Montréal International Symposium

TIME-2004

Technology and its Integration into
Mathematics Education

8th ACDCA Summer Academy
6th Int'l Derive & TI-CAS Conference

15-18 July 2004, Montréal, Québec, Canada

CONTS

Calculatrices symboliques dans l'enseignement des mathématiques en génie à l'ÉTS : bilan et avenir

Michel BEAUDIN (*)
Gilles PICARD
École de technologie supérieure
1100, Notre-Dame street West, Montréal (Quebec) Canada
michel.beaudin@etsmtl.ca
gilles.picard@etsmtl.ca

ABSTRACT

Cela fera bientôt cinq ans, en septembre 2004, que les étudiants inscrits au baccalauréat à l'ÉTS utilisent une calculatrice symbolique de la compagnie Texas Instruments (TI-92 Plus ou TI-89 et maintenant la Voyage 200). En faisant un bilan de son utilisation, nous donnerons des exemples concrets d'apports positifs et négatifs d'une telle calculatrice et invoquerons certaines des raisons qui ont motivé son adoption. Il ne faut pas pour autant penser que cette utilisation est uniforme dans chaque classe, dans chaque matière enseignée : cela peut varier d'un enseignant à l'autre et il est tout à fait possible de continuer d'enseigner de façon enthousiaste sans nécessairement utiliser la technologie! Nous avons constaté que des appuis, des encouragements et des séances de formation auprès des professeurs s'avèrent insuffisants tant et aussi longtemps qu'un enseignant ne voit pas de lui-même un avantage à utiliser la technologie. Par conséquent, c'est nous les utilisateurs de la technologie qui devons répondre à la question suivante : en quoi la technologie vient-elle améliorer l'enseignement des mathématiques? Sans être absolument certains d'assister à une amélioration de l'enseignement des mathématiques, nous avons noté, sur le terrain, une évolution significative des contenus de cours, du matériel utilisé, l'apparition de nouvelles questions posées aux examens et dans les travaux aux étudiants. En d'autres mots, l'utilisation de la technologie est intimement reliée au désir de changer des choses : en abandonner certaines, en découvrir de nouvelles, en redécouvrir sous un angle différent. Réviser des trucs classiques dans un environnement stimulant et explorer de nouvelles avenues : voilà ce que nous avons fait et que nous voulons continuer de faire.

1. Introduction

Nous reprenons, dans cette introduction, certains passages de textes que nous avons produits aux cours des dernières années. Ces textes étaient destinés à la communauté de l'ÉTS et n'ont pas fait l'objet de diffusion sur une grande échelle. Il n'est donc pas exagéré d'en reprendre certaines idées. Cela permet également au lecteur de bien comprendre notre position et donne le ton à la présentation qui a eu lieu lors du Symposium TIME-2004. Quant aux exemples illustrés avec des écrans de calculatrice Voyage 200, ils ont été construits en s'inspirant d'exemples présentés lors de diverses conférences, la liste étant donnée en bibliographie. Certains de ces exemples ont été réalisés « live » lors de notre présentation à TIME-2004.

- La présence de calculatrices symboliques (TI92+/89/Voyage 200/TI-89 Titanium et modèles semblables développés par d'autres compagnies) est en voie de modifier l'enseignement des mathématiques ainsi que les cours destinés aux futurs ingénieurs. Chose certaine, cela dérange et bouscule. L'une des premières réactions a été d'opposer l'apprentissage des notions de base à l'utilisation du calculateur symbolique. Cela a provoqué (et provoque encore) des débats animés. Nous disons : pure perte de temps. En effet, maintenant que sont réunies dans une calculatrice puissance et facilité d'utilisation sans précédent, on peut se concentrer davantage sur la signification des concepts.
- Lorsqu'on juge important de développer une habileté quant à la manipulation d'expressions algébriques et autres, le papier et le crayon (qui existent toujours) devraient être utilisés en premier et le calculateur, par la suite, pour vérifier des réponses. Un calculateur symbolique portable nous évite d'être constamment devant un ordinateur, dans un labo. On dispose d'un outil de calcul formel *individuel* et toujours *disponible* sans devoir changer d'environnement physique. Ce dernier point est un constat important dans tous les pays occidentaux où l'on utilise depuis une dizaine d'années déjà des logiciels tels *Derive*, *Maple*, *Mathematica*, *Matlab* et *Mathcad*. Loin d'avoir la prétention de les remplacer et encore moins de les supplanter, la calculatrice symbolique est *peut-être* une façon de faire en sorte que le calcul symbolique prenne la place qui lui revienne. C'est ce que nous n'avons pas cessé de faire depuis 5 ans.
- Le fait d'avoir la tablette (le « viewscreen ») placée sur le rétroprojecteur nous permet d'être toujours prêt à utiliser la calculatrice, en projetant au-dessus du tableau par exemple. La traditionnelle séparation technologie/théorie perd de son importance. *La technologie toujours prête à être utilisée mais pas nécessairement toujours utilisée*. Et l'enseignant a un rôle très important à jouer : celui de guide d'utilisation, celui de professeur de mathématiques à l'ère de la technologie. Ne pas superviser l'utilisation, en classe, de telles calculatrices équivaut, à toutes fins pratiques, à laisser les étudiants seuls avec eux-mêmes, donnant l'impression que la technologie doit venir *après* la théorie et non *en même temps*.
- La calculatrice symbolique doit jouer un rôle « d'échafaudage » pour les étudiants plus faibles en manipulation : force est de constater que plusieurs étudiants et plusieurs étudiantes qui nous arrivent — peut-être était-ce la remarque de la génération précédant

