Les représentations des praticiens de l'usage des technologies dans l'enseignement des mathématiques à l'école secondaire en Angleterre

Kenneth Ruthven
University of Cambridge

1. La réalité internationale de l'intégration des technologies dans l'enseignement des mathématiques au secondaire

Partout, l'école se trouve face à un impératif politique qui vise une informatisation de la scolarité. Pour illustrer, j'ai choisi un extrait du plan pour « l'amélioration des écoles » que le nouveau gouvernement britannique a publié dès son arrivée au pouvoir en 1997. Mais ces sentiments ne sont pas particuliers à cet endroit ou à cette occasion; des textes comparables sont promulgués par les gouvernements partout dans le monde:

> « Le monde des affaires a été transformé par les nouvelles technologies... Mais l'effet sur l'éducation reste marginal. On ne peut pas préparer nos enfants au monde de demain avec les technologies d'hier... Nous sommes décidés à créer une société où, dans dix ans, les technologies de l'information et de la communication (TIC) auront imprégné tous les aspects de l'éducation. » (Department for Education and Employment, 1997)

Quels sont les résultats de cette politique, et de ses homologues dans d'autres pays ? Depuis plusieurs années, le TIMSS (Trends in International Mathematics and Science Study) examine l'enseignement mathématique au niveau du collège. Les résultats les plus récents datent de 2003 (Mullis et al., 2004). Ils proviennent d'échantillons représentatifs tirés de 46 systèmes éducatifs. Les réponses des enseignants donnent quelques indices

simples de l'intégration dans chaque système des technologies au collège, relatifs aux points suivants de référence :

Reconnaissance curriculaire: Le curriculum national fait référence à l'usage de la technologie.

Formation professionnelle: L'enseignant a participé pendant les deux années précédentes à quelque formation liée à l'usage de la technologie.

Accessibilité locale: L'accès à la technologie est possible pour la classe Grade 8 en question.

Utilisation régulière: La technologie est utilisée dans à peu près la moitié des cours ou plus avec la classe Grade 8 en question.

Dans les Tables I et II, la distribution de chaque indice à travers les systèmes est évoquée par le quartile inférieur, la médiane et le quartile supérieur (des valeurs qui correspondent à la proportion d'étudiants dans un système dont le professeur affirme la formation professionnelle, l'accessibilité locale ou l'utilisation régulière). Les résultats pour l'Angleterre servent à la situer dans ces distributions.

Table I : L'intégration des ordinateurs dans l'enseignement des mathématiques

	Distribution des systèmes			**Angleterre**
	Quart_sup	*Médiane*	*Quart_sup*	
Le curriculum fait référence	Non	Non	Oui	Oui
L'enseignant est formé	23%	43%	53%	63%
L'accès est possible	12%	29%	48%	66%
L'utilisation est régulière	1%	2%	3%	5%

On voit (Table I) que la référence aux ordinateurs n'apparaît pas dans la majorité des curriculums. On voit aussi que les indices de formation récente et d'accessibilité locale sont très variables, et qu'elles restent minoritaires dans la plupart des systèmes. Mais la faiblesse du degré d'utilisation régulière des ordinateurs en classe est encore plus frappante.

Table II : L'intégration des calculatrices dans l'enseignement des mathématiques

	Distribution des systèmes			Angleterre
	Quart_inf	*Médiane*	*Quart_sup*	
Le curriculum fait référence	Non	Oui	Oui	Oui
L'usage est permis aux élèves	63%	84%	97%	100%
L'utilisation est régulière	11%	28%	60%	51%

On remarque que l'équipe TIMSS n'a pas traité la calculatrice (Table II) de la même façon que l'ordinateur, ce qui signale déjà son statut différent. En comparant directement les situations des technologies, on trouve que la calculatrice est nettement plus intégrée que l'ordinateur. La plupart des systèmes ont un curriculum national qui fait référence aux calculatrices, et l'utilisation régulière des calculatrices est bien supérieure à celle des ordinateurs, bien qu'elle reste très variable à travers les systèmes. En fait, la calculatrice se révèle comme la technologie la plus appropriée à la situation actuelle de l'enseignement.

2. L'Angleterre comme cas aigu de l'énigme internationale de l'intégration des TIC

Les tables déjà présentées montrent que la situation de l'Angleterre est assez favorable. À part l'utilisation régulière des calculatrices, tous ces indices placent l'Angleterre dans le premier quartile des systèmes. Le curriculum fait référence et aux calculatrices et aux ordinateurs, et presque les deux tiers des enseignants ont récemment participé à une formation pertinente. L'usage des calculatrices est accepté partout, et l'accès aux ordinateurs est possible pour les deux tiers de classes. Mais l'utilisation des ordinateurs reste très rare, bien qu'elle soit plus élevée que dans la plupart des autres pays. En fait l'Angleterre se révèle comme cas aigu de l'énigme internationale de l'intégration des TIC.

Cette situation est encore plus surprenante si on considère l'histoire (en bref) des TIC dans l'enseignement des mathématiques en Angleterre. Dès 1971, une série très répandue

de manuels scolaires de mathématiques a incorporé des chapitres sur l'ordinateur et la programmation. Dès 1981, le gouvernement a commencé un grand investissement dans l'usage des ordinateurs en classe. Depuis 1989, un curriculum national fait référence aux ordinateurs et aux calculatrices. Depuis 1997, l'investissement officiel dans le dispositif et la formation TIC s'intensifie. Tout au long de cette période, les activités TIC ont été diffusées par les agences officielles et les associations professionnelles impliqués dans l'enseignement des mathématiques (Ruthven, inédit).

Quel est l'impact de ces initiatives selon l'inspection nationale? La plupart des départements de mathématiques ont un accès acceptable en termes de matériel et de logiciel. Mais malgré un investissement important, l'usage des TIC reste sous-développé. Selon les inspecteurs, les facteurs critiques pour un développement adéquat sont la présence d'un usager sûr de lui et enthousiaste au sein du département, et les prévisions explicites de l'usage des TIC dans le programme départemental d'études (Office for Standards in Education [OfStEd], 2004).

