

L'INTEGRATION DE L'ORDINATEUR DANS L'ENSEIGNEMENT DE LA GEOMETRIE EN TANT QUE PROJET DE FORMATION CONTINUE AUX U.S.A.

Richard ALLEN, Judith CEDERBERG, Martha WALLACE

Les dernières années ont vu une évolution dans la conception de l'apprenant : d'un être qui absorbe passivement ce qu'on présente devant ses yeux, il est devenu un constructeur actif de connaissances. Passant à l'autre côté de l'équation pédagogique, à savoir, à l'enseignant, il va de soi que l'enseignement consiste non pas dans la présentation de nouvelles idées et de nouveaux concepts à l'apprenant, mais plutôt dans l'aide fournie à celui-ci pour lui permettre d'intégrer dans les structures de connaissance déjà existantes les nouvelles connaissances [1].

Les *Curriculum and Evaluation Standards* proposés en 1989 aux Etats-Unis par le National Council of Teachers of Mathematics (NCTM) [2] prend comme point de départ les conceptions citées ci-dessus de l'apprenant et de l'enseignant. Afin d'engager les apprenants dans un apprentissage actif, le document demande à l'enseignant qu'il mette davantage l'accent sur les pratiques didactiques suivantes : (1) la recherche de l'engagement actif des apprenants à la construction et à l'application des idées mathématiques ; (2) le recours à la résolution des problèmes comme un moyen aussi bien qu'un but de l'enseignement ; (3) le recours à diverses formes d'enseignement ; (4) l'emploi de la calculatrice et de l'ordinateur comme outils d'apprentissage ; (5) la communication des idées mathématiques non seulement à l'écrit, mais à l'oral.

De plus, le document recommande à l'enseignant qu'il mette un moindre accent sur les pratiques suivantes : (1) le recours exclusif en tant que source(s) de connaissances à soi-même et au manuel scolaire ; (2) le recours à des périodes étendues consacrées au travail individuel sur des tâches de routine ; (3) le recours au cours magistral ; et (4) le recours trop important au travail papier crayon répétitif.

L'article qui suit, présente un projet réalisé dans le cadre du département des mathématiques à St. Olaf College (Northfield, MINNESOTA U.S.A.) et dont le but est de transformer l'enseignement et l'apprentissage de la géométrie au niveau secondaire dans le champ d'étude actif et dynamique envisagé dans le document du NCTM cité ci-dessus et prôné par ses diverses recommandations. Dans l'ensemble, notre projet vise deux buts. Le premier est d'aider des enseignants de géométrie à développer les connaissances, les capacités, et la confiance nécessaires à l'utilisation d'outils informatiques, ceci afin de transformer les cours de géométrie en des communautés mathématiques où les apprenants explorent, supposent, vérifient et font des mathématiques et où l'enseignant, plutôt qu'autorité seule et source unique des réponses correctes, sert de partenaire dans la recherche. Le deuxième but du projet est d'aider les mêmes enseignants à partager leurs compétences avec d'autres enseignants, y compris des élèves-professeurs.

Le projet adopte les principes de base suivants : (1) le recours à la technologie informatique permet d'améliorer de façon significative l'enseignement et l'apprentissage de la géométrie ; (2) les enseignants, ainsi que les apprenants, doivent construire leur propre connaissance, ceci à travers l'engagement actif ; (3) les programmes de formation continue des enseignants doivent comporter un enseignement portant sur la matière ainsi qu'un enseignement portant sur la pédagogie proprement dite ; (4) tout effort visant l'amélioration de l'enseignement doit nécessairement engager depuis le début, dans l'organisation du projet ainsi que dans sa mise en oeuvre, non seulement des enseignants-chercheurs universitaires, mais aussi et surtout des enseignants du second degré travaillant actuellement sur le terrain ; (5) un projet visant l'amélioration de l'enseignement doit comporter un soutien administratif, financier, et psychologique étendu et à long terme.