la mienne — ont des lacunes en mathématiques de base et le côté « assistant mathématique » de la calculatrice doit être exploité au maximum. Elle doit jouer le rôle d'un livre de formules et tables : ce n'est pas d'hier que les ingénieurs utilisent des tables d'intégrales et de transformées, ils peuvent maintenant utiliser leur calculatrice. Elle doit nous permettre de vérifier la solution à un problème (qu'on aura préalablement posé) de façons numérique, graphique et algébrique. Elle doit nous permettre de définir facilement nos propres fonctions pour utilisation dans un contexte particulier.

- Elle doit être à l'écoute de la communauté mathématique mondiale de façon à répondre à des demandes spécifiques d'enseignants. Elle doit être abondamment présente sur internet. Et, pour avoir une durée de vie suffisamment longue, elle doit être munie de la technologie Flash. Voilà des caractéristiques présentes dans les TI symboliques. Parmi les autres effets provoqués par l'apparition des logiciels de calcul symbolique (CAS) et amplifiés depuis par la calculatrice symbolique, signalons l'obligation chez les enseignants de repenser leurs plans de cours ou la dynamique d'un cours. Remarquons chez l'utilisateur l'obligation de penser correctement à la syntaxe des fonctions et commandes : quand on résout une équation, c'est par rapport à une variable, donc il faut faire *solve*(*eqn*, *var*) ! Si cela cause certains problèmes au début, nous avons la conviction que, par la suite, on récupère très vite le temps « perdu ».
- Depuis septembre 1999, les calculatrices symboliques de type TI-92 Plus ou TI-89 (et maintenant la Voyage 200) de la compagnie Texas Instruments constituent un achat obligatoire pour tout étudiant qui entreprend des études à l'ÉTS. Quelle a été la réaction de certaines personnes ? Pour résumer rapidement, certains trouvent que ces calculatrices sont trop puissantes : elles font en quelques secondes ce qui prend habituellement plusieurs minutes à être réalisé, elles automatisent des procédures qui constituent traditionnellement des exemples de questions d'examens. En un mot, ces calculatrices rendent la vie trop facile et les étudiants trop dépendants de leur machine. Pour ces personnes opposées ou peu favorables à l'utilisation de ces calculateurs symboliques, les étudiants ne seront pas meilleurs ou n'apprendront pas plus même s'ils disposent de ces machines. Il est facile de démontrer que ces arguments sont, très souvent, justifiés sur le terrain. En effet, si l'on permet l'utilisation de ces modèles à nos étudiants tout en continuant de les évaluer de la même manière en posant le même type de questions, alors nous faisons une mauvaise utilisation de la technologie. On ne doit pas réussir un cours « à cause de sa calculatrice », on doit toujours maîtriser certaines notions de base ou être capable de résoudre à la main certains types de problèmes.
- Mais alors, pourquoi opter pour une calculatrice symbolique à la grandeur de l'ÉTS? Il devenait de plus en plus difficile de composer avec la situation suivante : quelques semaines après le début des cours, plusieurs étudiants avaient acheté la calculatrice, les autres pouvaient devenir désavantagés pendant les examens si la calculatrice était permise. Il est plus facile à apprendre à manipuler un modèle précis et son apprentissage est accéléré si tout le monde dispose du même modèle. L'ÉTS étant une école de génie, une simple calculatrice graphique ne correspondait pas tout à fait à nos exigences. Le prix d'un portable (encore) trop élevé combiné au fait que de nombreux étudiants possèdent déjà un ordinateur à la maison, nous avons trouvé qu'il était justifié d'exiger l'achat d'une machine qui évolue selon la technologie Flash : on peut faire une mise à jour du système d'exploitation via internet et ajouter des fonctionnalités appropriées pour un cours particulier de génie. Ces calculatrices n'entravent en rien l'utilisation (éventuelle ou simultanée) de logiciels similaires et plus puissants ; au contraire, les concepteurs de systèmes symboliques utilisent à peu près tous la même syntaxe.
- En d'autres mots, pourquoi ne pas faire usage d'un calculateur symbolique sur le terrain, c'est-à-dire en classe, là où cela a des chances d'être utile ? Et pourquoi alors ne pas en profiter pour faire évoluer nos plans de cours, modifier certaines approches et s'attaquer davantage à la résolution de problèmes ? Et lorsqu'on juge nécessaire

> d'interdire la calculatrice pour certaines portions d'examens, nous pouvons le faire. Mais il n'y a plus (beaucoup) de raisons de se limiter à des exemples simples, où tout arrive toujours juste, où l'on ne trace jamais de graphiques, où les méthodes numériques sont à peine exploitées.

