EMF 2009 – Groupe de travail 7

Les mercredis des mathématiques, un lien avec l'enseignement secondaire

Kouider BEN-NAOUM
Université catholique de Louvain
École Polytechnique de Louvain
Kouider.bennaoum@uclouvain.be

Vincent WERTZ
Université catholique de Louvain
École Polytechnique de Louvain
Vincent.wertz@uclouvain.be

Résumé
En septembre 2000, la Faculté des Sciences Appliquées de l'Université catholique de Louvain inaugurait un environnement de formation centré sur l'apprentissage par problèmes et par projets, pour les étudiants du programme de premier cycle d'ingéniorat. La réforme ainsi engagée a suscité un certain nombre d'interrogations de la part des étudiants, de leurs parents et des enseignants, d'où la nécessité de donner de l'information sur ses modalités et d'organiser des activités, pour convaincre de la pertinence de l'introduction de ces nouvelles méthodes pédagogiques.

Nous avons profité de la journée « portes ouvertes » à l'université pour offrir aux élèves du secondaire une séance d'apprentissage par problèmes (APP) en mathématiques comme nos étudiants de premier cycle la pratiquent. Devant l'engouement suscité par cette activité, nous proposons l'organisation de ce type de séances dans les établissements d'enseignement secondaire qui le souhaitent. Nous décrirons en détail ce dispositif et en donnerons une évaluation.

1. LE CONTEXTE

En septembre 2000, l'École Polytechnique de Louvain (EPL) de l'Université catholique de Louvain (UCL-Belgique) a inauguré un environnement de formation centré sur des apprentissages à la fois par problèmes et par projets, pour les étudiants du premier cycle du programme de cinq années d'études menant au diplôme d'ingénieur universitaire.

Ces étudiants sont admis après un examen de mathématiques pour lequel ils se préparent pendant les deux dernières années d'études secondaires. Il est clair que comme toute réforme, l'introduction de ce nouvel environnement de formation a suscité un certain nombre d'interrogations de la part des étudiants eux-mêmes, de leurs parents et de leurs enseignants. Certains manquaient d'informations claires et précises sur notre enseignement et ses modalités. Il était donc nécessaire d'organiser des activités pour les rassurer et les convaincre de la pertinence de l'introduction de ces nouvelles méthodes pédagogiques.

Parmi un certain nombre d'activités organisées par l'université pour les élèves de l'enseignement secondaire, la journée « portes ouvertes » a pour rôle, entre autres, de présenter les différentes facultés et leurs programmes d'études. Nous avons profité de cet événement dans notre École pour proposer à nos visiteurs une séance d'apprentissage par problèmes en mathématiques (appelée dans notre jargon APP), telle qu’elle est pratiquée par nos étudiants de premier cycle afin qu'ils se sensibilisent aux méthodes de pédagogie active. Voir [1], [2], [3], [4].

Devant un engouement certain pour cette activité, nous avons décidé, depuis cinq ans, de proposer l’organisation de ce type de séances dans les établissements d’enseignement secondaire qui le souhaitent.

2. OBJECTIF DE L’ACTIVITE

L’objectif de cette activité est de permettre l’apprentissage par problème en mathématiques, à la manière de ce qui sera fait dans les premières années du Baccalauréat ingénieur civil à l'UCL, mais sur la base des connaissances mathématiques du secondaire. Les objectifs que nous nous sommes fixés étaient les suivants :

- Donner aux élèves l'occasion de « goûter aux mathématiques » à la manière de ce qui se fait dans les premières années du Baccalauréat ingénieur civil à l'UCL, mais sur la base des connaissances mathématiques du secondaire.
- Permettre aux élèves de prendre conscience des exigences de l'enseignement supérieur et leur montrer ce qui est attendu d'eux.
- Répondre à un certain nombre de questions que les enseignants et les élèves se posent à la suite des réformes des programmes. Par exemple :
    - Quelles sont les compétences à mettre en œuvre pour une réussite ?
    - Quelles sont les pratiques d'apprentissage : cours magistraux, apprentissage par problème et par projet, travaux de groupes, ... ?
    - Quelles sont les pratiques d'évaluation : examens oraux, écrits, Questions à Choix Multiples (QCM) ?
- Inaugurer une collaboration nouvelle et constructive avec les enseignants pour le bien des élèves. Cette idée de « rapprocher » l'enseignement secondaire et l'université a été souvent évoquée mais rarement concrétisée. Nous pensons que nous avons là une bonne occasion de le faire.

Ci-dessous, voici un exemple de problème que nous proposons aux élèves.

3. LE PROBLEME

Le problème de la « porte accordéon » comporte trois parties. Les deux premières concernent les élèves de cinquième année du secondaire, alors que nous soumettons le problème dans son intégralité aux élèves de sixième année.