Les TIC dans le Curriculum National et le Cadre National pour l'Enseignement des Mathématiques en Angleterre

L'étude TIMSS reconnaît l'influence d'un curriculum national qui fait référence à l'usage des TIC, et les inspecteurs anglais signalent l'importance d'une traduction plus locale des normes curriculaires en plans praticables. Pour mieux comprendre ce contexte institutionnel, il faut considérer le traitement des TIC dans le curriculum anglais. Le Curriculum National [National Curriculum] a été renouvelé en 1999 (Department for Education and Employment/Qualifications and Curriculum Authority [DfEE/QCA], 1999) et élaboré en 2001 pour établir un Cadre National pour l'Enseignement des Mathématiques [National Framework for the Teaching of Mathematics] (Department for Education and Skills [DfES], 2001).

Dans la définition de « l'ampleur des études » officiellement attendue, l'usage des TIC figure (en dernière place) dans la liste schématique d'activités que les élèves sont censés rencontrer dans leurs cours de mathématiques:

> « des tâches qui visent l'usage des TIC appropriées (par exemple, les tableurs, les bases de données, les logiciels géométriques ou graphiques),

employant les calculatrices d'une manière correcte et efficace, et sachant quand il n'est pas approprié d'utiliser une technologie. » (DfEE/QCA, 1999)

On note que l'usage des calculatrices est spécifié, mais que les autres formes de TIC sont seulement suggérées. En plus, une caractéristique très particulière du traitement des nouvelles technologies est l'insistance explicite sur un usage « correct et efficace », et l'évocation de situations où leur utilisation n'est pas appropriée. Cette façon de parler transmet l'impression que, bien qu'il faille prendre conscience des nouvelles technologies, il faut aussi y faire attention.

Cette impression est renforcée par le contenu du programme. Certaines « opportunités TIC » sont signalées aux marges, littéralement, du document pour montrer qu'elles ne sont pas obligatoires. L'essentiel du programme se réduit aux quatre usages requis des TIC :

> « Employer les outils TIC dans un processus systématique d'essai et d'affinement ['trial and improvement'] des solutions approximatives aux équations où il manque une méthode analytique simple. »
>
> « Créer des graphes de fonction [de plusieurs types] par le moyen d'un tableur ou traceur ainsi que par papier crayon. »
>
> « Trouver des lieux par raisonnement et par l'usage des TIC pour produire des formes et des chemins. »
>
> « Produire, par papier crayon et TIC, [plusieurs types de] graphiques et diagrammes pour des données. » (DfEE/QCA, 1999)

Le sous-entendu de certaines de ces phrases est que les méthodes TIC servent comme recours ultérieur, peut-être même comme recours à moins de raisonnement.

En même temps, il y a un manque d'attention aux questions d'instrumentation. Sur ce point le traitement des calculatrices dans le Curriculum National est exceptionnel parce qu'il y a une reconnaissance officielle des « méthodes calculatrices », une reconnaissance qui manque à l'égard d'autres formes de TIC. Réduites à l'essentiel, les prévisions pour les calculatrices sont qu'il faut enseigner aux élèves à :

> « Faire entrer... les calculs... en employant les parenthèses... [et en adaptant] les mesures... »
>
> « Utiliser les touches fonctions... [et] la touche constante... »
>
> « Interpréter les restitutions affichées par la calculatrice. »

« Savoir qu'il ne faut pas arrondir [les valeurs] pendant les étapes intermédiaires... » (DfEE, 1999)

Cette attention différentielle aux questions d'instrumentation se révèle encore dans le traitement des technologies dans l'élaboration officielle du Curriculum National par le Cadre National pour l'Enseignement des Mathématiques. Dans ce dernier document, chaque outil manuel a son paragraphe: ici l'exemple du rapporteur (Figure 1) :

« Se servir d'un rapporteur de 180° ou de 360° pour mesurer et dessiner les angles, y compris les angles réflexes, au degré le plus proche. Reconnaître qu'on peut mesurer un angle comme une rotation ou dans le sens des aiguilles d'une montre [clockwise] ou dans le sens inverse [anticlockwise], et que la direction choisie détermine quelle sera la ligne zéro et s'il faut se servir de la graduation intérieure ou extérieure. » (DfES, 2001)

Cette reconnaissance officielle des éléments spéciaux de technique requis pour l'usage des technologies manuelles et des calculatrices n'a pas d'équivalent pour l'usage d'autres TIC. En particulier, malgré ses références aux possibilités d'employer un logiciel de géométrie dynamique, et ses clichés d'écran de figures dynamiques, le document ignore les besoins instrumentaux; par exemple, les techniques équivalentes nécessaires pour mesurer les angles avec un logiciel de géométrie dynamique (dont on verra ensuite et l'importance et la particularité).

À noter aussi, une différence analogue dans le statut des technologies anciennes et nouvelles dans les épreuves nationales (obligatoires à la fin de la quatrième, de la seconde, de la première, et de la terminale) qui servent à évaluer et les élèves et leurs institutions. En bref, les instruments manuels sont permis dans toute épreuve nationale, les calculatrices dans certaines, les ordinateurs dans aucune.

L'effet cumulatif de toutes les nuances qu'on a noté est de limiter le statut curriculaire des technologies nouvelles et de les positionner plutôt comme outils pédagogiques. Les conseils officiels aux enseignants mettent l'accent sur les TIC comme aides pédagogiques pour assurer un enseignement efficace, un apprentissage habile, un travail adroit en classe. Sous la rubrique de « Pourquoi devrais-je utiliser les TIC? » les questions suivantes sont posées:

« Est-ce que l'usage des TIC aidera à enseigner les faits, les compétences et les concepts mathématiques plus efficacement? Est-ce que l'usage des TIC

aidera à augmenter les connaissances des élèves, leur donner la possibilité de s'entraîner et de renforcer quelques compétences mathématiques, ou améliorer leur compréhension mathématique? Est-ce que l'usage des TIC aidera les élèves à calculer, à produire des tabulations et des graphes, ou à résoudre des problèmes? Est-ce que l'usage des TIC aidera les élèves à organiser, à présenter, et à raffiner leurs travaux, et à communiquer leurs résultats? » (DfES, 2003).

En fait, dans ces conditions systémiques d'approbation restreinte de l'usage des TIC en mathématiques par l'ensemble des organismes officiels, et d'élaboration limitée de ses aspects curriculaires, l'incidence minimale d'utilisation régulière des TIC constatée par l'étude TIMMS est moins surprenante. Cette situation explique aussi l'influence des conditions plus locales, aux niveaux départemental et individuel déjà notés par les inspecteurs. C'est dans ces circonstances que notre équipe de recherche à Cambridge s'est intéressée aux idées des enseignants sur l'usage réussi des TIC.

