

RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL 2B L'APPRENTISSAGE À L'ÈRE DE LA TECHNOLOGIE

Coresponsables:

- Tom Steinke, Ottawa-Carleton Catholic School Board, Ontario
- France Caron, Université de Montréal, Québec

Liste des participants:

| Participant | Province | Institution |
|---------------------|-----------------|--|
| Calvin Armstrong | ON | Appleby College |
| Jacques Bélair | QC | Université de Montréal |
| Jon Borwein | NS | Dalhousie University |
| Kathleen Bracken | SK | SMT Math Teachers' Society |
| Jocelyn Dagenais | QC | Commission scolaire Marie-Victorin |
| Philippe Etchecopar | QC | Cégep de Rimouski |
| Ron Fitzgerald | NS | MathResources, Inc. |
| Shawn Godin | ON | Ottawa-Carleton District School Board |
| Bradd Hart | ON | McMaster University |
| Robin Kay | ON | UOIT |
| Dave Lidstone | BC | Langara College |
| Ronald MacLean | NS | Cape Breton-Victoria Regional School Board |
| Dragana Martinovic | ON | Sheridan Institute of Technology & Advanced Learning |
| Geoffrey Roulet | ON | Queen's University |
| Sébastien Simard | QC | Protic, Commission scolaire des Découvreurs |
| Patrick St-Cyr | QC | Commission scolaire du Chemin-du-Roy |
| Joel Yan | ON | Statistics Canada |

Ce groupe de travail de 19 enseignants de mathématiques, didacticiens et mathématiciens a procédé à un bilan et à une analyse critique des formes que prend l'apprentissage des mathématiques « à l'ère de la technologie » dans leurs régions et contextes respectifs. Ce groupe a poursuivi le travail entrepris dans l'Atelier 4 au précédent *Forum canadien sur l'enseignement des mathématiques*, qui s'était tenu à Montréal en 2003, et dont le rapport est disponible à l'adresse suivante :

http://www.cms.math.ca/Events/CSMF2003/proceedings/grp_4e.pdf

Le plan de travail du groupe, autour duquel s'est articulée la réflexion, comprenait les quatre thèmes suivants:

- Exploration des possibilités
- Un curriculum à forte teneur technologique
- Outils technologiques et tâches mathématiques
- Formation continue des enseignants.

Exploration des possibilités

Le groupe de travail a d'abord cherché à préciser les compétences mathématiques dont le développement paraît pouvoir bénéficier de l'intégration appropriée de différentes ressources technologiques dans l'apprentissage des mathématiques. Les quatre compétences qui sont ressorties de cette analyse sont les suivantes:

- exploration,
- communication,
- modélisation et
- raisonnement.

Le groupe a ensuite consacré une part importante du temps de travail au partage d'expériences et de connaissances sur les utilisations spécifiques de différents outils technologiques qui s'inscrivaient dans le développement de ces compétences. En voici quelques exemples.

On sait depuis un bon moment déjà que l'utilisation des possibilités graphiques, incluant la visualisation d'objets tridimensionnels et les environnements de géométrie dynamique, favorise l'exploration d'objets mathématiques (possiblement complexes) et l'élaboration de conjectures. Ce qui ressort moins clairement des recherches en didactique est la façon de coordonner une telle exploration dans ces environnements (et le raisonnement inductif qu'elle soutient) avec la motivation (voire la nécessité) de passer ensuite à une preuve plus formelle, qui contribuerait au développement du raisonnement déductif. La combinaison d'un logiciel de géométrie dynamique (Geometer's Sketchpad) avec un logiciel de communication en temps réel (Elluminate Live!) a été présentée comme un exemple d'environnement riche d'apprentissage collaboratif pouvant aider à accroître la motivation à prouver, à travers la possibilité donnée aux étudiants de partager leurs constructions et de communiquer leurs idées et conjectures, entre eux et même avec un mathématicien comme participant à distance.

Comme les technologies permettent d'affronter la complexité des situations issues du monde réel, plusieurs participants ont contribué par leurs exemples à illustrer comment certaines utilisations spécifiques peuvent participer au développement de compétences de modélisation.

- L'utilisation de la vidéo pour générer des données (ex. avec le logiciel de collecte de données Logger Pro) peut aider à développer la modélisation à travers les représentations graphiques (prédiction, validation et interprétation du comportement de variables associées à une expérience) et favoriser la compréhension du symbolisme mathématique, qu'on peut introduire plus tard.
- La combinaison de grandes bases de données (ex. de Statistique Canada) avec des outils de représentation et de traitement de données (TinkerPlots, Fathom, ou même Excel) constitue un environnement qui aide au repérage, par une exploration graphique, des relations entre les variables et permet d'asseoir sur des bases solides l'apprentissage de la statistique inférentielle.
- Dans certains cours d'introduction au calcul différentiel et intégral où l'on utilise un logiciel de calcul symbolique (comme Maple), on est passé du développement d'habiletés traditionnelles de manipulation calculatoire à la modélisation et à la simulation de situations réelles à l'aide de fonctions et

d'équations différentielles. En plus d'exiger des étudiants une approche structurée dans la spécification du problème dans une forme qui puisse être traitée par le logiciel, cette façon d'intégrer la technologie a ouvert les cours de mathématiques à des problèmes interdisciplinaires et à l'utilisation d'une approche scientifique, dans la formulation et la validation d'hypothèses.