La porte en accordéon : I

Une porte accordéon glissant de manière uniforme sur un rail fixé au plafond sépare votre chambre de votre salle de bain. Les tiges autres que celles de fixation au rail, situées à la pliure de chacun des battants, sont un peu trop longues et ressortent légèrement par le bas, frottant sur le tapis de la chambre. En admiration devant les lignes ainsi tracées sur le tapis, vous cherchez à les décrire analytiquement, ainsi qu'à calculer leur longueur.

La porte en accordéon : II

Le calcul de la longueur, à partir de la deuxième courbe, ne vous paraît pas évident. Heureusement, les calculatrices scientifiques et autres ordinateurs scientifiques n'ont pas (trop) de secret pour vous. Mais ces outils ne font que ce qu'on leur dit de faire. Vous déterminez donc les différentes étapes permettant d'obtenir une approximation de cette longueur.

Ce travail débouche sur une formule. Comment faire pour rendre l'approximation la meilleure possible ?

Sur les pas des célèbres mathématiciens Leibniz et Riemann, vous découvrez enfin une nouvelle notion mathématique et vérifiez qu'elle vous permet effectivement de retrouver un résultat connu : la longueur d'un quart de cercle !

La porte en accordéon : III

Supposons maintenant que la porte peut être ouverte ou fermée avec une vitesse donnée. Déduire les composants des vitesses de déplacement des points de fixation au rail et des points qui frottent sur le tapis, ainsi que la norme de ces vitesses.

Les objectifs du problème sont les suivants :

Première partie : modélisation du problème que pose la situation proposée.
Deuxième partie : introduction à la notion de courbes paramétrées.
Troisième partie : introduction aux notions de vitesse, dérivée de fonctions composées, cinématique (en physique).

Voici maintenant le détail du dispositif mis en place ainsi que du déroulement des séances.

4. DISPOSITIF

D'une manière générale, cette activité consiste à soumettre aux élèves (12 à 30 répartis en groupes de 6) un problème qui a pour principal but, à travers le travail sur sa résolution, d'acquérir des connaissances, des compétences, des attitudes et des comportements visés comme objectifs par les auteurs du problème. Les points importants de ce processus sont les suivants :

- Identifier et mobiliser des savoirs existants.

- Identifier les connaissances nouvelles à acquérir.
- Acquérir des connaissances nouvelles par l'étude individuelle.
- Vérifier en groupe la compréhension, en confrontant les points de vue et la compréhension de chacun.
- Appliquer l'ensemble des connaissances (anciennes et nouvelles) à la résolution du problème posé.
- Généraliser les connaissances à des situations similaires.

Trois séances d'une heure et demi sont prévues pendant trois mercredis successifs.

Ces séances *tutorées* se déroulent de la manière suivante : nous prenons en charge à deux les groupes d'élèves formés. Nous profitons également de la présence de leurs enseignants pour inviter ces derniers à intervenir dans l'un ou l'autre groupe. Au début, attentifs, ils « se prennent au jeu » et jouent naturellement le rôle de tuteur, ce qui permet de rassurer leurs élèves et de les mettre en confiance.

Notre rôle est essentiellement d'accompagner le groupe dans sa démarche d'apprentissage, de s'assurer qu'il travaille de manière active sans laisser certains élèves s'isoler, et de guider le travail d'investigation en l'orientant par de nouvelles questions.

Après le travail de groupe, lors de la première séance consacrée à la découverte du problème et à l'identification des enjeux et des notions à acquérir, une phase de travail individuel et non encadré permet à chaque étudiant d'essayer de démêler ces enjeux et d'acquérir des notions nouvelles. Cette phase est alors suivie de la deuxième séance (tutorée) de travail en groupe, essentiellement consacrée à la mise en commun de ce que les étudiants ont acquis individuellement. La troisième séance est dédiée à la clôture du problème, au bilan individuel lié à la réalisation des objectifs d'apprentissage et au bilan collectif, lié à la réalisation de la mission par le groupe. On termine la séance par un jeu de questions/réponses avec les élèves sur l'intérêt du dispositif et sur l'enseignement supérieur d'une manière générale.

a) 1re séance – Démarrage du problème

Il s'agit, en ce qui concerne notre problème, d'identifier les données pertinentes de la situation et d'émettre des hypothèses sur la modélisation des lignes tracées sur la moquette. Pour cela, les élèves doivent comprendre ce que veut dire « décrire analytiquement ». C'est un enjeu capital. L'objectif est d'amener les élèves à penser à un repère orthonormé, à identifier les points qui sont la cause des déchirures sur la moquette et à calculer les trajectoires de ces points. Les élèves se quittent en ayant une solution au problème et pour tâche, la préparation de la deuxième partie. Pour cela, nous les mettons sur la voie en comparant cette question avec celle qui concerne le calcul d'aire.