Voilà un peu ce que nous avons dit et constaté depuis 5 ans. Nous allons donner quelques exemples qui vont tenter de prouver que l'utilisation de la technologie permet d'améliorer l'enseignement des mathématiques. Nos objectifs sont de 3 types :

(i) révision, (ii) exploration et (iii) apprentissage de mathématiques de différents niveaux.

Tenant compte qu'une bonne partie de notre clientèle possède des lacunes sérieuses en mathématiques de base, une *révision* de certains concepts s'impose. Mais pas une révision « bête » où l'on remplit le tableau de définitions et théorèmes! Non, une révision assistée du calculateur : cela est possible lorsque le système symbolique choisi est facile d'utilisation. Les concepteurs de la TI symbolique méritent des félicitations à cet égard. Cette révision peut très bien être poursuivie par une *exploration* où l'étudiant, utilisant la machine, en profite pour se tester : nous rappelons que ces machines devraient être utilisées conjointement avec le papier/crayon classique. L'un ne devrait pas empêcher l'autre. Finalement, nous ne cessons de définir des fonctions en mathématiques pour effectuer toutes sortes d'opérations. La plupart du temps, les calculs deviennent lourds et freinent l'*apprentissage de concepts plus avancés*. Cet obstacle peut être levé, en partie du moins, par un calculateur symbolique portable.

2. Exemples

La calculatrice symbolique pour faire, non pas moins, mais plus de mathématiques! C'est d'ailleurs le bilan principal que nous pouvons en tirer : nos cours de mathématiques pour ingénieurs à l'ÉTS ont grandement évolué depuis 5 ans. La raison est simple : nous sommes à même d'illustrer *continuellement*, sur le terrain, les notions présentées aux étudiants. Ces derniers peuvent tester différentes hypothèses et visualiser différents concepts. L'un d'eux, et non pas le moindre, est celui de fonction.

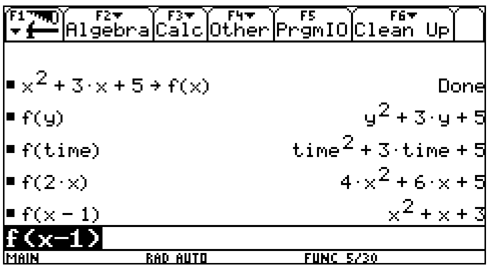
Exemple 1: Le concept de fonction est mal compris des étudiants. Le côté « machine » qui, à une entrée (« input ») fait correspondre une sortie (« output »), l'idée de subsitution, l'idée d'évaluation, l'idée de composition, tout cela peut très bien se faire toujours avec le papier/crayon mais, aussi, assisté du calculateur symbolique. À la fin, l'étudiant pourra toujours compter sur sa calculatrice symbolique, ne serait-ce que pour vérifier des réponses. N'allons pas, de grâce, empêcher les étudiants d'explorer, par eux-mêmes, des concepts, alors que certains enseignants se plaignent du peu d'enthousiasme des étudiants face aux mathématiques...!

Et, puisqu'on dispose aussi de machines graphiques, pourquoi ne pas en profiter pour *faire tracer* des graphiques et les analyser ensuite? Il est pour le moins paradoxal, à l'ère des calculatrices graphiques, de ne pas montrer aux étudiants comment elles fonctionnent et quelles sont les commandes usuelles à utiliser. Si le cours porte sur la notion de dérivée, un graphique d'un polynôme du troisième degré peut être un excellent déclencheur du concept de pente de la droite tangente à la courbe! Une clientèle d'étudiants sera maintenue attentive autrement que par des définitions écrites au tableau... La figure 1 (plus loin) montre, à gauche, un exemple très simple d'exercice à faire, *en tout début de classe*, avec les étudiants. On définit une fonction :

$$f(x) = x^2 + 3x + 5$$

Déjà, le simple fait d'écrire cela au tableau devrait entraîner une discussion sur la notation (en particulier le signe « = » qui ici n'a pas tout à fait le même sens que le signe « = » dans une équation par exemple). Il faut en profiter pour montrer aux étudiants comment, avec le système symbolique choisi, on définit une fonction : soyons bien clairs, cela ne va pas de soi nécessairement pour tout le monde!