- La complexité des systèmes dynamiques peut être modélisée, simulée et analysée avec différents outils logiciels :
 - Un outil comme Stella permet, grâce à son interface à base d'icônes, une approche graphique de la modélisation, dans la construction de diagrammes où les variables sont représentées par des réservoirs, et les variations (associées à des processus discrets ou continus) par des flux.
 - Les tableurs (ex. Excel) peuvent être utilisés pour modéliser et simuler des systèmes dynamiques avec des équations aux différences.
 - Des applets peuvent être utilisés dans des cours de mathématiques de premier cycle universitaire pour visualiser les représentations d'objets ou de processus typiques de l'analyse qualitative de modèles (plans de phase, diagrammes « cobweb », champs de vecteurs, bifurcations, etc.)

Tous ces différents exemples ont clairement montré qu'il existe actuellement plusieurs ressources d'une grande richesse pour soutenir une intégration des technologies qui participe au développement de l'exploration, de la communication, de la modélisation et du raisonnement en mathématiques. Cependant, le groupe a aussi reconnu que la disponibilité de telles ressources, bien que nécessaire, ne suffit pas à assurer une utilisation effective de la technologie.

Les enseignants constituent la clé d'une utilisation de la technologie par les étudiants comme instrument dans l'exercice d'une pensée critique. Cette idée sera développée dans la dernière section de ce rapport.

Un curriculum à forte teneur technologique

Avec les réformes qui se succèdent, les différents programmes de mathématiques à travers le Canada font de plus en plus référence à la technologie. Les calculatrices graphiques, surtout les TI 83/84, semblent être les outils technologiques les plus répandus à travers les écoles secondaires pour atteindre les buts visés par les programmes. En plus des applets que dénichent les enseignants pour illustrer des concepts, les autres outils utilisés dans les écoles secondaires incluent les logiciels de traitement de données (Excel, QuatroPro, Fathom, TinkerPlots), et les logiciels de géométrie dynamique (Geometer's SketchPad, Cabri Géomètre). Les logiciels de calcul symbolique (Maple, Derive, TI 89, Voyage 200) sont les outils les plus utilisés dans les cours de mathématiques de niveau postsecondaire, mais leur degré d'utilisation semble très variable d'une institution à l'autre, ainsi qu'à l'intérieur d'une même institution. Il est apparu très important au groupe de travail que soit communiquée, particulièrement aux universités, l'importance d'intégrer des outils technologiques qui, d'une part, s'inscrivent dans la continuité de ce que les étudiants ont utilisé dans leur formation mathématique au secondaire et, d'autre part, préparent à l'utilisation d'outils typiquement utilisés dans les secteurs où les mathématiques sont développées et/ou appliquées. La présence croissante des ordinateurs de poche avec accès sans fil pourrait possiblement changer le paysage dans un avenir

rapproché. Mais le groupe était aussi d'avis que les outils seuls ne définissent pas l'adéquation de l'intégration des technologies dans le curriculum mathématique: il faut regarder aussi la façon dont ces outils sont utilisés par les enseignants et les étudiants, et pour quel contenu mathématique.

Avec l'intégration de la technologie, certains contenus mathématiques peuvent être abordés plus tôt, mais cela ne signifie pas pour autant qu'ils devraient l'être. Il convient d'abord d'examiner si un tel contenu est important sur le plan mathématique, en tenant compte justement de la présence de la technologie, ou si un contenu différent ne serait pas plus pertinent pour développer les compétences requises dans cette pratique mathématique en pleine évolution. Au lieu de se limiter à regarder comment la technologie peut aider ou accélérer l'apprentissage de contenus mathématiques traditionnels, il faut ouvrir le questionnement en regardant aussi quels types de problèmes mathématiques pourraient être maintenant abordés par les étudiants à l'aide de la technologie, quels concepts et techniques (« nouveaux » et « anciens ») seraient mobilisés dans la résolution de tels problèmes, et comment la résolution de ces problèmes pourrait contribuer au développement d'une pratique mathématique créative, puissante et rigoureuse.