b) 2e séance **–** *Bilan intermédiaire*

Les élèves viennent avec des éléments qui concernent le calcul de la longueur d'une courbe. C'est également le moment d'une mise en commun de leurs recherches et d'une confrontation entre les diverses solutions proposées. (C'est dans ces moments que le rôle du groupe est pertinent). En général, la formule recherchée n'est pas connue des élèves. L'objectif de cette séance est de trouver la formule demandée et de la tester dans le cas du quart du cercle. Nous leur faisons également remarquer que dans le cas d'un quart d'ellipse, ce calcul n'est pas à leur portée.

c) 3e séance – Clôture et discussion sur l'ensemble du dispositif
On clôture le problème par les considérations de physique de la troisième partie et des questionnements sur les notions acquises. La deuxième partie de la séance est consacrée à une discussion sur le bilan individuel, lié à la réalisation des objectifs d'apprentissage, sur le bilan collectif lié à la réalisation de la mission par le groupe et sur l'intérêt du dispositif.
À l'issue de ces trois séances, nous avons demandé aux élèves de rédiger en groupe une solution du problème. Un rapport sur leurs travaux nous a été remis. Nous l'avons corrigé en y apportant nos commentaires sur plusieurs aspects tels que la résolution mais surtout, la rédaction mathématique.

Solution du problème

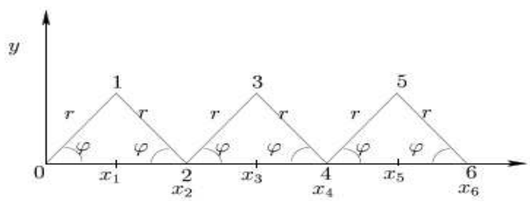
Nous avons identifié certains obstacles que rencontrent les élèves pour la solution de ce problème. Nous les mentionnons (ci-dessous) en caractères gras.

A. Modélisation

Un premier obstacle pour les élèves sera de bien se représenter le problème et de faire les hypothèses simplificatrices utiles

Exemple. On numérotera les points comme ceci :
Les points pairs, 0, 2, 4, etc. sont sur le rail ;
Les points impairs, 1, 3, 5, etc. se déplacent « librement ».

Représentons le problème dans un plan (le plancher de l'appartement). Bien choisir le système d'axes, pour avoir des équations simples.
L'origine au point 0 (qui est fixe).
Axe des x : le rail.
Axes des y : perpendiculaire au rail.



On voit apparaître une famille de triangles : 0-1-2, 2-3-4, 4-5-6, etc.

Hypothèse réaliste : les triangles sont **isocèles**. On s'intéresse au mouvement des points P_k et surtout, de ceux qui ont un numéro impair $(P_1, P_3, P_5 \cdots)$; ce sont les points qui « frottent sur le tapis ». Ils ont un mouvement en *x* et *y* alors que les points de numéro pair ont un mouvement en *x* uniquement (*y* = 0 : les points $P_0, P_2, P_4 \cdots$ sont sur le rail).

Soit *r* la longueur d'un côté opposé à la base (c'est-à-dire la largeur d'un volet de l'accordéon). Désignons par φ l'angle formé par les battants avec le rail. On mesure *r* en centimètres et φ en radians. Le paramètre *r* est une constante ; le paramètre φ varie : φ = 0 quand la porte est fermée ; $\varphi = \frac{\pi}{2}$ quand la porte est ouverte. On étudiera l'évolution des points P_k dans l'intervalle $\left[0\,;\frac{\pi}{2}\right]$.

Hypothèse supplémentaire : les volets sont d'épaisseur nulle. Les équations qui donnent les coordonnées des points P_k en fonction du paramètre φ sont :

$$\begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \end{cases} \begin{cases} x_1 = r\cos\varphi \\ y_1 = r\sin\varphi \end{cases} \begin{cases} x_2 = 2r\cos\varphi \\ y_2 = 0 \end{cases} \begin{cases} x_3 = 3r\cos\varphi \\ y_3 = r\sin\varphi \end{cases}$$

En général :

$$k \text{ pair} : \begin{cases} x_k = kr\cos\varphi \\ y_k = 0 \end{cases} \qquad k \text{ impair} : \begin{cases} x_k = kr\cos\varphi \\ y_k = r\sin\varphi \end{cases}$$

B. Courbes décrites par les points

Les points fixés sur le rail parcourent un intervalle sur le rail : lorsque φ varie de 0 à $\frac{\pi}{2}$, l'abscisse x_k varie de *k r* à 0.