Maintenant qu'ils savent définir une fonction $f(x)$, il peut être bon de leur demander comment le résultat affiché pour $f(2x)$ a été obtenu. Puisque le calculateur simplifie automatiquement, l'étudiant pourra ne pas comprendre ce qui est arrivé (à moins que l'enseignant utilise l'application Flash *Symbolic Math Guide* SMG où des étapes, pas à pas, sont proposées à l'utilisateur afin de voir le déroulement d'une simplification). Donc, on retourne au tableau et on effectue manuellement le calcul. Il peut être aussi utile de définir des fonctions en utilisant l'éditeur de fonctions (figure de droite) et d'en tracer le graphique. Les étudiants qui utiliseront le menu F5 pour trouver les coordonnées du point maximum seront sûrement curieux de savoir comment cela est possible... Les enseignants peuvent très bien produire des exemples de polynômes du troisième degré qui se factorisent de façon exacte : cela permet de rappeler le résultat qui dit qu'un nombre réel a est un zéro du polynôme $p(x)$ si et seulement si $p(x)$ est divisible par $x - a$.



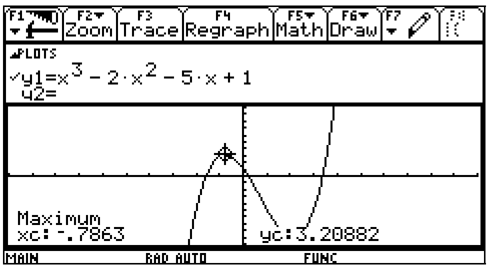


Figure 1

Il ne faut par pour autant croire que les capacités graphiques de la calculatrices permettent de tout apercevoir! Le calcul différentiel est toujours un outil indispensable. L'étudiant qui aura choisi la fenêtre « standard » de la calculatrice ne verra jamais le maximum qu'atteint une fonction comme $xe^{-x/50}$ …

Exemple 2: Quand prenons-nous le temps de s'attarder à la résolution d'équations? En fait, quand résolvons-nous des équations, quand faisons-nous une liste des équations qu'on peut résoudre et de celles qu'on ne peut pas résoudre (en mode exact)? Cela peut être une belle opportunité, pour l'enseignant, d'introduire de nouvelles fonctions, ou de rappeler certaines propriétés des fonctions de base (fonctions trigonométriques par exemple, rappel de la formule quadratique : voir figure 2).

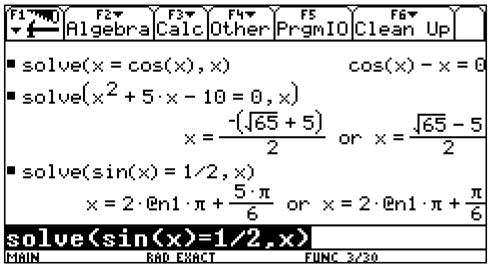


Figure 2

En ce qui concerne les équations du genre $v(x) = w(x)$, l'enseignant devrait, à tout le moins, privilégier l'aspect graphique, insistant sur le fait que l'on peut regarder où les 2 courbes v et w se coupent ou, encore, où la courbe définie par $f(x) = v(x) - w(x)$, croise l'axe des x. Remarque loin d'être banale! Encore ici, l'enseignant se doit de mettre en garde l'étudiant que la calculatrice « ne fait pas tout ». On peut très bien produire un exemple où, dans la fenêtre « standard », aucune intersection entre les 2 courbes n'apparaît!

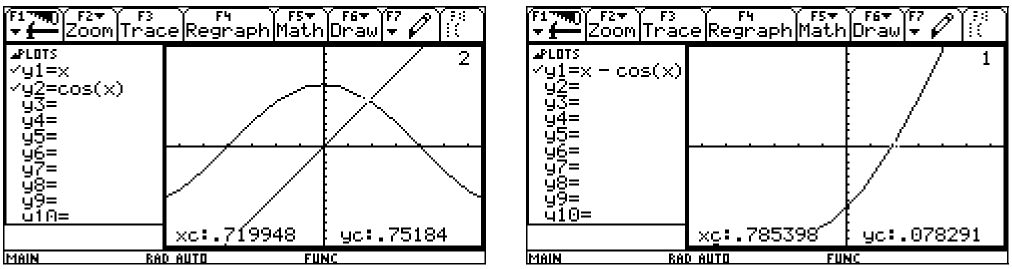


Figure 3

Ensuite, utiliser les capacités symboliques (voilà une raison pour laquelle une « simple » calculatrice graphique ne peut faire l'affaire au niveau universitaire). Introduire le « solveur numérique » du calculateur, présenter les méthodes du point fixe et de Newton, tout cela est d'une facilité déconcertante avec une TI symbolique. Il reste donc plus de place pour faire des preuves, des exemples, des exercices.