3. Les discours des praticiens sur l'usage scolaire réussi des TIC

Jusqu'à présent, peu d'études ont visé l'usage des technologies nouvelles dans les classes standards par les enseignants ordinaires (Lagrange, Artigue, Laborde & Trouche, 2003). Mais, surtout dans les conditions qu'on vient de remarquer, « si la technologie doit trouver sa place dans la pratique scolaire elle doit être examinée dans le contexte de la vie de classe comme elle est vécue par les enseignants » (Kerr, 1991). Certainement, les conclusions principales des études antérieures, typiquement des enseignants impliqués dans le pilotage des innovations, sont que leurs usages des TIC sont formés par les avis personnels et professionnels (Noss & Hoyles, 1996), les pratiques et les routines existantes (Miller & Olson, 1994), les sous-cultures des écoles et des matières scolaires (Goodson & Mangan, 1995), et l'interaction des perspectives individuelles et institutionnelles (Windschitl & Sahl, 2002).

C'est dans ce cadre que notre équipe à Cambridge a conduit une série d'études des discours et des pratiques des enseignants (Ruthven & Hennessy, 2002, 2003; Ruthven, Hennessy & Brindley, 2004; Ruthven, Hennessy & Deaney, 2004, 2005a, 2005b, 2005c; Hennessy, Ruthven & Brindley, 2005; Hennessy, Deaney & Ruthven, 2005, à paraître; Deaney, Ruthven & Hennessy, 2006; Deaney, Hennessy & Ruthven, à paraître). Les influences principales sur la démarche des études qu'on va discuter ici sont les suivantes: l'idée théorique de représentation sociale, concernant le discours et la pensée collective (Moscovici, 1990); l'étude naturaliste de l'enseignement qui traite les idées des participants comme source de concepts potentiels (Brown & McIntyre, 1993); et le dispositif méthodologique de la « grounded theory » (Strauss & Corbin, 1994).

Nous avons conduit une première étude en 2000 dans les départements de Mathématiques, de Sciences, et d'Anglais dans les collèges de la région qui adhéraient à un partenariat général de recherche avec notre université. Des entretiens en « focus group » ont servi à susciter des enseignants des exemples de ce qu'ils considéraient des usages scolaires réussis des TIC dans leur pratique actuelle, et leurs raisons pour choisir ces exemples. En fait, l'étude a demandé en quels termes les enseignants valorisent l'usage des TIC. Pour simplifier l'exposition, on ne discutera que des Mathématiques et des Sciences.

Plusieurs thèmes sont communs aux départements (Ruthven, Hennessy & Brindley, 2004).

D'abord, l'usage des TIC est valorisé pour **augmenter la variété et l'attrait de l'activité de classe** : c'est a dire pour y introduire « un changement », « la variété », « quelque chose de différent » et « une autre dimension »; pour la rendre moins « laborieuse », « ennuyeuse et répétitive», pour enlever « la corvée » et « la monotonie »; pour lui apporter l'impression de « bricoler » avec « un jouet motivant »; pour la rendre plus « intéressante », « marrante », « ludique » et « excitante ».

L'usage des TIC est aussi valorisé pour **effectuer les processus de travail et améliorer la production** : c'est à dire pour rendre « très, très facile » des aspects routines du travail en classe; pour améliorer « l'allure et l'exactitude » du travail fait par les élèves; pour permettre aux élèves « d'arriver aux résultats nettement meilleurs » et de « faire beaucoup plus de travail »; et pour servir à « économiser le temps », et à « garder le rythme » des leçons.

Ensuite, l'usage des TIC est valorisé pour **surmonter les difficultés des élèves et bâtir leur assurance**: c'est à dire pour aider les élèves à « contourner les difficultés à écrire » et résoudre « les problèmes de motivation stylo au papier » ; à « répondre correctement après avoir fait une faute » parce qu'il « suffit de cliquer et on repart » ; à trouver satisfaction à produire « du travail qui est bien présenté »; et à « se sentir plus positif vis à vis d'eux-mêmes et de leur travail » et devenir « plus disposés à essayer ».

Finalement, l'usage des TIC est valorisé pour **focaliser sur l'enjeu global et accentuer les caractéristiques importantes**: c'est à dire pour permettre aux élèves « d'accéder à un point supérieur pour apprendre » et « voir ce qui se passe effectivement », au lieu de « s'embourber dans leur travail » où « les erreurs risquent de voiler l'essentiel »; et pour rendre « les explications plus claires et visuelles », y compris les présentations dynamiques où « cela se tient mieux à cause de l'immédiateté », permettant aux élèves de « visualiser les processus qui sont en route ».

Il est évident comment ces thèmes concernant l'usage réussi des TIC sont ancrés dans des représentations déjà bien implantées de la motivation des élèves et de l'apprentissage en classe (voir, par exemple, Brown & McIntyre, 1993). En fait, les enseignants positionnent les TIC comme aides à la réalisation de certaines valeurs pédagogiques classiques, qui sont communes aux matières et assez générales. Mais deux thèmes additionnels sont distinctifs ou aux Mathématiques ou aux Sciences.

En Mathématiques, mais pas en Sciences, l'usage des TIC est valorisé pour **soutenir les processus de vérification, de tâtonnement et d'affinement**: c'est-à-dire pour soutenir les tâches structurées qui offrent aux élèves « des rétroactions immédiates sur leur progrès » « qui permet aux gosses de vérifier leur travail »; les tâches « d'identifier la règle » ou il faut « choisir les entrées différentes pour voir les restitutions » et employer la machine pour « vérifier la règle »; la résolution des problèmes par 'trial and improvement'; et « l'investigation [mathématique]» ou « si quelque chose ne marche pas, on peut essayer quelque chose d'autre ».

En Sciences, mais pas en Mathématiques, l'usage des TIC est valorisé pour **élargir les référents de l'activité et augmenter son actualité**: c'est à dire pour accéder à « une abondance d'information », qui est « plus moderne et courante », et « toutes sortes de choses étranges et extraordinaires »; aux « institutions mondialement connues », ce qui fait « un buzz non négligeable », et qui aide à « développer une compréhension plus large de

l'enjeu scientifique » ; au « vrai de vrai en action » pour « le faire rentrer en classe qu'il s'anime » ; et à « la science qui se fait d'une façon technologique à la pointe du progrès » qui « ressemble à la vie réelle ».