La question intéressante concerne les points « libres ». Chacune des deux coordonnées (x_k et y_k) parcourt un intervalle, mais les valeurs sont liées. Le point P_k décrit un *arc de courbe* dans le plan. On cherche à obtenir l'équation de cet arc.

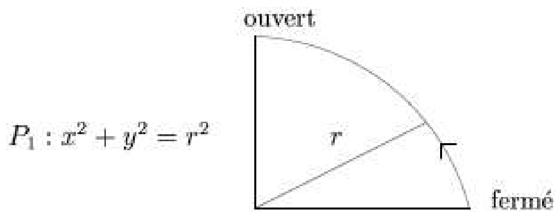
En fait, on dispose d'emblée d'une *équation paramétrique* de l'arc de courbe décrite par P_1, P_3, P_5, etc...) :

$$x = k\,r\cos\varphi, \quad y = r\sin\varphi, \quad \text{avec} \quad 0 \le \varphi \le \frac{\pi}{2}.$$

Un deuxième obstacle consistera pour les élèves à obtenir une relation entre *x* et *y*, c'est-à-dire éliminer le paramètre φ. On profitera de l'occasion pour leur demander (s'ils ne se le demandent pas eux-mêmes)

quel est le lien entre une représentation paramétrique et une représentation cartésienne.

Comment faire ? Pour le point P_1, on a $x = r\cos\varphi$ et $y = r\sin\varphi$. On trouve un *arc de cercle*



… obtenu via l'équation $\cos^2\varphi + \sin^2 = 1$, ce qui donne $\left(\frac{x}{r}\right)^2 + \left(\frac{y}{r}\right)^2 = 1$.

Pour le point P_3, on a $x = 3r\cos\varphi$, $y = r\sin\varphi$. La même méthode donne $\left(\frac{x}{3r}\right)^2 + \left(\frac{y}{r}\right)^2 = 1$. Il s'agit de l'équation d'une ellipse, limitée ici, vu la variation de φ, à un quart d'ellipse. Le demi petit axe vaut *r* ; le demi grand axe vaut 3*r*.

Même calcul pour tous les points P_k avec *k* impair : un quart d'ellipse dont le grand axe est sur l'axe des *x* (et le petit axe parallèle à l'axe des *y*) ; le demi petit axe vaut toujours *r* ; le demi grand axe vaut *k r*.

Avantage de la représentation paramétrique : description facile des extrémités de l'arc de courbe.

C. Longueur des arcs de courbes

La deuxième partie du problème fut loin d'être évidente pour les jeunes mathématiciens que vous êtes. Elle ne l'était pas plus pour les grands mathématiciens comme Leibniz qui sont à la base du calcul différentiel et intégral. Sans doute est-ce là aussi un enseignement de ce problème : toutes les questions n'ont pas toujours une réponse évidente ! (Avant de me pencher sur la question, je croyais naïvement qu'il existait une formule explicite pour la longueur d'un arc d'ellipse : ce n'est pas le cas !) Tout le monde connaît la longueur d'un quart de cercle : $\pi r/2$. Il est tentant d'essayer de « deviner » quelle pourrait être une formule analogue pour le quart d'ellipse, mais comment vérifier si nos conjectures sont correctes ?

Vous avez tous trouvé qu'on pouvait en tout cas dire que la longueur du premier quart d'ellipse était supérieure à la longueur de l'hypoténuse du triangle de côtés

$3r$ et r, soit $\sqrt{9r^2+r^2}$. Mais le dessin montre que cette approximation n'est pas très bonne. On peut évidemment l'améliorer en essayant de mieux coller à la courbe par un découpage en plusieurs morceaux de courbes, chacun approximé par l'hypoténuse du triangle-rectangle correspondant. Voici comment aller plus loin.

Procédure d'approximation de la longueur

a. Partitionner le segment $[0\,;3r]$ (pour la première ellipse) de l'axe des x en n petits intervalles de longueur $\Delta x = 3r/n$.

b. Sur chacun de ces intervalles, la corde sous la courbe mesure Δs_i, avec $\Delta s_i = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y_i)^2}$. Les Δx sont constants pour tous les intervalles, mais les Δy_i varient :

$$\Delta y_i = y_i - y_{i-1} = r\left(\sqrt{1-x_i^2/9r^2} - \sqrt{1-x_{i-1}^2/9r^2}\right),$$

où les x_i, $i=0$, …, n, sont les extrémités des intervalles sur l'axe horizontal.

