

## Penser la gestion didactique des artefacts pour faire et faire faire des mathématiques : histoire d'un cheminement de recherche

Luc Trouche, Institut National de Recherche Pédagogique, France, courriel : [Luc.Trouche@inrp.fr](mailto:Luc.Trouche@inrp.fr)

*Intégrer l'usage d'une calculatrice dans la classe n'est pas évident. Au travers de cet exemple, cet article présente la genèse d'une approche théorique, depuis une réflexion sur la gestion didactique des artefacts dans la classe jusqu'à l'étude des éléments organisateurs de l'activité de l'enseignant qui pilotent la mise en œuvre de ses différentes ressources.*

Le fait que les artefacts ont un impact fort sur la cognition humaine (Norman 1993) est largement reconnu dans les communautés qui s'intéressent aux questions d'enseignement et d'apprentissage. La *gestion didactique* des artefacts est cependant longtemps restée un point aveugle dans les recherches sur l'enseignement, en particulier des mathématiques. C'est l'importation des calculatrices dans les classes par les élèves, avec la petitesse des écrans et des claviers compromettant le suivi par le maître des gestes de leurs utilisateurs, qui a rendu indispensable une réflexion sur leur intégration. Dans la dynamique de cette réflexion, de nouvelles approches, pratiques et théoriques (Trouche 2007) ont émergé. Nous donnons ici notre vision des principales étapes de cette genèse.

### 1. Penser l'agencement des artefacts dans l'espace de la classe

Une triple nécessité (*suivre* pour l'enseignant ce que font les élèves sur leurs petites machines, le *rendre visible* pour la classe et pouvoir *influencer* sur cette activité instrumentée) a abouti à la proposition de nouvelles *configurations* de l'espace de la classe. La configuration dite de *l'élève sherpa*<sup>1</sup>, par exemple, bouleverse l'organisation traditionnelle de la classe : ce n'est plus l'enseignant qui est le seul maître de l'espace commun, ce que fait l'élève sherpa sur sa calculatrice (Figure 1), qui est rétroprojetée sur un écran, y participe aussi.



Figure 1. La configuration d'élève sherpa (Trouche 2007)

La mise en œuvre de cette configuration, dans de nombreux contextes, met en évidence la grande variété de ses *modes d'exploitation* : le choix de l'élève sherpa (« fort » ou « faible » en mathématiques, habile ou non avec la calculatrice) comme le type de conduite que l'enseignant adopte à son égard (suivre et commenter les techniques que le sherpa met en œuvre, ou lui dicter les commandes à réaliser), peuvent modifier profondément les effets didactiques de cette configuration. Réflexion sur les configurations et réflexions sur leurs modes d'exploitation apparaissent dès lors liées, avec une diversité d'applications rendue possible par l'évolution des environnements : calculatrices en réseau, espaces web, clés USB donnent de nouvelles possibilités pour l'échange de fichiers entre élèves et professeurs, pour la préparation du cours, ou la collecte de narrations de recherche (Sauter et al. 2008).

### 2. De l'agencement des artefacts à l'orchestration des situations mathématiques

Le choix d'une configuration donnée répond à des objectifs généraux de l'enseignant (par exemple, pour la configuration de l'élève sherpa, la socialisation partielle des processus d'appropriation des calculatrices), mais il doit nécessairement être pensé en relation avec le type de situation mathématique que l'enseignant veut traiter. C'est cette nécessité qui a suscité l'émergence du concept d'*orchestration instrumentale* (Trouche, ibidem). Une orchestration instrumentale, c'est l'organisation systématique des artefacts disponibles dans un environnement donné, pour la mise en

<sup>1</sup> Sherpa parce que l'élève en question porte une partie de la charge commune et qu'il sert de médiateur entre les différents protagonistes de la situation.

œuvre d'une activité mathématique donnée. Une activité mathématique peut passer par plusieurs phases : découverte du problème, recherche individuelle, travail en groupe, mise en commun, retour réflexif sur l'activité... Définir une orchestration suppose ainsi de penser plusieurs configurations et plusieurs modes d'exploitations, ajustés à ces différentes phases.

### 3. Concevoir dans un même mouvement la musique et la contribution des instruments

Cette première vision des orchestrations, séparant, d'un côté, la gestion des phases des situations, et, de l'autre côté, la gestion didactique des artefacts, comme une mise en musique d'une partition déjà écrite, est certainement incomplète, comme le souligne Kieran (2008). Je définirai aujourd'hui une orchestration instrumentale comme une *explicitation d'un projet didactique* dans un environnement technologique donné (Figure 2). Pour mettre en œuvre une situation mathématique, le l'enseignant construit un projet didactique, il pense l'intégration des artefacts dans un *continuum* : dès la conception du problème mathématique, jusqu'aux solutions possibles, aux apprentissages mathématiques qu'elles supposent et aux techniques qu'elles sollicitent ; c'est dans ce mouvement que les configurations et leurs modes d'exploitations sont envisagés.