S'inspirant de ces principes, le projet aide des enseignants à développer des stratégies pour l'utilisation de l'ordinateur propres à eux-mêmes et aux situations didactiques dans lesquelles ils se trouvent, ceci dans le but d'améliorer et l'enseignement et l'apprentissage. Le principal véhicule de mise en oeuvre est le *scénario*, un ensemble de matériaux composé de plans de leçons spécialisés prévoyant une série d'étapes dans l'enseignement d'un thème particulier (par exemple, les triangles, les transformations), accompagnés d'une ample documentation écrite utilisant et intégrant l'ordinateur comme outil didactique. (La documentation comprend des fiches destinées à l'usage des apprenants.) [3]. Tous les enseignants qui font partie de notre projet ont écrit des

scénarios dont ils se servent actuellement ; après utilisation, les enseignants critiquent non seulement les scénarios qu'eux-mêmes ont écrits, mais aussi ceux écrits par d'autres enseignants membres du projet.

ORGANISATION DU PROJET

La structure du projet est celle d'un réseau qui grandit et s'ouvre progressivement. A partir des trois enseignants-chercheurs universitaires qui constituent le noyau, le réseau grandit en quatre étapes progressives pour accueillir d'abord dix maîtres-enseignants de géométrie du niveau secondaire, puis une quarantaine d'enseignants de géométrie du secondaire moins expérimentés, et finalement des collègues qui travaillent dans les mêmes établissements que les cinquante enseignants. A chaque niveau du réseau il y a des « experts » dont la fonction est de fournir une aide à ceux du niveau suivant, ce qu'ils accomplissent progressivement, fonctionnant d'abord comme « entraîneurs » et catalyseurs de l'apprentissage pour évoluer petit à petit en mentors ou guides, et éventuellement en vrais collègues qui collaborent à égalité.

Niveau 1 : Chercheurs universitaires

Le Niveau 1 du réseau est composé de trois enseignants-chercheurs universitaires, co-directeurs du projet dont les fonds ont été obtenus de la National Science Foundation¹, qui, en plus de faire preuve de leur compétence dans les domaines de la didactique des mathématiques, de la géométrie, et de l'informatique, servent aussi d'enseignants, d'entraîneurs, de facilitateurs et de mentors auprès des enseignants du secondaire qui, eux, vont former le réseau en voie d'élargissement.

Niveau 2 : Teacher Action Group (TAG)

Les trois enseignants-chercheurs ont accueilli dans le projet dix enseignants du secondaire de géométrie, nommés TAG (Teacher Action Group), qui ont participé à tout le planning fait par la suite. Les critères de sélection qui dictaient le choix des TAG étaient : (a) l'intérêt, le savoir et l'expertise en géométrie et dans l'enseignement de celle-ci dont faisait preuve le candidat ; (b) la proximité géographique du domicile du

1. NSF grant TPE-8955118, « Teachers Empowering Teachers Computers in Geometry Classrooms »

candidat de St. Olaf College ; et (c) le soutien professionnel et personnel accordé préalablement au candidat par son directeur d'établissement.

Pendant la première année du projet (1990-91), les enseignants TAG étaient pour la plupart des apprenants qui ont d'abord participé à un atelier de deux semaines de durée où, en plus de suivre des cours de géométrie, de didactique des mathématiques, et d'informatique, ils ont écrit des scénarios, pour passer ensuite à l'étape suivante, à savoir l'utilisation, avec l'aide des enseignants-chercheurs, des scénarios dans l'enseignement même.

Pendant l'atelier de juin 1990, les TAG ont étudié certains aspects de la géométrie moderne, y compris les géométries finies et non-euclidiennes, ainsi que les approches analytiques de la géométrie transformationnelle. Ils se consacrent non seulement à l'étude approfondie des *Standards* du NCTM et d'autres recommandations et directives prônant la réforme, mais aussi portent leur attention sur des questions plus générales et sur des propositions précises pour favoriser l'intégration de l'ordinateur dans l'enseignement de la géométrie [4] [5] [6]. En plus, ils se familiarisent avec un certain nombre d'environnements informatiques d'apprentissage destinés à l'enseignement de la géométrie [Geometric Supposers and Transformations (Sunburst), Geometer's Sketchpad (Key Curriculum Press), LogoMath (Terrapin), Rene's Place (Ron Genise), Euclid's Toolbox (Heartland Software), et IBM Geometry (IBM)]. Enfin, chaque enseignant, ayant ciblé un thème particulier faisant partie du programme du premier trimestre de l'année suivante, et ayant choisi un micromonde conforme aux objectifs pédagogiques visés et au matériel qu'il a à sa disposition, fait l'ébauche d'un scénario dont le but est de promouvoir l'engagement actif des apprenants dans l'exploration du thème. (La plupart des enseignants finissent par choisir les Geometric Supposers, ceci étant dû essentiellement à l'indisponibilité d'ordinateurs autres que l'Apple II dans les laboratoires. Cependant, il y a deux enseignants qui choisissent le Geometer's Sketchpad comme outil principal d'enseignement ainsi que d'autres qui s'en servent pour effectuer des démonstrations. Suite à l'atelier de juin, les TAG ont consacré chacun huit jours supplémentaires au développement du scénario, tous les scénarios étant revus et critiqués par tous les TAG ainsi que par les trois enseignants-chercheurs réunis pour un deuxième atelier, celui-ci de deux jours de durée, ayant eu lieu à la fin de l'été (1990)