c. La longueur de la courbe peut dès lors être approchée (borne inférieure) par

$$L = \sum_{i=1}^{n} \Delta s_i = \sum_{i=1}^{n} \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y_i)^2} = \sum_{i=1}^{n} \sqrt{1+\left(\frac{\Delta y_i}{\Delta x}\right)^2}\,\Delta x \,.$$

On peut évidemment améliorer la précision de cette approximation en prenant de plus en plus d'intervalles, ce qui revient à faire tendre n vers l'infini, ou Δx vers 0. C'est ce qu'on appelle un *passage à la limite.* Vous verrez, ou vous avez déjà vu, que

$$\lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta y_i}{\Delta x} = y'(x_i),$$

où $y'(x_i)$ dénote la dérivée de la fonction $y(x)$ évaluée au point x_i. Quant à la somme d'un nombre infini de termes, c'est une manière de définir l'*intégrale :*

$$\lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} \sqrt{1+\left(\frac{\Delta y_i}{\Delta x}\right)^2}\,\Delta x = \int_0^{3r} \sqrt{1+y'(x)^2}\,dx$$

D. Cinématique

Supposons que la porte soit ouverte (ou refermée) avec une loi de vitesse donnée par :

$\dot{\varphi}(t) = \alpha(t)$, où α est une fonction donnée.

Quelles sont les vitesses de déplacement des points *P* ?

1) Pour les points du rail :

$$x(t) = kr\cos\varphi(t), \quad y(t) = 0$$
$$\dot{x}(t) = kr\,(-\sin\varphi(t).\dot{\varphi}(t) = -kr\sin\varphi(t).\alpha(t).$$

2) Pour les points qui frottent sur le tapis :

$$x(t) = kr\cos\varphi(t) \qquad y(t) = r\sin\varphi(t)$$
$$\dot{x}(t) = -kr\sin\varphi(t)\cdot\alpha(t) \quad \dot{y}(t) = r\cos\varphi(t)\cdot\alpha(t).$$

Constatation amusante :

$$\dot{x}(t) = -ky(t)\cdot\alpha(t), \quad \dot{y}(t) = \frac{1}{k}x(t)\cdot\alpha(t).$$

Soit $v(t)$ la norme du vecteur vitesse. Alors, $v(t) := \sqrt{\dot{x}(t)^2 + \dot{y}(t)^2}$.

$$v(t) = r\,|\alpha(t)|\sqrt{\cos^2\varphi(t) + k^2\sin^2\varphi(t)}.$$

Pour le point P_1 : $v_1(t) = r\,|\alpha(t)|$

Pour le point P_3 : $v_3(t) = r\,|\alpha(t)|\sqrt{\cos^2\varphi(t) + 9\sin^2\varphi(t)}$.

5. ÉVALUATION DE L'EXPÉRIENCE

Nous avons aussi consacré un moment dans la troisième séance à un questionnaire (que l'on trouvera en annexe à la fin de cet article), que nous avons élaboré afin de cerner les perceptions qu'ont eues les élèves du dispositif d'apprentissage, de la méthode utilisée et de l'activité proposée. Nous livrons ci-dessous les résultats de cette enquête.

Cinq grandes questions étaient posées sur plusieurs thèmes : ***l'intérêt du problème, le travail en groupe et dans le groupe, l'organisation des séances, le bilan***

global et enfin une rubrique libre concernant ***certaines questions qu'ils se posent encore eux-mêmes***.

À la lumière des résultats de notre enquête, nous notons les éléments suivants :

- Le problème proposé a semblé intéressant aux élèves ; il leur a permis d'aller plus loin qu'une simple application des concepts et il les a incités à découvrir la matière par eux-mêmes.
- Ils s'accordent à dire que le travail en groupe et dans le groupe est un support pour l'apprentissage.
- L'organisation et le dispositif de cette activité semblent leur convenir et clarifier la vision qu'ils ont des études d'ingénieur, ainsi que des compétences attendues à l'université.
- Par contre, on voit clairement que les élèves n'ont pas de temps libre pour travailler ensemble et se concerter, mais ceci est dû à l'organisation des études au secondaire.

Pour la partie qui concernait leurs réflexions personnelles, on notera certaines phrases assez « parlantes », qui traduisent avant tout leurs inquiétudes :

- Il vaut mieux tomber dans un bon groupe.
- Il faut un bon groupe pour une bonne séance, le travail ne sera pas toujours représentatif de la qualité des élèves.
- Le groupe permet de multiplier les idées mais peut ralentir le travail car il faut expliquer.
- Beaucoup de travail et beaucoup d'étude.
- Il faut avoir certaines capacités en maths et en physique.
- On ne sait pas trop où il faut arriver.
- Quelles vont être, concrètement, les différences entre l'avant et l'après « Bologne » ?
- Je pense que les études d'ingénieur civil sont trop théoriques et que je ne serai pas capable d'étudier tout ce qu'il me sera demandé.
- Les exigences à l'université sont-elles vraiment supérieures à celles de l'enseignement secondaire où on n'a quasi aucune responsabilité ?
- En quoi consiste vraiment le métier d'ingénieur ? Que fait-on ?