En fait, ces contrastes dans les valorisations des technologies nouvelles sont des échos de différences plus larges dans les discours des matières scolaires, tels qu'on les observe dans les textes officiels du curriculum. Une représentation méthodique des Sciences contraste avec l'accent en Mathématiques sur « faire et surveiller les décisions », « essayer et évaluer une variété d'approches » et « suivre des options personnelles et réfléchir sur elles ». Également, une représentation asociale des Mathématiques contraste avec l'accent des Sciences sur « les avantages et les inconvénients des développements scientifiques et technologiques » et « l'influence des applications des sciences sur la qualité de la vie ».

En somme, l'usage actuel des TIC en Angleterre est largement conforme aux discours établis. Mais cela ne veut pas dire que rien ne change. Cet usage admet une rééquilibration des pratiques existantes. Par exemple, les enseignants des mathématiques suggèrent que, en créant des conditions en classe favorables à la conduite réussie des « investigations mathématiques », surtout avec les élèves moins doués, l'usage des TIC rend cette forme d'activité plus faisable. Bien que cet usage des TIC aide les enseignants simplement à réaliser une forme de pratique établie, ils considèrent qu'il leur permet d'employer cette pratique plus couramment (Ruthven & Hennessy, 2002).

4. Les modèles des praticiens pour l'usage de la géométrie dynamique

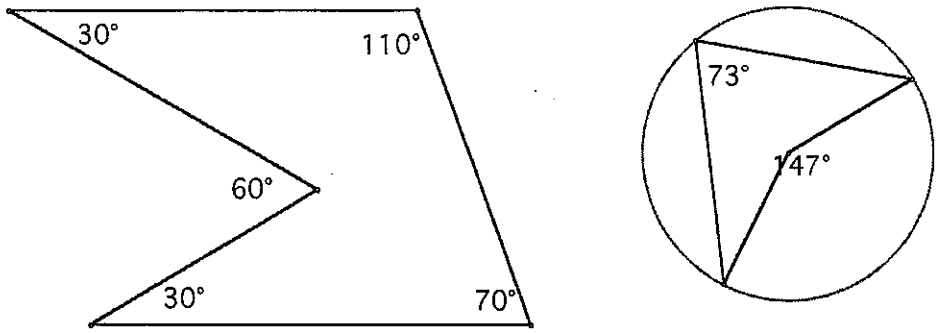
Pour examiner plus directement les usages bien vus dans la profession, nous avons conduit une deuxième étude (2003/04) dans des départements de Mathématiques et de Sciences recommandés par des inspecteurs et des formateurs. Certains exemples des pratiques proposées par les enseignants dans les « focus groups » ont été étudiés en détail par les observations de cours, suivis par les entretiens. Une des pratiques choisies était l'usage de la géométrie dynamique, soulignée dans la moitié des départements de mathématiques.

Selon les inspecteurs anglais, l'usage des logiciels de géométrie dynamique [LGD] reste très rare (OfStEd, 2004), bien qu'il soit recommandé par un rapport professionnel sur l'enseignement de la géométrie (RS/JMC, 2001), et encouragé par le Cadre National déjà discuté. Quoique la géométrie dynamique admette des usages variés (Arzarello et al., 2002; Hölzl, 2001; Laborde, 2001), le lignage manifestement Euclidien des LGD décourage peut-être son usage au sein d'un curriculum anglais qui s'éloigne depuis longtemps de cette tradition, pour « traiter la géométrie... comme une science plutôt expérimentale que déductive » (Bell et al., 1983: p. 226). Un fait révélateur de cette orientation est que le Curriculum National ne parle pas de « la Géométrie », mais de « la Forme, l'Espace et les Mesures ». L'esprit empirique des leçons anglaises est remarqué par Kaiser (2002) dans son ethnographie comparative de l'enseignement des mathématiques dans les écoles secondaires; elle note, en particulier, une forte tendance à la validation par le contrôle des exemples.

Selon les rapports des enseignants l'objectif archétypique de l'usage de la géométrie dynamique est d'établir les propriétés angulaires des figures. Pour analyser cet usage nous avons étudié plus directement les pratiques des enseignants qui (selon leurs contributions aux « focus groups ») poursuivaient des approches contrastées (Ruthven, Hennessy & Deaney, 2005b&c). Nous avons observé des leçons traitant, en particulier, la somme des angles d'un polygone, et les propriétés des angles au centre et à la circonférence d'un cercle. Les contrastes principaux d'approche apparaissent essentiellement à propos du thème « **gérer l'expérience des élèves du logiciel** », qui se réduit à deux sous-thèmes reliés.

D'abord, il y a des différences importantes d'approche à **impliquer les élèves dans l'utilisation du logiciel.** Dans la première approche, ce n'est que l'enseignant qui emploie le logiciel en démonstration, parce que les élèves « prendraient trop de temps à le maîtriser » et que « il leur offre une latitude énorme pour faire des erreurs ». En plus « le curriculum n'exige pas un tel degré d'investigation ». Donc « le coût-bénéfice ne paye pas ». Dans la deuxième approche, par contre c'est plutôt les élèves qui travaillent (typiquement en binôme) avec le logiciel, employant des figures préparées qui « structurent le travail pour qu'ils n'aient qu'à faire bouger les points » parce que « c'est un logiciel assez difficile ». De temps en temps, quand même, les élèves font « la construction très simple » « pour voir que le logiciel marche d'une façon géométrique ».

Figure 1 : Figures typiques pour l'étude des propriétés angulaires des figures, manifestant des anomalies apparentes



Ensuite, les approches sont différentes à propos **du maniement des anomalies apparentes de l'opération mathématique** du logiciel. Ces anomalies se présentent, par exemple, quand les valeurs arrondies ne conviennent pas aux rapports arithmétiques attendus ; ou quand la mesure restituée correspond à l'angle externe du polygone, pas à l'angle interne (et réflexe) attendu (Figure 1). Dans la première approche, l'enseignant fait attention à ne pas mettre en jeu ces situations. Par exemple, pour éviter les problèmes d'angle réflexe, il assure un déplacement du polygone qui garde une forme convexe. Également, avec les angles du cercle, il fait attention à déplacer la figure sans créer d'angle réflexe au centre, et à n'arrêter le déplacement que dans les positions où la mesure de cet angle est un nombre entier pair, « pour qu'ils voient la règle plus facilement ». Par contre, la deuxième approche exploite ces situations irrégulières pour stimuler un esprit critique de la part des élèves, et une instrumentation plus souple: « Il faut qu'ils apprennent qu'on ne peut pas supposer que ce qui est affiché est exactement ce qu'on veut. Il faut l'interroger ».