L'idée d'« adéquation développementale » a été soulevée. Plusieurs ont exprimé l'avis qu'il convient d'être prudent dans les recommandations curriculaires pour éviter que les outils technologiques qui y sont prônés ne mettent les étudiants dans une position où ils ne disposent d'aucun moyen, mathématique ou technologique, pour contrôler les résultats produits par de tels outils. Pour aider à assurer une telle « adéquation développementale », les décisions doivent impliquer les enseignants appelés à utiliser les différents outils recommandés avec leurs étudiants.

L'intégration de la technologie dans l'évaluation continue de poser problème à travers le pays. D'une part, si les tâches qui sont évaluées ne font jamais de place à la technologie, alors il est clair que le développement d'une pratique mathématique qui intègre la technologie de façon pertinente n'est pas un enjeu de l'apprentissage, reconnu par l'institution. D'autre part, assurer une évaluation juste et honnête dans des examens qui intègrent les technologies constitue un défi toujours renouvelé face à la créativité des étudiants. Les questions d'accès et d'équité pour les évaluations en classe et à grande échelle demeurent ouvertes. Tous ces éléments concourent à montrer que l'intégration de la technologie dans l'enseignement des mathématiques demande de repenser sérieusement l'évaluation dans un tel contexte. Des projets étendus sur une période plus longue, où les étudiants sont impliqués dans la planification et peuvent bénéficier de périodes de consultation avec l'enseignant, constituent une possibilité à considérer dans l'ensemble des activités mises à contribution dans l'évaluation.

Le groupe de travail a conclu que le curriculum et l'évaluation doivent évoluer en accord avec l'intégration des technologies si l'on veut favoriser l'engagement des étudiants dans une pratique mathématique qui ait du sens, qui soit cohérente et qui ouvre le champ des problèmes résolubles, de la maternelle au postsecondaire.

Outils technologiques et tâches mathématiques

Le groupe de travail s'est penché sur la progression dans l'utilisation qui est faite de la technologie dans l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques, depuis des environnements préconstruits et bien contrôlés jusqu'à des environnements ouverts et

propices à la créativité. Il faut aller au-delà des tâches essentiellement techniques et relativement pauvres sur le plan cognitif pour libérer le potentiel didactique de la technologie et permettre aux étudiants de prendre progressivement le contrôle des outils qu'ils utilisent. La formation continue des enseignants a été reconnue comme la clé de la réussite du passage à des utilisations plus riches de la technologie.

Les technologies offrent aux enseignants de nouvelles approches d'enseignement et ouvrent de nouvelles portes pour accéder à des idées mathématiques importantes. Mais il est nécessaire de faire en sorte que l'autonomie des étudiants dans le développement de leurs connaissances et dans l'utilisation de ces idées ne souffre pas du choix des outils utilisés et des tâches soumises aux étudiants. Comme règle générale, il convient de privilégier les outils et les tâches où les étudiants peuvent progressivement développer leurs propres constructions. Et il faut constamment chercher des façons de les aider à voir au-delà de l'écran et contrôler les réponses qu'ils obtiennent, à partir de leurs connaissances ou en créant le besoin de nouvelles connaissances. La mise à contribution de situations issues de contextes en lien avec les intérêts des élèves est une façon parmi d'autres d'encourager un regard critique sur les modèles utilisés et les résultats obtenus.

Une approche complémentaire consiste à promouvoir la diversité d'approches dans l'utilisation des fonctions d'un outil et à amener les étudiants à déterminer si ces différentes approches peuvent être considérées équivalentes. En plus de faire ressortir le besoin de connaître les propriétés mathématiques (comme critère de validation), cette approche peut conduire à l'apprentissage de certains processus techniques (discrétisation, itération, etc.) qui implémentent à l'intérieur de l'outil les objets et processus mathématiques, et peuvent donner lieu à des décalages avec les objets idéaux qu'ils sont censés représenter.

L'apprentissage de ces processus techniques pourrait, dans les cours de mathématiques au postsecondaire, mener à l'apprentissage de certains éléments de programmation, puisque l'autonomie et la créativité nécessaires à la résolution de problèmes complexes avec certains des outils logiciels plus sophistiqués (ex. Maple ou Matlab) repose encore partiellement sur la capacité à programmer.

Formation continue des enseignants

Il est devenu clair très rapidement que la formation continue des enseignants constitue un enjeu critique, complexe et de longue haleine, qu'il est essentiel de viser pour réaliser le potentiel didactique des technologies, ou de tout outil qu'on souhaite intégrer à l'enseignement et à l'apprentissage des mathématiques. Il semble que les enseignants ressentent une saturation collective du modèle « formons-le-formateur » auquel la plupart ont été exposés récemment dans leur perfectionnement professionnel. Les ateliers pour les enseignants du secondaire sur l'utilisation de leurs calculatrices graphiques, organisés par le fournisseur de technologie éducative, semblent mieux répondre aux besoins de formation. Un intérêt récent pour les communautés d'apprentissage professionnelles a généré des approches novatrices pour la formation continue qui pourraient aider à mieux définir les conditions nécessaires pour un perfectionnement professionnel efficace.