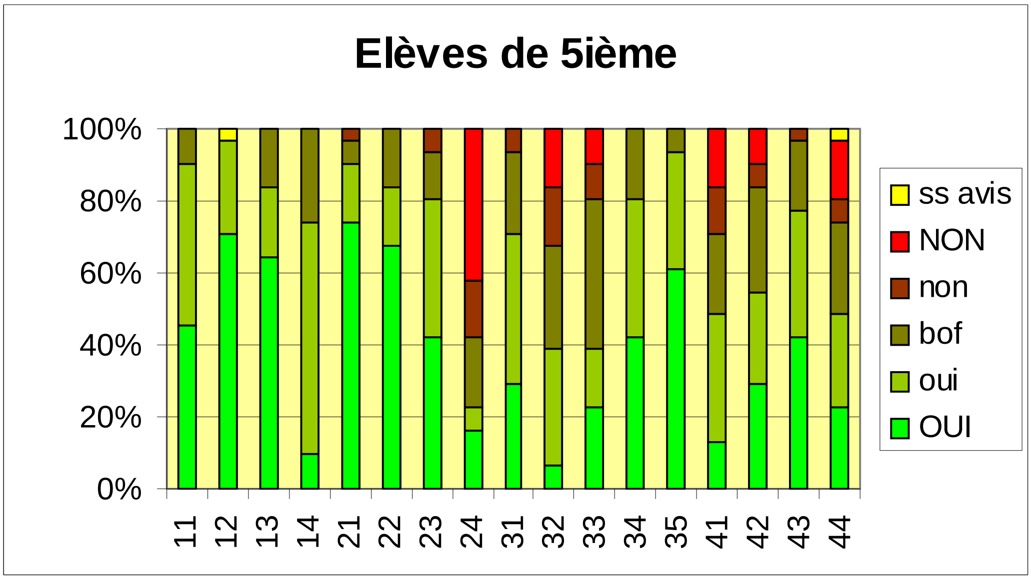
Mais aussi un certain enthousiasme ; florilège :

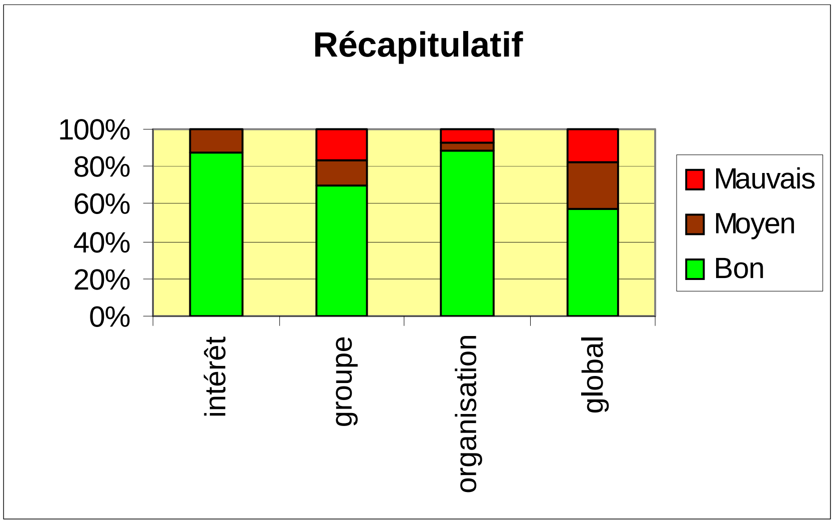
- C'est étrange le plaisir qu'on prend à se casser la tête pour chercher la longueur de traces faites par une porte accordéon !
- Ce genre de problème nous permet de nous situer dans la matière et donc, de mieux voir si on a compris. C'était très intéressant.
- Cette méthode est très intéressante car elle montre que les maths ont des applications partout et dans beaucoup de situations.
- Maintenant on sait à quoi s'attendre.
- Les séances de ces trois mercredis m'ont intéressé et m'ont permis de me rendre un peu mieux compte.
- Je n'aurais jamais réussi le problème toute seule (Cinquième).
- J'ai trouvé que c'était une très bonne occasion de découvrir une autre manière de travailler tout en étant aussi efficace.