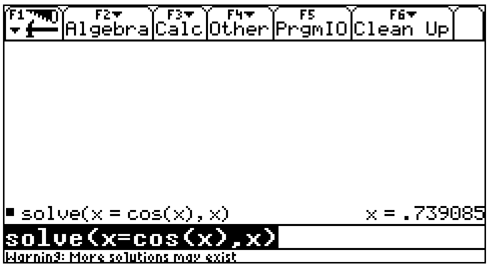


Figure 4

Il faut souligner l'excellente décision des concepteurs de la TI symbolique pour le message « Warning : More solutions may exist » qui apparaît lorsque le calculateur passe en mode « approximate » lors de la résolution d'une équation pour laquelle certaines solutions pourraient être omises. Voilà une excellente façon dont dispose l'enseignant pour jeter un coup d'oeil, avec les étudiants, aux types d'équations qu'on peut résoudre exactement ou pour lesquelles des algorithmes existent et permettent de trouver, en mode numérique, toutes les solutions (par exemple, les équations polynomiales).

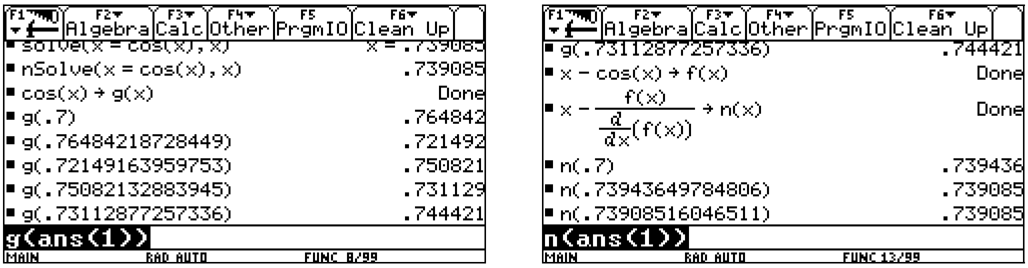


Figure 5

La figure 5 donne une preuve que les méthodes numériques classiques présentées aux étudiants (méthode du point fixe et méthode de Newton) sont réalisables de façon très facile avec une TI symbolique. Cela permet de passer du temps sur des notions telles la rapidité de convergence, obtenir des hypothèses de conditions suffisantes de convergence, ..., toutes des choses que nous ne faisions pas *avant* l'apparition de ces machines, de toutes façons.

Exemple 3: Quand prenons-nous le temps de nous attarder à la signification des formules, aux paramètres qu'elles contiennent? Plusieurs enseignants de mathématiques sont peu favorables à l'utilisation de la technologie en classe pour une raison tout à fait défendable. Ils ont, trop souvent, le souvenir que les cours de mathématiques dans lesquels la technologie est introduite dévient vers des cours de « programmation », que la théorie mathématique cède sa place à l'apprentissage d'une machine. Le point fort des calculatrices symboliques TI est leur facilité d'utilisation inégalée. On peut définir des fonctions comme on les écrit sur un papier. Tentez l'expérience suivante, disons dans un cours où le concept de séries de Fourier (sous forme complexe) est présenté. Vous donnez la résultat suivant aux étudiants (disant que cela devra être démontré éventuellement). Sous certaines hypothèses, une fonction 2π-périodique $f(x)$ peut se représenter par

$$f(x) \sim \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{inx} \quad \text{où} \quad c_n = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f(x)e^{-inx}\,dx \quad (n \in \mathbb{Z})$$

Demandez à vos étudiants de définir la suite des coefficients c_n. Il s'agit, ici, d'une fonction plus générale qu'une simple fonction. On devra aussi prendre le temps de savoir comment le système symbolique s'y prend pour reconnaître un entier. Le symbole de sommation est à son tour utilisé lorsque vient le temps de reconstituer la fonction. Voilà des mathématiques, de niveau un peu plus avancé, qui peuvent très bien se faire, en classe, avec tous les étudiants qui participent. Un cours de mathématiques peut très bien devenir intéressant et comporter des défis. Les figures qui suivent montrent une façon de définir la suite des coefficients de Fourier complexes c_n (il aurait été aussi facile de considérer une période quelconque) et un graphique d'une somme partielle de Fourier qui montre le lien avec le graphique de la fonction 2π-périodique

$$h(x) = x, \quad -\pi < x < \pi, \quad h(x+2\pi) = h(x)$$

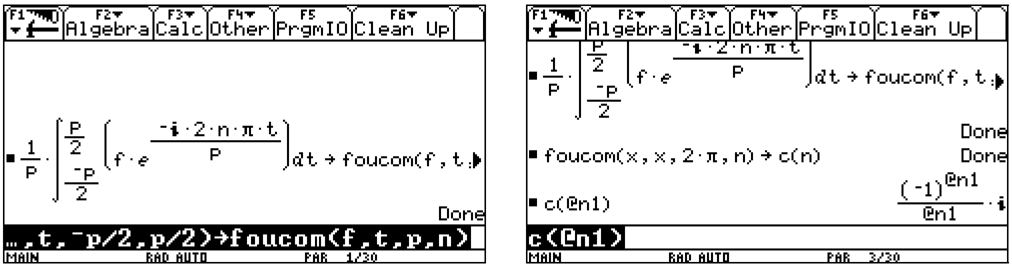


Figure 6

La figure 6 montre quelque chose que l'auteur de ces lignes a souvent fait en utilisant le logiciel *Derive* (bien que ce dernier possède déjà une fonction trouvant automatiquement une somme partielle de Fourier). À ce moment-là, les étudiants étaient impressionnés mais demeuraient spectateurs. Ils utilisaient un livre de table pour trouver les intégrales et ne pouvaient pas, évidemment, tracer un graphe d'une somme partielle de Fourier, sauf en se rendant au labo d'ordinateurs. Maintenant, la réalisation de tout cela (figure 6 et figure 7) est partie intégrante du cours, « live » en classe par le professeur ... et chacun des étudiants doit apprendre à le faire aussi.