Ces approches contrastées constituent des réponses différentes aux demandes instrumentales (Guin, Ruthven and Trouche, 2005). C'est dans l'intention de *minimiser* ces demandes aux élèves que l'enseignant prend toute la responsabilité pour l'usage de l'outil, reste tacite sur son opération, et fait arranger les anomalies. C'est dans l'intention d'*optimiser*, surtout du point de vue épistémique, les demandes instrumentales aux élèves, que l'enseignant structure l'usage de l'outil par les élèves, y compris pour les exposer à certaines anomalies apparentes, considérées productives pour la mathématisation.

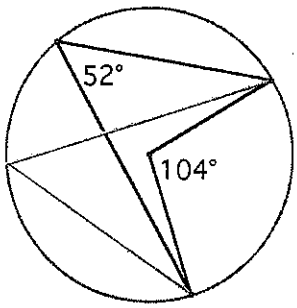
Un thème commun est d' **employer le logiciel pour assurer un travail accessible et efficace**. Ce thème comprend des sous-thèmes qui font des échos des idées identifiées par

la première étude : d'**effectuer les processus de travail et améliorer la production**, et ensuite de **surmonter les difficultés des élèves**, et de **focaliser sur l'enjeu global**. Par exemple, un enseignant note, en comparaison avec le travail fait avec les instruments manuels, comment « l'ordinateur mesure plus justement » et on « n'est plus obligé de redessiner les figures multiples ». Donc, l'usage du LGD « rend plus facile le dessin pour les gosses qui le trouvent dur » et « ils peuvent se concentrer sur l'apprentissage de comment correspondent et s'additionnent les angles ». En même temps, selon cet enseignant, certains élèves ont des ennuis de manipulation physique : « il est dur de ramasser les points... et cela complique les choses... et fait tout ralentir ». Pour un autre enseignant, « parce que... tout risque de dégénérer à cause des lignes et des points involontaires partout », il faut « essayer de faire comprendre [aux élèves], dès le début, comment effacer quelque chose » et assurer que « après avoir fait quelque chose dont on n'a plus besoin, on l'efface et le simplifie avant d'avancer à autre chose ».

Bien sûr, un thème commun important est de **montrer les propriétés géométriques par le déplacement des figures**, ce qui constitue un moyen spécifique à la géométrie dynamique de réaliser l'objectif, manifesté dans la première étude, de **focaliser sur l'enjeu global et accentuer les caractéristiques importantes**.

La logique du déplacement dépend en partie de la situation mathématique en question. Une des techniques observées est d'**utiliser le déplacement comme moyen d'examiner l'invariabilité dynamique**. Cette technique est caractéristique du traitement de l'angle à la circonférence, où l'attention continue au mouvement et à la mesure affichée de l'angle pendant un « déplacement autour... fait voir [aux élèves] que l'angle ne change pas ». Des actions des enseignants plutôt que de leurs explications, il est à remarquer aussi qu'ils arrivent à recréer pendant le cours l'apparence de la forme établie de la figure statique, en ajoutant à la figure dynamique un deuxième angle à la circonférence ; par exemple, en proposant une activité où une valeur est prédite pour l'angle sans mesure, et l'angle mesuré est ensuite déplacé pour la tester (Figure 2).

Figure 2 : Figure typique pour l'étude des propriétés des angles d'un cercle, montrant le doublement de l'angle à la circonférence



Toutefois, la technique la plus courante est d'**utiliser le déplacement comme moyen d'examiner des exemples multiples.** Dans les leçons sur les propriétés des angles du cercle, le déplacement entre positions discrètes, sans attention au mouvement, sert à produire des exemples d'un angle au centre du cercle, plus ou moins grand, et de l'angle associé à la circonférence. Dans les leçons sur la somme des angles d'un polygone, le déplacement d'une figure dynamique sert à générer plusieurs exemples du polygone en jeu, normalement sans attention portée sur le mouvement entre positions discrètes. Pourtant, l'idée est introduite du déplacement comme moyen de prendre un échantillon d'exemples d'un domaine géométrique : « ne prendre que quatre [exemples] au hasard » pour « montrer que [le résultat] est vrai, et il n'est pas possible que cela soit arrivé par accident ». Cette logique est appliquée d'abord au triangle et ensuite aux polygones successifs de côtés plus nombreux.

Le sous-thème final, celui de **médier les propriétés géométriques par les mesures arithmétiques,** est encore quelque chose que les enseignants n'ont pas signalé dans leurs explications, mais qu'ils ont manifesté systématiquement dans les leçons observées, dans la mesure où l'analyse des propriétés des angles se fait toujours par attention aux régularités arithmétiques dans leurs mesures numériques. Il s'agit ou de noter qu'une mesure restituée ne change pas de valeur malgré la variation de la figure, ou d'observer la régularité arithmétique dans une série accumulée de données qui associe deux variables : à chaque nombre de côtés du polygone, la somme des angles intérieurs ; à chaque mesure d'angle au centre du cercle, la mesure d'angle à la circonférence. Les formes classiques de raisonnement géométrique par moyens visuo-spatiaux et logico-déductifs n'apparaissent guère. Cet accent reflète la tendance non seulement empirique mais arithmétique des mathématiques scolaires anglaises. Les problèmes numériques –notamment de la chasse

aux angles– sont saillants dans les textes et les épreuves. L'induction depuis les régularités arithmétiques est courante comme approche à l'investigation mathématique.

Donc, dans cette deuxième étude, comme à la première, on voit la forte influence des cultures scolaires établies, mathématique et pédagogique, sur la représentation et l'exploitation d'une technologie nouvelle.

Le défi systémique à l'intégration des technologies

Il est important de rappeler que la pratique exposée dans la section précédente s'est produite par des moyens informels. En particulier, elle s'est développée hors de tout projet officiel prêt à poser des alternatives plus radicales, les modifications plus profondes, et de les rendre légitimes. Il est instructif quand même de situer cette pratique par rapport au modèle de Laborde (2001) de l'évolution chez les enseignants des tâches de géométrie dynamique au cours d'un projet de développement. Ce modèle propose une évolution cumulative où l'utilisation du logiciel sert progressivement:

- à faciliter les aspects matériels des tâches familières
- à aider l'analyse mathématique des tâches familières
- à modifier l'essentiel des tâches familières
- à créer des tâches qui ne se posent pas autrement.