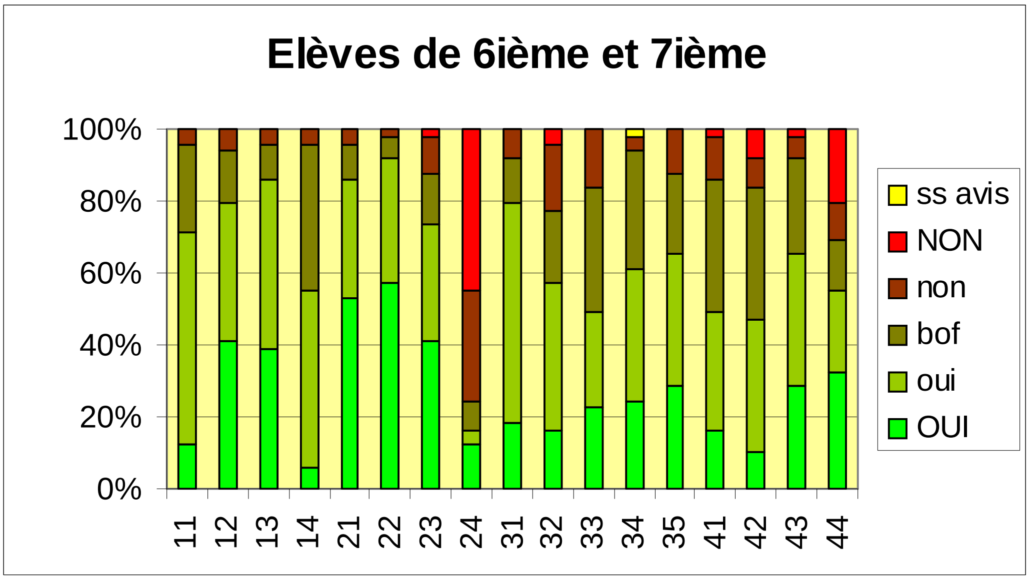
Une remarque des professeurs revenait à chaque fois, sur le sentiment de leurs élèves après cette expérience : « Ils sont rassurés », disent-ils ! Nous pensons qu'il existe chez les élèves une véritable inquiétude et une appréhension des études universitaires d'une manière générale, et particulièrement des études d'ingénieur. Ceci nous conforte dans l'idée de continuer cette expérience et de la généraliser dans plusieurs établissements.

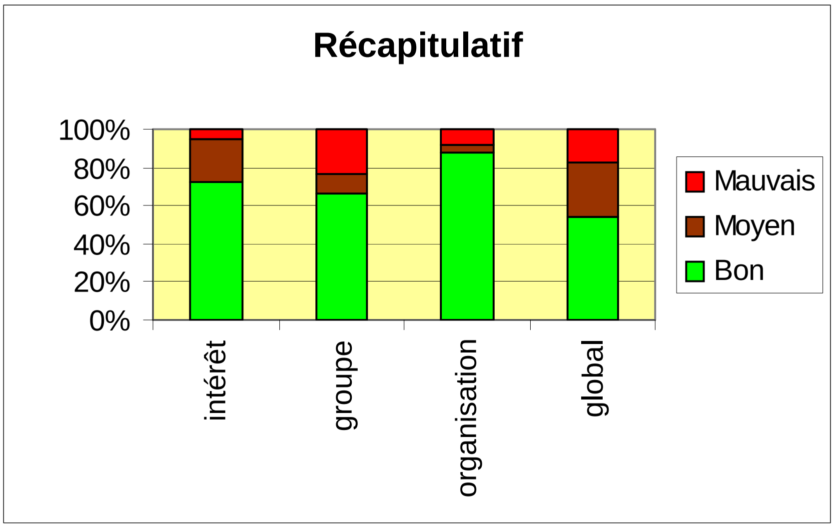
Les tableaux suivants décrivent les résultats des questions posées aux élèves (voir formulaire d'évaluation à la fin) par catégorie : élèves de cinquième et de sixième années du secondaire).

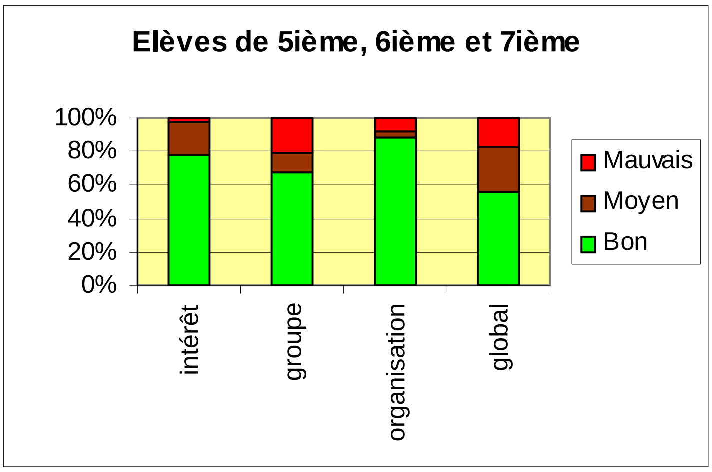
En abscisse on trouvera les questions. Exemple, Question 1.1 : Le problème traité est-il intéressant ? Le premier chiffre concerne le numéro de la question globale, le deuxième précise le numéro de la sous-question. En ordonnée on trouvera le nombre d'élèves ayant fourni des réponses. Des tableaux récapitulatifs permettent une vue globale des réponses fournies.