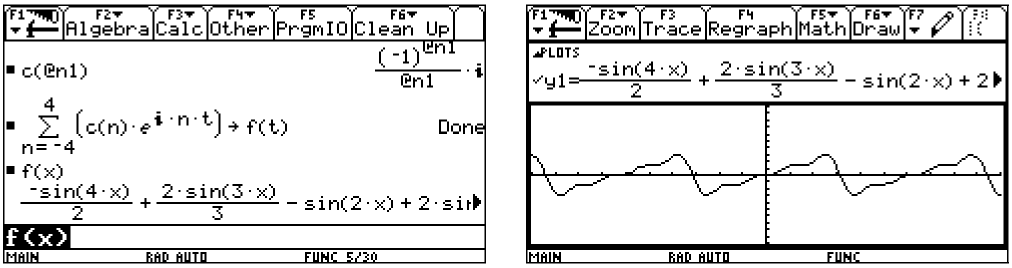


Figure 7

Ce dernier exemple vient aussi mettre en évidence des choix pédagogiques faits par les concepteurs/développeurs des calculatrices symboliques TI. Lorsque vous enseignez les mathématiques à de futurs ingénieurs, vous vous attendez à ce qu'ils sachent déjà effectuer des opérations de base en algèbre comme celles du menu F2 de la TI symbolique. Ainsi, un enseignant pourra laisser ses étudiants utiliser la commande « expand » à volonté si les fractions partielles ne sont pas le sujet de son cours. Mais, en même temps, la commande « expand » peut être utilisée pour un développement en fractions partielles complexes, donc on profite à la fois de cette commande pour « réviser » et pour « explorer ». Puisque la TI symbolique ne possède pas, à la base, une fonction « fourier », la calculatrice est alors utilisée pour effectuer le calcul des coefficients. Il reste à l'étudiant à créer la somme partielle et produire son graphique. Éventuellement, une fonction du type « fourier » ou une application Flash viendra faire le travail. On passera alors à autre chose. Tout est fonction de dosage, l'enseignant a un rôle de guide et de « surveillant ».

3. Conclusion : les mathématiques, seulement pour faire des applications?

La présence de calculateurs symboliques, auxquels des applications Flash peuvent être ajoutées, est peut-être une réponse à donner à ceux et celles qui se chamaillent sur la place que les mathématiques doivent occuper dans l'enseignement. Plutôt que de choisir entre ceux qui disent qu'on devrait enseigner les mathématiques de façon classique et ceux qui disent que tout concept mathématique devrait être introduit avec une application bien précise et *seulement* dans le but d'en faire une application, il y a, d'après nous, une bonne marge de manoeuvre. Tout enseignant le moindrement expérimenté peut trouver une avenue intéressante à explorer avec des étudiants, que ces derniers soient étudiants de mathématiques ou de génie. On devrait donc pouvoir introduire des concepts pour le plaisir de le faire ... mais, en même temps, puisque la technologie est là, présenter certaines (ou plusieurs) applications, ce qui était difficile, voire impossible, avant la présence de la technologie. L'exemple suivant a été donné à quelques reprises à des étudiants entrant en génie à l'ÉTS, au tout début de leurs études. Ce dernier exemple est aussi une synthèse des trois exemples précédents.

Exemple 4: remboursement d'un prêt personnel. Voilà une belle occasion pour introduire la série géométrique, le concept d'intérêts composés et d'annuités de fin de période. Une fois tout cela mis en place, on en déduit la formule suivante, pour le remboursement d'un prêt personnel :

$$\text{remb}(p,r,n) = \frac{pr(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

où p est le montant du prêt personnel, r le taux d'intérêt par période et n le nombre de périodes de remboursement (il est d'usage, pour un prêt personnel, de donner n en mois et r en taux annuel, qu'on divise alors par 12). On vient donc de définir une fonction de 3 variables ... dans un cours de calcul ... à une variable! Un aspect mathématique consiste à demander aux étudiants de résoudre pour p et pour n (belle application des logarithmes dans ce dernier cas). Ils ont, ici, un bel exemple d'une impossibilité de résolution par rapport à la variable r. Faites ce test avec vos étudiants. Demandez-leur de définir cette formule et de calculer (sans présumer de leur endettement éventuel!) le montant des remboursements mensuels sur un prêt personnel de $5 000, amorti sur 4 ans, au taux annuel de 8% (n'oubliez pas de choisir Fix 2 pour le mode d'affichage dans « Display Digits ») :