Dans la pratique anglaise, le logiciel sert surtout à faciliter la production et la mesure des figures, et le déplacement à aider l'identification des régularités arithmétiques dans les mesures, sans avancer vers une analyse plus classique des rapports géométriques dans la figure. Il faut donc conclure que cet usage reste largement au premier rang du modèle, et arrive à peine au deuxième rang. L'exploitation des anomalies apparentes pour stimuler la mathématisation n'est pas un type de tâche qui figure dans le modèle d'origine, mais la fonction du logiciel même reste toujours à l'équivalent du premier, ou à peine au deuxième, rang.

On peut imaginer des approfondissements –en termes du modèle– de la pratique anglaise observée. Par exemple, au deuxième rang, l'usage du logiciel facilite l'analyse de la triangulation des polygones (Figure 3) par une approche expérimentale qui peut devenir

systématique. Egalement, au troisième rang, l'idée de déplacer un point d'un polygone quasi-général permet une analyse par récurrence de la triangulation (Figure 4). Et, au quatrième rang, l'usage du logiciel est essentiel pour l'analyse des propriétés des figures dynamiques de construction cachée, et la construction d'une figure avec une propriété spécifiée (par exemple, un polygone dynamique dont les côtés ne se croisent jamais) (Figure 5). Ces exemples spéculatifs illustrent les possibilités de fortifier les aspects visuo-spatiaux et logico-déductifs du raisonnement géométrique qui manquent dans la pratique observée (Ruthven, 2005).

Figure 3 : Analyse par expérimentation de la triangulation des polygones

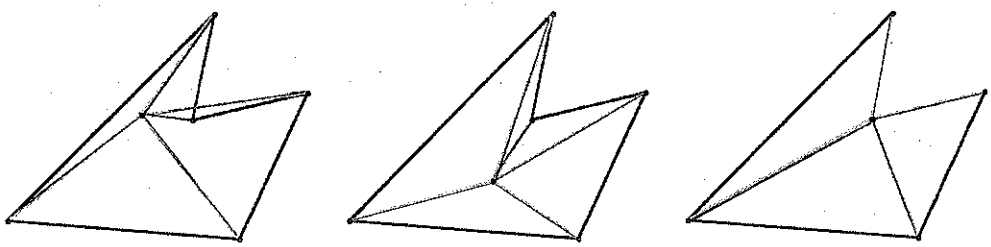


Figure 4 : Analyse par récurrence de la triangulation des polygones

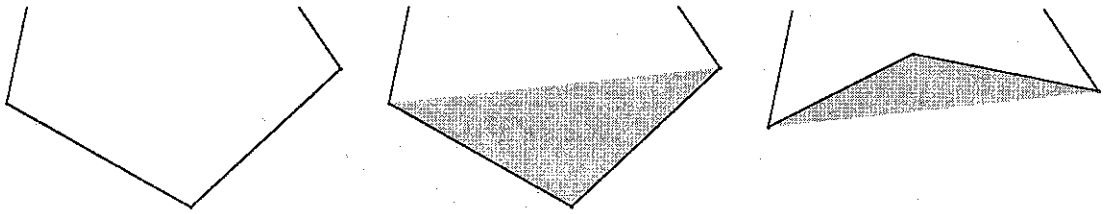
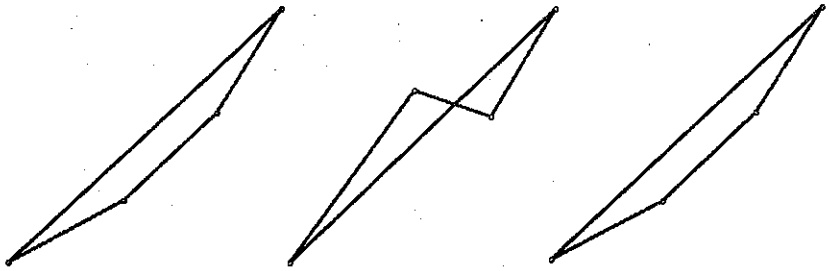


Figure 5 : Classement de figures, et construction d'un polygone dynamique dont les côtés ne se croisent jamais



Une variante du modèle des degrés d'intégration de la géométrie dynamique convient mieux à la situation anglaise. Ce modèle suggère qu'il y a un changement fondamental impliqué dans chaque passage d'un rang à l'autre de l'utilisation du logiciel :

- pour les tâches et les approches *déjà reconnues par le curriculum*, avec les aspects instrumentaux *minimisés*.

Les aspects instrumentaux sont à valoriser.

- pour les tâches et les approches *déjà reconnues par le curriculum*, avec les aspects instrumentaux *optimisés*.

Les normes curriculaires sont à renégocier.

- pour les tâches et les approches *classiques, pertinentes au curriculum mais pas reconnues*, où l'usage du logiciel les rend plus accessibles mais reste *facultatif*.

Les innovations mathématiques sont à réaliser.

- pour les tâches et les approches *essentiellement neuves*, où l'usage du logiciel est *indispensable*.