Récapitulatif
100%
80%
60%
40%
20%
0%
intérêt
groupe
organisation
global
Mauvais
Moyen
Bon


Elèves de 6ième et 7ième
100%
80%
60%
40%
20%
0%
11
12
13
14
21
22
23
24
31
32
33
34
35
41
42
43
44
ss avis
NON
non
bof
oui
OUI





6. CONCLUSION

L'enjeu était double : augmenter le recrutement et diffuser les méthodes de pédagogie active dans les établissements d'enseignement secondaire.

On peut déjà affirmer, en observant l'évaluation qui en a été faite, que cette expérience a dépassé largement nos espérances pour les raisons suivantes : accueil chaleureux et participation active de la part des directions, des professeurs et des élèves ; également, un nombre important d'élèves librement inscrits à ces séances et une implication enthousiaste et importante de leur part dans ce projet.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Ben-Naoum, A. K. et Wertz, V. (2002) L'apprentissage par problèmes en mathématiques: Une expérience en candidature ingénieur. *Actes du 19e Colloque*

AIPU (Association internationale de pédagogie universitaire) : Les méthodes actives dans l'enseignement supérieur. Mai 2002, Louvain-la-Neuve (Belgique).

[2] Ben-Naoum, A. K. et Wertz, V. (2002) PBL in mathematics : Why it works ? (or Does it work ?) *Actes du congrès : PBL 2002, A Patheway to Better Learning.* Juin 2002, Baltimore (USA).

[3] Ben-Naoum, A. K. et Wertz, V. (2003) L'apprentissage par problèmes en mathématiques : Pourquoi ? *Actes du 2e Colloque ENSIETA et ENST,* Bretagne, Brest, Questions de pédagogie dans l'enseignement supérieur : réflexions, projets et pratiques. Juin 2003, Brest (France).

[4] Ben-Naoum, A. K. et Wertz, V. (2005) PBL in mathematics : what is “good” problem ? *International Conference on Problem-Based Learning*, pp. 9-11, June 2005, Lahti, Finland. PBL in Context-Bridging work and education.

ANNEXE : le formulaire d'évaluation

ÉVALUATION DES SÉANCES APP

Je suis en 5^e ☐ Je suis en 6^e ☐

Évaluation des séances APP

1) Le problème :	**Tout à fait**	**↔**			**Pas du tout**
• Le problème traité est intéressant	☐	☐	☐	☐	☐
• Le problème proposé permet d'aller plus loin qu'une • simple application des concepts	☐	☐	☐	☐	☐
• Le problème incite les étudiants à découvrir la matière par eux-mêmes	☐	☐	☐	☐	☐
• Le problème traité est difficile	☐	☐	☐	☐	☐

Commentaire libre :

2) Le travail dans le groupe :	**Tout à fait**	**↔**			**Pas du tout**
• Chacun dans le groupe a pu s'exprimer	☐	☐	☐	☐	☐
• Le groupe est un support pour l'apprentissage	☐	☐	☐	☐	☐
• Le groupe a fonctionné efficacement	☐	☐	☐	☐	☐
• Le groupe s'est réuni en dehors des séances encadrées	☐	☐	☐	☐	☐

Commentaire libre :

3) Organisation de ces séances : **Tout à fait ↔ Pas du tout**

- La formule de 2 séances APP est adéquate ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
- Le nombre des séances est suffisant ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
- La durée des séances permet d'atteindre les objectifs du problème ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
- La rédaction d'un rapport est utile à l'apprentissage ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
  La quantité de travail demandée aux étudiants est adéquate ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Commentaire libre :

4) Bilan global : **Tout à fait ↔ Pas du tout**

- Ces séances clarifient la vision que j'ai des études d'ingénieur ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
- Ces séances clarifient la vision que j'ai des compétences attendues à l'université ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
- Ces séances me motivent pour des méthodes de pédagogie active ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
- J'envisage des études d'ingénieur ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

À l'issue de ces 2 séances, quelles sont selon vous (en 3 phrases) les exigences principales des études d'ingénieur ?

Indiquez ici les questions que vous vous posez encore

Commentaires libres :