En enseignant la géométrie à l'aide des scénarios de leur propre création ainsi que de celle de leurs collègues, les enseignants TAG évaluent ceux-ci tout en tenant compte à l'écrit de leurs propres réflexions et du progrès qu'ils réalisent, eux, à travers l'acte d'enseigner de manière nouvelle une matière qu'ils connaissent. Lors d'une réunion de deux jours (janvier 1991), les TAG ont eu l'occasion de comparer et d'évaluer devant tout le groupe réuni et de façon systématique certaines de leurs expériences et de préparer, en collaboration avec les trois enseignants-chercheurs, l'étape suivante du projet. Au printemps 1991, les TAG ont enseigné en plus des scénarios de l'année précédente, un scénario sur les fractales préparé par les trois enseignants-chercheurs, expérience qui offre l'occasion de réfléchir sur l'enseignement d'une matière dont leur connaissance est évidemment de récente acquisition et donc limitée. (Voir [7] qui décrit les expériences d'une enseignante.)

Tout au long de la première année du projet, les TAG ont analysé leur expérience de l'enseignement à l'aide des scénarios et leurs réactions à celui-ci, ceci en partie pour mieux se préparer aux rôles d'enseignant et de mentor qu'ils vont assumer vis-à-vis des enseignants du Niveau 3. Ils ont donné leurs conseils aux professeurs de St. Olaf à propos de toutes les activités dans la suite du projet.

Niveau 3 : Extended Network Teachers (ENT)

A l'automne 1990, les trois enseignants-chercheurs ont fait distribuer aux enseignants de mathématiques secondaires dans un rayon de 200 miles de St. Olaf College une brochure publicitaire qui, en plus de décrire le projet, contenait aussi un formulaire permettant à l'enseignant de faire une demande de participation à la troisième étape du projet, à savoir, celle des enseignants ENT (Extended Network Teachers). L'enseignant désirant participer au projet devait décrire son expérience professionnelle préalable, définir les objectifs professionnels et personnels qu'une telle participation lui permettrait de réaliser, et confirmer le soutien administratif du directeur de son établissement. Le profil professionnel des candidats qui ont été choisis couvre toute une gamme ; il y en avait dont le profil égalait celui des TAG, d'autres qui étaient dans leur première année d'enseignement. En plus d'une connaissance pour le moins superficielle des *Standards* et d'une volonté d'expérimenter avec de nouveaux prototypes d'enseignement, la plupart des candidats choisis s'intéressent à l'utilisation de l'ordinateur comme outil d'apprentissage permettant à l'apprenant non seulement de s'engager activement dans la découverte et mais surtout de dépasser le

stade du travail répétitif seul. Quarante individus venant de partout dans l'état du Minnesota ont été sélectionnés comme enseignants ENT.