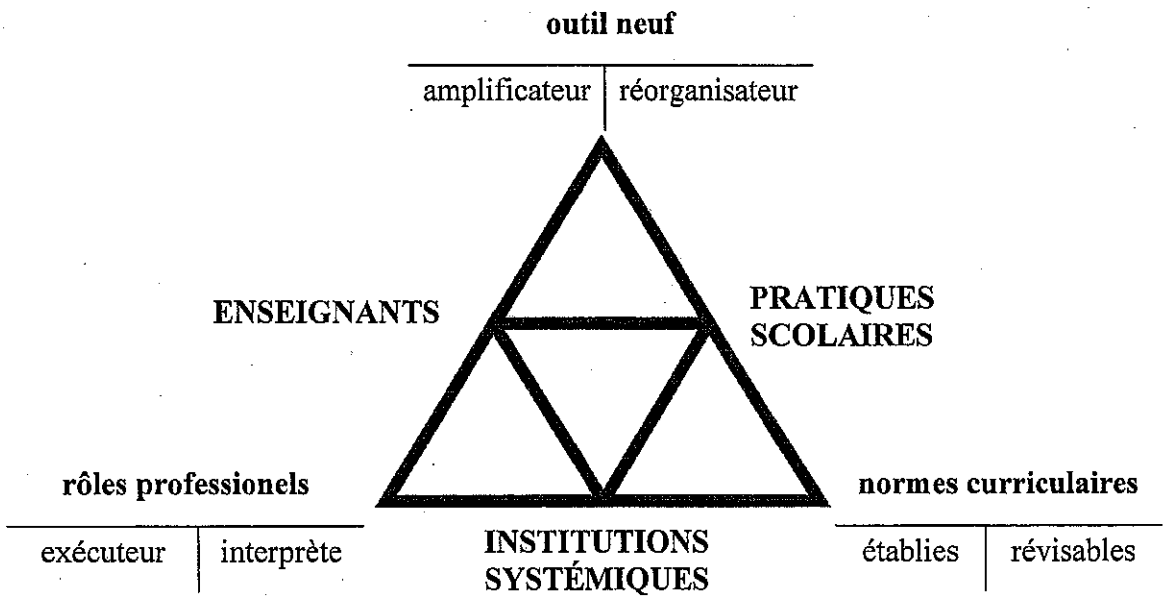
Retournons brièvement au cas de la calculatrice pour faire un bilan équivalent. On peut observer d'abord que les fonctions de la calculatrice s'accordent bien avec l'orientation arithmétique qui caractérise les mathématiques scolaires anglaises. Bien que son usage rencontre une réserve, surtout en face de la forte valorisation du calcul mental et écrit, il permet un travail mathématique plus efficace et adroit dans des situations où ces compétences ne sont pas essentielles. Vu l'attention et l'analyse particulière que le curriculum anglais accorde à la calculatrice, on peut constater que ses aspects instrumentaux sont plus reconnus et valorisés. Également, l'acceptation, même avec réserve, de la technique de 'trial and improvement', fortement associée avec l'usage d'une calculatrice, marque une légère renégociation des normes curriculaires. Certainement, on peut envisager une intégration plus profonde, y compris des innovations mathématiques (voir Ruthven 1999, 2001), mais il faut constater que, comparée aux autres outils mathématiques, l'intégration curriculaire de la calculatrice est plus forte.

On voit, alors, que ce modèle adapté des degrés d'intégration des TIC sert à discerner des aspects importants qui présentent des différences dans le cas de la calculatrice et celui de la géométrie dynamique. Ce modèle implique des aspects importants de l'enjeu de

l'intégration des technologies qui figurent dans l'analyse d'Artigue (2002) d'une série de projets pour développer l'usage éducatif des systèmes de calcul formel, intégrés dans des calculatrices symboliques en particulier. L'essentiel de cette analyse est qu'un enseignement cohérent et efficace des mathématiques instrumentées par les nouvelles technologies nécessite un renouvellement du cadre didactique et théorique; et que la création d'un tel cadre dépend non seulement d'une adaptation des connaissances de la culture mathématique établie, mais d'une fusion entre ces connaissances et celles d'une culture informatique émergente.

Un sommaire peut se faire sous une forme adaptée de système d'activité (Cole & Engeström, 1993). La triade psychologique (qui constitue la partie supérieure de Figure 6) évoque l'interaction entre un sujet (ici, les enseignants) et un objet (ici, les pratiques scolaires), médiée par un moyen (ici, l'outil neuf). Plus concrètement, le modèle proposé par Laborde, et l'élaboration de ses rangs initiaux avancée ici, illustrent que la médiation de la géométrie dynamique admet une gamme de possibilités, entre des usages comme amplificateur marginal de pratiques scolaires établies, jusqu'aux usages où l'outil sert de réorganisateur intégral pour créer des pratiques essentiellement neuves. On peut même suggérer que, où des usages amplificateurs prédominent –ce qui est l'état actuel anglais– il vaudrait peut-être mieux parler en termes des pratiques scolaires déjà constituées qui médient entre les enseignants et l'outil neuf.

Figure 6: La formation socioculturelle des usages d'un outil neuf dans un système éducatif



Mais il ne faut pas ignorer que le façonnement des usages de technologies nouvelles reflète l'encadrement socioculturel de cette triade psychologique dans un système d'activité plus large (qui nécessite l'inclusion de la partie inférieure de Figure 6). Cela implique la médiation du rapport entre une communauté (représentée ici par les institutions systémiques) et les enseignants par les rôles professionnels, et la médiation du rapport entre les communautés et les pratiques scolaires par les normes curriculaires. L'état actuel anglais, décrit dans cet article, reflète une communauté où les enseignants sont considérés comme des exécuteurs d'un curriculum établi et reçu, chargés d'améliorer sa « livraison », plutôt que comme des interprètes d'un curriculum plus négociable et révisable, chargés de son adaptation et d'une innovation continue, toujours conscients des perspectives mathématiques plus larges. Également, l'analyse d'Artigue signale l'ampleur et la complexité du travail mathématique et de renégociation institutionnelle nécessaire à renouveler l'infrastructure didactique pour réaliser une intégration forte d'un outil neuf dans les pratiques scolaires et les normes curriculaires.

Références

Artigue, M. (2002). Learning mathematics in a CAS environment: The genesis of a reflection about instrumentation and the dialectics between technical and conceptual work. *International Journal of Computers for Mathematical Learning* 7(3) 245-274.

Arzarello, F., Olivero, F., Paola, D, & Robutti, O. (2002) A cognitive analysis of dragging practises in Cabri environments. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik* 34 (3) 66-72.

Bell, A. W., Costello, J, & Küchemann, D. (1983). *A Review of Research in Mathematical Education – Part A: Research on Learning and Teaching*. (NFER-Nelson, Windsor).

Brown, S. & McIntyre, D. (1993) *Making Sense of Teaching*. (Open University Press, Buckingham).

Cole, M. & Engeström, Y. (1993). A cultural-historical approach to distributed cognition. Dans G. Salomon (Ed.), *Distributed Cognitions: Psychological and educational considerations* (pp. 1-46). (Cambridge University Press, Cambridge).

Department for Education and Employment [DfEE] (1997). *Excellence in Schools* (DfEE,

London).

Department for Education and Employment/Qualifications and Curriculum Authority [DfEE/QCA] (1999). *Mathematics: The National Curriculum for England.* (DfEE/QCA, London).

Department for Education and Employment [DfEE] (2001). *Key Stage 3 National Strategy: Framework for teaching mathematics.* (DfEE, London).

Department for Education and Skills [DfES] (2003). *Integrating ICT into mathematics in Key Stage 3.* (DfES, London).

*Deaney, R., Hennessy, S., & Ruthven, K. (à paraître). Teachers' strategies for making effective use of datalogging in secondary science lessons. *School Science Review.*

*Deaney, R., Ruthven, K., & Hennessy, S. (2006). Teachers' developing 'practical theories' of the contribution of information and communication technologies to subject teaching and learning: an analysis of cases from English secondary schools. *British Educational Research Journal* 32 (3).

