autour d'un document fourni, les élèves sont amenés à comprendre d'où viennent les atomes de carbone 14, le rôle des rayons cosmiques, leur proportion par rapport au carbone 12, l'intégration de ces atomes de carbone dans les molécules organiques grâce à la photosynthèse (et recherche de l'équation bilan), leur transfert dans le corps humain par la chaîne alimentaire, leur restitution à l'atmosphère par la respiration (et recherche de l'équation bilan) ou les fermentations. Ils doivent expliquer pourquoi néanmoins le rapport carbone14/carbone12 est constant dans le corps vivant, et pourquoi il diminue dans le corps une fois mort.

À partir du rapport 14C/12C (valeur connue chez les vivants), ils calculent le nombre de noyaux de carbone 14 contenu dans un prélèvement de 1 g de carbone. Puis ils font le même calcul à partir du rapport 14C/12C mesuré dans la momie d'Ötzi. Grâce à la connaissance de la demi-vie, ils réalisent le nuage de points représentant l'évolution du nombre d'atomes de carbone 14 contenu dans un gramme de carbone à partir du décès d'un être vivant, et datent la mort de Ötzi par lecture graphique



La réflexion *a posteriori*

Voici quelques réflexions en guise de bilan :

- Cette approche interdisciplinaire a permis aux élèves d'identifier la démarche de validation en sciences expérimentales : on recherche des modèles qui sont identifiés par leur propriété caractéristique mathématique :
  - modèle affine (TGV) : par la question même qui est en jeu (le mobile accélère-t-il ?), les élèves vont regarder si un accroissement identique du temps provoque un accroissement identique du déplacement. C'est le critère de reconnaissance du modèle affine : pour des accroissements successifs égaux de la variable, les accroissements successifs des images sont égaux, ou encore les différences premières sont constantes. Ici, la vitesse est constante, le mobile « n'accélère pas » : son accélération est nulle. Plus tard, la proportionnalité des accroissements pour une fonction affine est déduite à partir de là et la notion de coefficient directeur d'une droite prend du sens.

- modèle quadratique (fusée Ariane) : l'étude des différences premières (vitesses) fait apparaître que c'est la vitesse cette fois qui semble correspondre à un modèle affine. Les différences secondes sont alors constantes. La notion d'accélération est ainsi définie.
- modèle exponentiel (désintégration du carbone 14) : accroissements relatifs égaux des valeurs pour des accroissements successifs égaux de la variable (un accroissement identique du temps provoque un accroissement relatif identique du nombre de noyaux).

• Les élèves voient-ils spontanément cela ? Oui et non. Ils ont tous ces éléments sous les yeux et les formulent tout ou partie plus ou moins bien, quelquefois mal sur la forme mais bien sur le fond, notant des points essentiels. Mais ils ne peuvent en faire l'abstraction, c'est-à-dire se dégager du contexte de la situation pour en percevoir la généralisation possible. La reformulation (mise en discours scientifique) par le professeur de mathématiques sur la base des recherches et des productions des élèves est indispensable, pour donner le vocabulaire, formuler de façon précise, dégager ce qui est « modélisant » pour construire un savoir général mathématique. À ce stade, on peut espérer que la familiarisation progressive avec les modèles rencontrés « sème des graines » qui permettront aux élèves de mieux se les approprier au fil des années.

• Le rôle des enseignants : tout le spectre des démarches pédagogiques peut être évidemment tour à tour exploité. De l'exposé (film, synthèses, exposé du professeur, conférence d'un intervenant extérieur, …), à la question totalement ouverte, en passant par un questionnaire autour d'un document, ou par une implication plus ou moins grande du professeur dans le travail autonome des élèves. Mais le professeur a en charge également la tâche cruciale de synthétiser ce que l'on peut retirer des travaux des élèves, de le reformuler, de distinguer l'essentiel de l'anecdotique, pour en constituer un savoir institutionnalisé (plus ou moins, suivant les notions).

• Le rôle des élèves : Les tâches des élèves sont également très variées : recherche documentaire (historique, définitions, mode d'emploi, …), expérimentation, analyse et interprétation de données, formulation d'hypothèses, recherche d'arguments ou de justification, exposé de son travail, …

• Une supervision permanente du travail des élèves : l'autonomie des élèves est relative et s'acquiert progressivement, elle est supervisée en temps réel, évitant ainsi les utilisations stériles d'Internet, les erreurs persistantes conduisant à une impasse ou un découragement, permettant d'orienter les recherches par des questions en regard des objectifs et d'aider les élèves à s'emparer d'un discours scientifique progressivement précis et rigoureux.

• Une supervision croisée : les points de vue et les discours des enseignants de maths et physique cohabitent, voire s'affrontent (vitesse moyenne vs vitesse instantanée). Chaque professeur est confronté à un savoir de l'autre discipline. De cette vue décentrée, on se rend alors mieux compte combien il y a de raccourcis, de formulations, de façons de faire, employés par l'enseignant de la discipline, qui vont de soi pour lui, et qui peuvent être autant d'obstacles pour l'élève … et l'enseignant qui l'accompagne.

- MPS contre TPE ? Le dispositif MPS a des atouts que l'on ne retrouve pas dans celui des TPE :
  - le sujet est choisi par les professeurs, ce qui permet d'anticiper assez précisément les savoirs qui seront rencontrés ;
  - en particulier, la place des mathématiques peut être prévue, organisée, et complètement intégrée au travail scientifique effectué par les élèves. Cela se traduit par des phases, où l'on s'arrête sur une question mathématique pour la travailler de façon consistante, ce qui permettra ensuite d'avancer de façon déterminante dans la recherche scientifique effectuée ;
  - le pilotage en temps réel, anticipé, ou improvisé, rend le travail des élèves bien plus efficace.

  Faut-il pour autant penser à remplacer les TPE par MPS ? Nous fondons plutôt l'espoir que les élèves ayant suivi le module MPS soient plus performants lors des TPE en première.

Le bilan de cette première expérience en MPS, nous a fait percevoir avec plus de précision la richesse d'un enseignement scientifique interdisciplinaire.

- Pour les professeurs : a eu lieu une confrontation fructueuse pour les trois disciplines, chacune éclairant les deux autres. Il est évident que nous avons chacun appris de notre collègue, aux plans didactique et scientifique et cet acquit ne pourra être ignoré dans notre pratique ultérieure.
- Pour les élèves : apparaissent une légitimité accrue pour la construction de savoirs mathématiques, une cohérence et une meilleure compréhension des démarches scientifiques, et donc une transposition possible des savoirs d'une discipline à l'autre, dont on sait combien elle est difficile.

L'accroissement du travail sur projet des élèves et du travail en équipe des enseignants scientifiques, nous apparaissent bien ainsi comme le futur d'une éducation adaptée aux élèves de notre temps : les TPE l'ont déjà montré, l'enseignement MPS le montre aussi. Pour ma part, j'aspire à une prise en compte plus résolue de ces perspectives dans l'organisation générale de l'enseignement des sciences.

Épilogue

Pour information, le même dispositif avec les mêmes moyens a été reconduit cette année dans mon lycée. Le choix de notre équipe de direction de ne pas les réduire, est peut-être dû aux efforts d'information des professeurs et des élèves : bilan détaillé, présentation par les élèves lors des journées portes ouvertes du lycée, etc. Sans doute aussi ce lycée n'est-il pas contraint par d'autres priorités particulières…