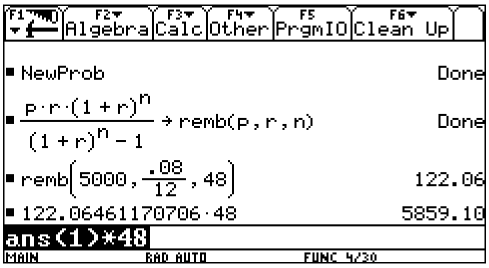


Figure 8

Ils sont en mesure de voir que les remboursements mensuels sont de $122.06 et que le prêt total (à moins d'être remboursé en totalité avant l'échéance) aura coûté $5 859.18, donc ils auront payé $859.18 en frais d'intérêts. Ils peuvent expérimenter le « solve » en changeant certains paramètres.

Ensuite, montrez-leur l'application Flash de Finances et tracez facilement le graphique du solde du prêt, en fonction du temps. Ils vont voir que les mathématiques servent à quelque chose et ils vont (peut-être) commencer à aimer cela...

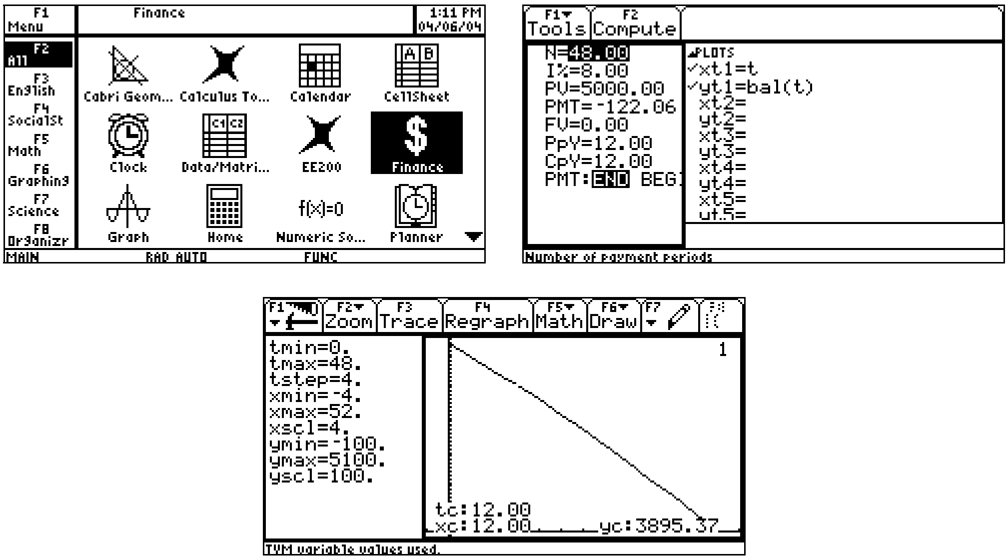


Figure 9

Il est intéressant de voir que cette « boîte noire » qu'est l'application Flash donne rapidement la valeur d'un quelconque paramètre (les autres étant fixés), beaucoup plus rapidement que le font le « solve » ou le « nsolve ». Ici, c'est l'application Flash qui est la « boîte noire », pas la calculatrice puisqu'on a eu à définir notre fonction. Mais après quelque temps, nous ne ferons peut-être plus la distinction entre ce qui est une boîte noire et ce qui ne l'est pas. On parlait précédemment du rôle de guide de professeur. Nous avons vu de nombreux étudiants défiler dans notre bureau depuis quelques années et qui ne savaient pas — leur a-t-on déjà dit? — comment utiliser le « solve » de la calculatrice lorsqu'ils cherchaient le taux d'intérêt. En fait, ici, le « nsolve » est un bien meilleur choix! Dans l'exemple qui nous concerne, supposons qu'on emprunte toujours $5 000 pendant 48 mois mais que les remboursements mensuels sont fixés à $125. Quel est le taux d'intérêt annuel?