Goodson, I., & Mangan, J. M. (1995). Subject cultures and the introduction of classroom computers. *British Educational Research Journal* 21 (5) 613-628.

Guin, D., Ruthven, K., & Trouche, L. (Eds.) (2005). *The didactical challenge of symbolic calculators: turning a computational device into a mathematical instrument.* (Springer, New York).

*Hennessy, S., Deaney, R., & Ruthven, K. (2005). Emerging teacher strategies for mediating technology-integrated instructional conversations: a socio-cultural perspective. *The Curriculum Journal* 16 (3) 265-292.

*Hennessy, S., Ruthven, K., & Brindley, S. (2005). Teacher perspectives on integrating ICT into subject teaching: Commitment, constraints, caution and change. *Journal of Curriculum Studies.* 37 (2) 155-192.

*Hennessy, S., Deaney, R., & Ruthven, K. (à paraître). Situated pedagogy for integrating use of multimedia simulation into secondary science teaching. *International Journal of Science Education.*

Hölzl, R. (2002). Using dynamic geometry software to add contrast to geometric situations – a case study. *International Journal of Computers for Mathematical Learning* 6 (3) 63-86.

Hoyles, C., Foxman, D., & Küchemann, D. (2001). *A comparative study of geometry*

curricula. (Institute of Education, London).

Kaiser, G. (2002). Educational philosophies and their influence on mathematics education – an ethnographic study in English and German mathematics classrooms. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik* 34 (6) 241-257.

Kerr, S. (1991). Lever and fulcrum: Educational technology in teachers' thought and practice. *Teachers College Record* 93 (1) 114-136.

Laborde, C. (2001). Integration of technology in the design of geometry tasks with Cabri-Geometry. *International Journal of Computers for Mathematical Learning* 6 (3) 283-317.

Lagrange, J-B., Artigue, M., Laborde, C., & Trouche, L. (2003). Technology and mathematics education: A multidimensional study of the evolution of research and innovation. Dans A. Bishop et al. (Eds.) *Second International Handbook of Mathematics Education,* pp. 237-269.

Miller, L., & Olson, J. (1994). Putting the computer in its place: a study of teaching with technology. *Journal of Curriculum Studies* 26 (2), 121-141.

Moscovici, S. (1990). Social psychology and developmental psychology: continuing the conversation. Dans G. Duveen, & B. Lloyd (Eds.), *Social Representations and the Development of Knowledge* (pp. 164-185). (Cambridge University Press, Cambridge).

Mullis, I., Martin, M., Gonzalez, E., & Chrostowski, S. (2004). *TIMMS 2003 International Mathematics Report*. (TIMSS & PIRLS International Study Center, Boston College).

Noss, R. & Hoyles, C. (1996). A window on teachers. Dans *Windows on Mathematical Meanings: Learning Cultures and Computers* (pp. 184-202). (Kluwer, Dordrecht).

Office for Standards in Education [OfStEd] (2004) *ICT in schools – the impact of government initiatives: Secondary mathematics* (OfStEd, London).

Royal Society/Joint Mathematical Council [RS/JMC] (2001). *Teaching and learning geometry 11-19*. (Royal Society, London).

Ruthven, K. (1999). Constructing a calculator-aware number curriculum: the challenges of systematic design and systemic reform. Dans O. Zaslavsky (Ed.) *Proceedings of the 23rd. Annual Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (vol. 1 pp. 56-71). (Technion-Israel Institute of Technology, Haifa).

Ruthven, K. (2001). Towards a new numeracy: the English experience of a 'calculator-aware' number curriculum. Dans J. Anghileri (Ed.) *Principles and Practice in Arithmetic Teaching* (pp. 165-188). (Open University Press, Buckingham).

*Ruthven, K. (2005). Expanding current practice in using dynamic geometry to teach about angle properties. *Micromath* 21 (2) 26-30.

Réproduit dans D. Wright (Ed.) (2005) *Moving on with Dynamic Geometry* (pp. 133-137). (Association of Teachers of Mathematics, Derby).

Ruthven, K. (inédit). A systemic history of information technologies in English secondary school mathematics.

*Ruthven, K., & Hennessy, S. (2002). A practitioner model of the use of computer-based tools and resources to support mathematics teaching and learning. *Educational Studies in Mathematics* 49 (1) 47-88.

*Ruthven, K., & Hennessy, S. (2003). Successful ICT use in secondary mathematics – a teacher perspective. *Micromath* 19 (2) 20-24.

Réproduit dans J.-A. Edwards & D. Wright (Eds.) (2005) *Integrating ICT into the mathematics classroom* (pp. 21-25). (Association of Teachers of Mathematics, Derby).

*Ruthven, K., Hennessy, S., & Brindley, S. (2004). Teacher representations of the successful use of computer-based tools and resources in secondary-school English, Mathematics and Science. *Teaching and Teacher Education* 20 (3) 259-275.

*Ruthven, K., Hennessy, S., & Deaney, R. (2005a). Incorporating Internet resources into classroom practice: Pedagogical perspectives and strategies of secondary-school subject teachers. *Computers and Education* 44 (1) 1-34.

*Ruthven, K., Hennessy, S., & Deaney, R. (2005b). Incorporating dynamic geometry systems into secondary mathematics education: Didactical perspectives and practices of teachers. Dans D. Wright (Ed.) (2005). *Moving on with Dynamic Geometry* (pp. 138-158). (Association of Teachers of Mathematics, Derby).

*Ruthven, K., Hennessy, S., & Deaney, R. (2005c). Current practice in using dynamic geometry to teach about angle properties. *Micromath* 21 (1) 9-13.

Réproduit dans D. Wright (Ed.) (2005) *Moving on with Dynamic Geometry* (pp. 128-132). (Association of Teachers of Mathematics, Derby).

Strauss, A, & Corbin, J. (1994). Grounded theory methodology: an overview. Dans N. Denzin & Y. Lincoln (Eds.), *Handbook of Qualitative Research* (pp. 273-285). (Sage, London).

Windschitl, M., & Sahl, K. (2002). Tracing teachers' use of technology in a laptop computer school: The interplay of teacher beliefs, social dynamics and institutional culture. *American Educational Research Journal* 39 (1) 165-205.

* Toutes ces publications sont téléchargeables de http://www.educ.cam.ac.uk/istl/pub.html.

University of Cambridge
Faculty of Education
184 Hills Road
Cambridge, CB2 2PQ
UK

kr18@cam.ac.uk