Le programme des enseignants ENT a commencé par un atelier de deux semaines de durée qui a eu lieu le deuxième été du projet (juin 1991). Conformément à une suggestion faite par les TAG, on fait connaître aux enseignants ENT les principes sous-tendant le projet par un article [8] qu'il faut lire avant d'arriver sur le campus. Comparé à l'atelier de juin 1990, celui de la deuxième année était plus structuré, ceci pour deux raisons. D'abord, puisque les ENT ne bénéficieraient ni des huit jours de travail supplémentaire suite à l'atelier proprement dit ni de l'atelier de deux jours à la fin de l'été, lesquels avaient fourni aux TAG du temps à part pour la création des scénarios et la critique de ceux-ci. Il semblait essentiel d'accorder à tous les ENT, dans le contexte de l'atelier proprement dit, le temps nécessaire au développement d'un scénario suffisamment mis au point pour permettre son utilisation l'année suivante. Le deuxième facteur qui nous a recommandé un atelier plus structuré relève de notre expérience de la première année, car afin de faire découvrir aux TAG tout seuls (plutôt que de leur révéler de façon explicite) autant de connaissances que possible, on les avait poussés à la limite de leur capacité lors de l'atelier initial. Quoique ce procédé ait bien réussi auprès d'un groupe de maîtres-enseignants, il ne semblait ni souhaitable ni possible de soumettre à la même frustration un groupe d'enseignants plus divers. Pour ne donner qu'un seul exemple du procédé employé lors de l'atelier initial, on avait demandé aux TAG de se familiariser avec certains logiciels estimés par les trois enseignants-chercheurs contradictoires aux objectifs du projet, ceci dans le but de faire valider les conclusions de ceux-là par ceux-ci. (Le procédé réussit, car non seulement les TAG ont rejeté les mêmes logiciels que les enseignants-chercheurs, mais en même temps, l'observation de contre-exemples leur permettent d'approfondir leur compréhension des caractéristiques qui distinguent un logiciel d'un autre et selon lesquelles on détermine si un logiciel particulier convient à un contexte pédagogique particulier et si oui, à quel point).

On n'a donc présenté aux enseignants ENT que les logiciels estimés être les plus convenables par leurs prédécesseurs TAG, à savoir les Supposers et les Transformations (Sunburst) ainsi que le Geometer's Sketchpad (Key Curriculum Press). L'atelier a aussi vu d'autres changements par rapport à celui de la première année du projet. On a essayé de mieux encadrer la discussion des questions relevant de la didactique des mathématiques ; on a fourni aux ENT des scénarios

prototypes, alors que l'année précédente on avait demandé aux TAG de comprendre la notion même de scénario avant de se mettre à en créer un tout seul.

On ne peut pas surestimer le rôle joué par les enseignants TAG dans le deuxième atelier, car non seulement ils ont présenté le logiciel sélectionné préalablement et les scénarios qu'ils avaient eux-mêmes écrits l'année précédente, mais ils ont aussi servi d'assistants pour le cours de géométrie ainsi que d'animateurs des séances consacrées à la didactique des mathématiques. En plus, les TAG se sont occupés des séances quotidiennes de travaux pratiques consacrées à la préparation des scénarios, aidant les ENT dans toute une série de tâches allant de la définition des objectifs mathématiques et pédagogiques à la préparation par traitement de texte du scénario final. Comme la plupart des enseignants des deux groupes étaient logés pour la durée de l'atelier dans une résidence universitaire les uns à proximité des autres, un important soutien d'ordre pratique et psychologique s'est manifesté le soir, ceci sans doute accompagné d'un dosage tout aussi important de discussion informelle. Arrivée la fin de l'atelier, force a été de constater que les cinquante participants avaient tous formé des liens solides les uns avec les autres, et que les TAG travaillaient déjà de près en tant que mentors avec les ENT qui leur avaient été attribués.

Au cours de l'année scolaire 1991-92, chaque ENT doit se servir de quatre scénarios dont celui qu'il a préparé, deux autres préparés par les TAG pendant la première année du projet, et enfin celui portant sur les fractales. En se préparant à enseigner les différents scénarios, les ENT évaluent le processus de développement mis en place par le projet ainsi que les matériaux auxquels a donné naissance le processus, tenant compte en particulier de l'adaptation qu'ils font aux scénarios qu'ils n'ont pas préparés eux-mêmes et des modifications qu'ils incorporent à la révision des scénarios dont ils sont l'auteur. En plus, chaque ENT maintient le contact avec un TAG particulier qui lui est attribué au cours de l'atelier d'été et avec qui il se réunit régulièrement. Ces réunions offrent au TAG qui sert de mentor auprès de l'ENT l'occasion de fournir à celui-là du feedback, des idées de caractère pédagogique et des renseignements portant sur le logiciel. (La répartition est déterminée en fonction de facteurs relevant de la personnalité des deux enseignants et de leurs intérêts en informatique en plus de la situation géographique de l'établissement principal de chacun.) Enfin, toute une série d'activités, y compris un journal périodique, des réunions organisées lors des congrès

professionnels, et un atelier de deux jours de durée qui auront lieu en janvier 1992, servent à informer et à soutenir le réseau dans l'ensemble.