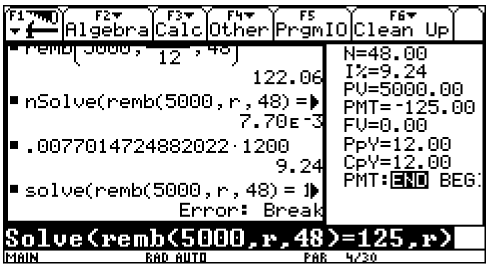


Figure 10

Tentez vous-mêmes l'expérience et vous constaterez que d'utiliser le « nsolve » est un bien meilleur choix que d'utiliser le « solve » (mais rien ne bat la vitesse de l'application Flash ici!). Voilà un exemple simple où une mauvaise utilisation de la technologie peut mener à toutes sortes de résultats à rejeter. L'utilisateur peu expérimenté peut en tirer des conclusions fausses. Cela constitue un danger et, est peut-être le point le plus négatif que nous ayons observé ces dernières années. L'étudiant que se fie aveuglément à sa calculatrice, sans questionner le résultat, sans même le vérifier. Qu'en était-il avant? Était-ce mieux? Chose certaine, un tel exemple ne pouvait pas être réalisé en classe, de façon aussi détaillée. Dans cet exemple, la technologie n'est pas intervenue tant et aussi longtemps que la formule de remboursement d'un prêt n'était pas établie. On a donc « fait » des mathématiques. Ensuite, la technologie nous a permis de définir cette fonction (donc faire de la « théorie ») et de faire des calculs (donc faire de la « pratique »), Ensuite, d'expérimenter en faisant varier un paramètre à la fois (« exploration »). L'application Flash vient jouer, ici, le rôle d'un programme qu'on installe sur son ordinateur afin de faire des choses spécifiques. On doit savoir comment l'utiliser sans en connaître nécessairement les détails. Elle nous donne rapidement la solution à une équation du type

$$x = \frac{pr(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

où x, p et n sont connus et où r est l'inconnu. On refait des mathématiques avec nos étudiants en indiquant que la dernière équation, lorsque réécrite sous la forme

$$x\left((1+r)^n - 1\right) = pr(1+r)^n,$$

possède toujours la valeur $r = 0$ comme solution ... c'est pour cela qu'il est important de savoir utiliser un « solveur » de façon efficace. Voudrait-on que les étudiants sachent cela alors que de nombreux enseignants ne le savent pas eux-mêmes?

Nous pensons sincèrement que le message que la technologie nous envoie en est un de rendre plus vivantes les mathématiques enseignées. *Faire du neuf avec du vieux* pour employer une expression du collègue Josef Böhm, pousser plus loin les problèmes. Le bilan que nous faisons est très positif : cela ne peut être autre compte tenu que la technologie a été, pour l'auteur de ces lignes ainsi que le co-auteur, un formidable remède à l'enseignement répété de 4 ou 5 cours différents sur une période de 13 ans. Il ne doit pas y avoir beaucoup d'autres façons pour donner un regain d'énergie à des professeurs qui enseignent depuis plusieurs années les mêmes matières mais qui réussissent à se renouveler et garder le goût d'enseigner. C'est ce que la technologie des TI symboliques, avec toute sa puissance et sa facile d'utilisation, nous a permis de faire et de continuer de faire.

L'avenir? D'après nous, le principal défi sera de réussir à capter l'attention de la majorité des étudiants en leur donnant le goût des mathématiques. Leur montrer que les maths, ça peut être captivant ... surtout si l'on voit que ça peut servir. Et leur dire que la technologie constitue un moyen d'apprendre et de s'aider, mais qui ne remplace pas l'analyse et l'effort à y mettre. Mais surtout, ne pas les décourager à utiliser la technologie : au contraire, les encourager et les guider. « Réviser des trucs classiques dans un environnement stimulant et explorer de nouvelles avenues : voilà ce que nous avons fait et que nous voulons continuer de faire. » Voilà ce qu'il nous *faudra* continuer de faire.

REFERENCES

[1] Beaudin, Michel, *Using the TI-92 Plus*. Communication présentée à IMACS-ACA 99, El Escorial, Espagne, 24-28 juin 1999.

[2] Beaudin, Michel, *Supporting Engineering Mathematics with the TI-92*. The International Journal of Computer Algebra in Mathematics Education. Vol. 7, No. 2, 2000.

[3] Beaudin, Michel, Picard Gilles* et Kathleen Pineau. *La calculatrice symbolique dans l'enseignement des mathématiques*. Communication présentée à TIC et Péd@gogie universitaire, Hull, Québec, Canada, 4-5 mai 2001.

[4] Beaudin, Michel et Kathleen Pineau. *Examples of how we use Symbolic, Hand-held Calculators in Teaching Engineering Mathematics*. Communication présentée à ACA-01, Albuquerque, NM, USA, 31 mai-3 juin 2001.

[5] Beaudin, Michel, *Teaching Mathematics to Engineering Students with Hand-Held Technology*. Communication présentée à ICTM2, Hersonissos, Crète, Grèce, 1-6 juillet 2002.

[6] Picard, Gilles, *Les calculatrices symboliques et la formation en génie*. Communication présentée à FITIC 2003, Montréal, Québec, Canada, 8 mai 2003.

[7] Picard, Gilles, Pineau Kathleen. *Help in using Symbolic, Hand-held Calculators in Teaching Engineering Mathematics.* 7th International Conference on Applications of Computer Algebra, Albuquerque, Nouveau Mexique, USA, 31mai-3juin 2001.

[8] Picard, Gilles, Pineau Kathleen. *Symbolic, Hand-held Calculators in Teaching Engineering Mathematics.* Proceedings of the 12th Canadian Conference on Engineering Education, Victoria, British Columbia, Canada, August 23-25 2001.