Les traditionnels colloques et congrès locaux, régionaux et provinciaux sur l'enseignement des mathématiques ont souvent un nombre important d'ateliers ou de séances centrées sur les outils technologiques disponibles et pertinents pour les contextes

d'enseignement visés. La question de l'efficacité de tels véhicules pour soutenir le changement dans la pratique enseignante demeure ouverte. Il semble qu'un tel changement ne peut se faire sans la réalisation de conditions qui commencent tout juste à émerger et qui incluent : du temps, des collaborations, des ressources, du soutien par des experts. L'école devrait devenir le lieu où, de façon continue, en collaboration avec les collègues, durant les jours d'école et tout au long de leur carrière, tous les enseignants peuvent apprendre à enseigner les mathématiques avec de nouveaux outils technologiques avant que leurs étudiants soient appelés à apprendre les mathématiques avec ces outils. Cela pourrait signifier un accès anticipé aux outils de façon à ce que tous les enseignants puissent apprendre ensemble. Des alternatives au modèle « toute-la-classe-va-au-laboratoire » devraient être envisagées : par exemple, il faudrait trouver des moyens d'utiliser efficacement les deux ou trois ordinateurs d'une classe, de façon à maintenir une intégration signifiante et cohérente des technologies dans l'apprentissage des mathématiques.

Le groupe de travail recommande qu'un réseau national d'experts en technologie puisse être créé et soutenu. Le groupe recommande aussi que des ressources médiatisées telles que des vidéos en ligne, montrant des utilisations riches et efficaces de la technologie, soient créées pour soutenir le perfectionnement des enseignements de mathématiques à travers le pays.

Annexe : Ressources suggérées pour soutenir l'intégration des technologies en maths

| Outils de représentation graphique | |
|--|--|
| TI Education | http://education.ti.com/educationportal/ |
| Peanut Software Homepage | http://math.exeter.edu/rparris/default.html |
| WIMS | http://wims.unice.fr/wims/wims.cgi?lang=fr |
| Logiciels de géométrie dynamique | |
| Cabri-géomètre | http://www.cabri.com/v2/pages/fr/index.php |
| AbraCadaBRI | http://www-cabri.imag.fr/abracadabri/ |
| GS Resource Center | http://www.keypress.com/sketchpad/ |
| King, J. and Schattschneider, D. (Eds.), <i>Geometry Turned On: Dynamic Software in Learning, Teaching and Research</i> , MAA Notes #41, The Mathematical Association of America, 1997. | |
| Données statistiques | |
| Statistics Canada Statistique Canada | http://www.statcan.ca/english/edu/index.htm http://www.statcan.ca/francais/edu/ |
| Environnement Canada Environment Canada | http://www.ec.gc.ca/environment_f.html http://www.ec.gc.ca/environment_e.html |
| Tableurs | |
| Spreadsheets and math | http://sunsite.univie.ac.at/Spreadsite/ |
| Excel et le cours de math | http://www.brunette.brucity.be/iphs/math/ |
| Logiciels de calcul symbolique | |
| Calculatrices TI à l'ÉTS | http://www.seg.etsmtl.ca/ti/home.html |
| TI Education | http://education.ti.com/educationportal/ |
| Le saut quantique, Logiciels | http://www.apsq.org/sautquantique/doss/d-logiciels.html |
| Le Stang, Apprendre Maple | http://alamanya.free.fr/index.html |
| Maple Application Center | http://www.maplesoft.com/applications/index.aspx |
| Maple Student Center | http://www.maplesoft.com/academic/students/index.aspx |
| Maple at MIT | http://web.mit.edu/afs/athena.mit.edu/software/maple/www/home.html |
| Guin, D. et Trouche, L. (dir.) <i>Calculatrices symboliques : transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique</i> , Grenoble : La Pensée Sauvage, 2002. | |
| Autres logiciels | |
| Illuminate | http://www.illuminate.com/ |
| Vernier Software (LoggerPro) | http://www.vernier.com/soft/index.html |
| ISEE Systems (Stella) | http://www.iseesystems.com/index.aspx |
| Ressources générales | |
| MathTools | http://mathforum.org/mathtools/ |
| Key Curriculum Press | http://www.keypress.com/ |
| Masalski, W.J. (Ed.), <i>Technology-Supported Mathematics Learning Environments</i> , NCTM Sixtyseventh Yearbook, 2005. | |
| Galbraith et al. (Eds.) <i>Mathematical Modelling – Teaching and Assessment in a Technology-Rich World</i> , Horwood Series in Mathematics and Applications, 1998. | |