Niveau 4 : le réseau grandissant

L'ultime niveau du réseau est plus informel que les précédents. Parmi les TAG et les ENT, certains servent de mentors vis-à-vis d'autres enseignants de géométrie travaillant dans le même établissement qui utilisent, eux aussi, les scénarios produits dans le cadre de notre projet ; d'autres servent de mentors vis-à-vis d'enseignants en voie de formation, ceux-là utilisant des leçons basées sur des scénarios. Des enseignants des deux groupes ont fait des interventions en rapport avec les activités associées avec notre projet lors des congrès professionnels. L'université a mis à la disposition de tous les enseignants faisant partie du projet des comptes leur permettant non seulement de communiquer entre eux mais aussi d'avoir accès par courrier électronique à des réseaux nationaux de géométrie.

Prévue pour le troisième été du projet (juin 1992), un congrès national vise à examiner les questions fondamentales rapportant à la revitalisation de l'enseignement de la géométrie au niveau secondaire aux Etats-Unis par l'utilisation des outils informatiques. En même temps une série de tutoriels sur les scénarios offrira aux participants l'occasion de les connaître.

SCENARIOS

Si notre projet vise à créer et à mettre en place un processus interactif dans lequel des enseignants travaillent les uns en collaboration avec les autres pour construire et approfondir leurs connaissances des moyens pédagogiques dynamiques qui permettent d'engager activement les élèves dans l'exploration des concepts géométriques, cet accent n'exclut nullement la création de certains produits concrets.

Il va de soi que le produit le plus visible est l'ensemble des scénarios écrits par les participants. Leur examen révèle que la plupart reprennent des thèmes faisant partie du programme de géométrie traditionnel, ceci pour plusieurs raisons. (1) Puisque la plupart des enseignants, au moment d'entamer leur participation au projet, avaient eu très peu de connaissances et d'expérience de l'utilisation des micromondes et, en fait, n'avaient commencé à réfléchir sérieusement que très récemment sur l'apprentissage actif et centré sur l'élève préconisé par les *Standards*, il leur paraissait important d'améliorer

d'abord les thèmes les plus traditionnels et les plus familiers pour passer ensuite à des thèmes moins bien connus. Pour reprendre les mots d'un des TAG, « [Quant à l'utilisation des outils informatiques,] il faut approfondir nos connaissances et nos compétences [dans ce domaine] dans le contexte du programme actuel, ceci afin d'aider à définir le programme de demain. ». (2) Quant au programme de géométrie, l'enseignant, loin de fonctionner de manière autonome, doit opérer dans un contexte dont les paramètres sont définis et strictement limités par des directives venant et de l'Etat, et de l'académie, et de l'établissement. (3) Les enseignants dans plusieurs établissements venaient d'adopter pour le cours de géométrie un nouveau manuel scolaire *The University of Chicago School Mathematics Project : Geometry* [9] et étaient donc peu disposés à modifier et le programme et la séquence des thèmes prônés par le manuel. (4) Certains collègues et directeurs d'établissement se méfiaient de changement radical. (5) Pour la plupart, toute la matière de la géométrie est enseignée pendant une seule année, L'équivalente de seconde.

Pour les raisons évoquées ci-dessus donc, beaucoup des enseignants, visant un changement lent mais progressif dans les attitudes des apprenants, ont choisi de commencer par des thèmes traditionnels, comme les suivants : aire, angles, cercles, constructions, droites, polygones, quadrilatères, similitude, transformations, triangles, visualisation. Un scénario est destiné à être utilisé avec les élèves de quatrième. Si les thèmes sont plutôt traditionnels, en revanche les scénarios ne le sont pas, car ils incorporent tous des outils informatiques et mettent l'accent sur la conjecture et sur l'exploration de la part des apprenants.

CONCLUSION

La question fondamentale à laquelle s'adresse notre projet est la suivante : *Quels sont les éléments d'un programme de formation continue destinés à des enseignants de géométrie qui amène ceux-là à une intégration efficace des outils informatiques dans la démarche pédagogique ?* Le modèle créé et mis en place par les moyens fournis par notre projet permet de trouver une réponse possible à cette question. Les résultats obtenus jusqu'ici suggèrent un certain nombre de conclusions préliminaires, dont la première et la plus évidente, est que des enseignants peuvent apprendre à intégrer l'ordinateur dans les cours de géométrie. De plus, les enseignants sont capables de développer de

nouvelles approches envers l'enseignement, des approches qui permettent de mener les apprenants à entreprendre des tâches cognitives complexes, tout en encourageant et accommodant dans la salle de classe de nouvelles structures et de nouvelles écologies. Cependant, l'obtention de tels résultats exige des moyens importants, y compris, avant tout, des périodes de travail et de réflexion suffisamment nombreuses et fréquentes pour permettre aux enseignants d'explorer et de construire leurs propres connaissances.

C'est l'évolution au niveau des connaissances de l'enseignant ainsi que de ses principes fondamentaux qui amène celui-ci à modifier les démarches pédagogiques qu'il vise à mettre en place vis-à-vis des apprenants. Pour faciliter de telles modifications de la part des enseignants et les soutenir, il faut créer et maintenir des réseaux étendus comportant des éléments humains et matériels.

Il reste beaucoup de questions ouvertes. La première série concerne l'effet produit par l'introduction des outils informatiques sur l'apprentissage. L'intégration des outils informatiques dans le cours de géométrie sert-elle à améliorer l'apprentissage ? L'apprentissage réalisé grâce à ces outils ressemble-t-il à celui réalisé dans un cours traditionnel sans accès à l'ordinateur ? Une deuxième série de questions concerne les systèmes eux-mêmes. Quel(s) logiciel(s) convient (conviennent) le mieux à des objectifs mathématiques et didactiques particuliers ? Quelle(s) caractéristique(s) estimées souhaitable(s) manque(nt) dans le logiciel et matériel actuellement disponibles ? Une dernière série de questions se rapporte au programme de géométrie. Comment les outils informatiques peuvent-ils faire céder le programme traditionnel avec son corps euclidien pour embrasser de nouvelles visions de la géométrie ?

Richard ALLEN²

Judith CEDERBERG

Martha WALLACE

Department of Mathematics

St. Olaf College

Northfield, MN 55057 USA

2. en congé sabbatique durant l'année 1991-92 au Laboratoire de Génie Informatique, IMAG, B.P. 53 X, 38041 Grenoble cedex

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Linn M : « *Establishing a research base for science education: challenges, trends, and recommendations* ». *Report of a Conference*, National Science Foundation, Washington, 1986.
- [2] *National Council of Teachers of Mathematics (NCTM)* : « Curriculum and evaluation standards for school mathematics », NCTM, Reston, VA, 1989.
- [3] Allen R, Cederberg J, Wallace, W, : « L'intégration de l'ordinateur dans l'enseignement de la géométrie par le développement et l'utilisation des scénarios », *Actes des Deuxième Journées EIAO de Cachan*, ENS Cachan, p. 33-44, 1991.
- [4] Hoffer A : « Geometry is More than Proof », *Mathematics Teacher*, vol. 74, p. 11-18, 1981.
- [5] Kantowski M G : *The Influence of the Computer on the Geometry Curriculum*, Woodrow Wilson Foundation Lecture, July 7, 1986.
- [6] Usiskin Z : « Resolving the Continuing Dilemmas in High School Geometry », *Learning and Teaching Geometry, K-12 : 1987 Yearbook of the National Council of Teachers of Mathematics*, NCTM, Reston, VA, 1987.
- [7] Wallace M, Cederberg J, Allen R : *Teaching new mathematics : A case study*, unpublished document, St. Olaf College, Northfield, MN, 1991.
- [8] Chazan D, Houde R : *How to use conjecturing and micro-computers to teach geometry*, NCTM, Reston, VA, 1989.
- [9] Coxford A, Usiskin Z, Hirschhorn D : *The University of Chicago School Mathematics Project Geometry*, Scott Foresman, 1991.