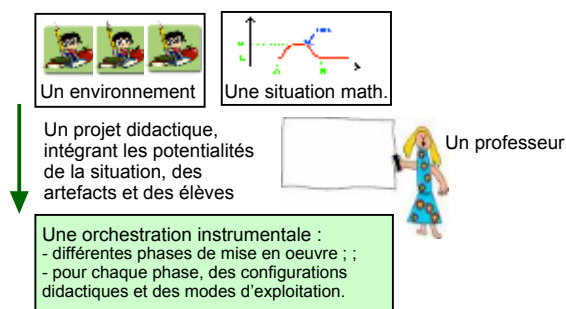


Figure 2. Une orchestration instrumentale, explicitation d'un projet didactique

### 4. Conception et mise en œuvre des orchestrations, différents états de développement

La conception et la mise en œuvre des orchestrations peuvent être abordées selon deux points de vue. Si on adopte le premier, celui de la littérature de recherche, on trouve fort peu d'exemples d'orchestration, comme le notent Drijvers *et al.* (soumis). Tout au plus peut-on en trouver quelques éléments descriptifs (par exemple dans Hivon *et al.* 2007). Cela amène sans doute à préciser la fonctionnalité de ce concept. Les orchestrations instrumentales doivent, selon moi, être pensées comme un outil du chercheur, de l'ingénieur didactique (qui conçoit des situations d'enseignement) ou du formateur : penser les orchestrations pousse alors à penser la contribution des artefacts à tous les niveaux de la situation d'apprentissage. On peut aussi, comme le suggèrent Drijvers *et al.* (ibidem), étendre le concept d'orchestration en considérant non seulement le niveau de *projet*, mais aussi le niveau de *mise en œuvre* : on aurait alors au-delà des configurations et des modes d'exploitations possibles, un niveau de mise en actes, dans lequel interviennent nécessairement les *ajustements* continus de l'enseignant, les interactions des élèves, les accidents didactiques, etc.

Si on adopte le deuxième point de vue, celui du travail de l'enseignant, on peut repérer, dans son projet de séance de classe, des *germes* d'orchestration instrumentale (par exemple « faire travailler pendant 10mn les élèves par deux avec leurs calculatrices, puis discuter collectivement les résultats ») dans lesquels les configurations sont décrites sommairement, et en général ne sont pas mises en relation avec les variables de la situation d'enseignement. De nombreuses études (par exemple Guin et Trouche 2008) ont montré l'intérêt, en formation, d'un travail sur ces germes, appelés *scénarios*, ou *synopsis* : le travail collaboratif, au sein de groupes de formation, pousse à l'explicitation de ces scénarios ; leur mise en œuvre, puis la réflexion individuelle et commune (Figure 3) permettent un enrichissement didactique de ces scénarios, tendant vers des orchestrations instrumentales.

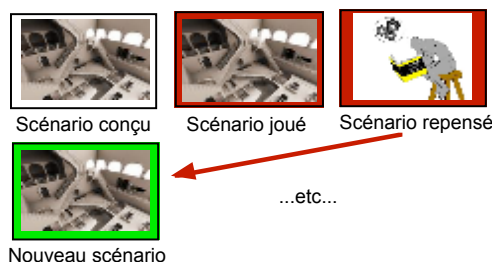


Figure 3. Des scénarios évoluant, au fil des mises en œuvre et de la réflexion, individuelle ou collective

Cet enrichissement n'est pas un processus naturel. Guin et Trouche (ibidem) mettent en évidence l'intérêt *d'assistants méthodologiques* pour accompagner l'évolution des scénarios. Ces assistants sont de différentes natures : ils peuvent être des propositions de *parcours* pour la conception de ressources (explorer des ressources existantes, définir ses objectifs, mettre en œuvre, réfléchir sur les effets obtenus, échanger avec d'autres, réviser) ou des *outils spécifiques* attachés à chaque ressource. Parmi ces outils, le CV (curriculum vitae) d'une ressource apparaît particulièrement utile : il manifeste le caractère vivant d'une ressource, il garde la mémoire de ses évolutions successives, il permet à chaque nouvel utilisateur d'y laisser sa trace. Cette trace est décisive, tant il est vrai que pour faire sien un scénario... il faut y mettre du sien.

#### 5. Des orchestrations à leurs éléments organisateurs : la notion de document

Cette vision des scénarios évolutifs pousse à considérer le travail de l'enseignant dans sa globalité et son mouvement. Un enseignant dispose d'un ensemble de *ressources*, qui s'enrichit au cours du temps : un répertoire de situations mathématiques, d'artefacts, de configurations, de modes d'exploitation, de gestes professionnels. Pour répondre à une nécessité professionnelle (par exemple : introduire le théorème de Pythagore à un niveau scolaire donné), il va puiser dans ce répertoire, structurer un ensemble de ressources qu'il va exploiter dans la classe. Ce type de tâche, il va être amené à le réaliser une fois, deux fois, ce nombreuses fois, dans des contextes variés. Ce qui est donné à voir à un observateur, dans la classe de cet enseignant, c'est une situation mathématique, des éléments d'orchestration de cette situation et de mise en œuvre de cette orchestration (pour un ensemble d'élèves-musiciens et d'instruments mathématiques donnés). Ce qui est en jeu, c'est beaucoup plus, ce sont des éléments organisateurs de l'activité de l'enseignant, ce que Vergnaud (1996), après Piaget, appelle un *schème*. Au cœur d'un schème, se trouvent des *invariants opératoires* qui ont été forgés au cours de l'activité de l'enseignant aux prises avec ce type de tâches (par exemple, pour l'introduction du théorème de Pythagore : « Le théorème de Pythagore doit être introduit en relation avec les calculs d'aires », ou « l'introduction d'un théorème de géométrie doit être précédée d'une manipulation de figures animées », etc.).

C'est pour prendre en compte cette complexité qu'a été introduite (Gueudet et Trouche, à paraître) la distinction entre *ressources* et *document* : un document (par exemple un document pour introduire le théorème de Pythagore...) est une entité mixte, composée d'un ensemble de ressources mobilisables par l'enseignant, et d'un schème qui pilote leur mise en œuvre. Suivant les circonstances, ce schème pourra donner matière à des scénarios différents, mais ce sont les mêmes invariants opératoires qui guident la conception des scénarios et leur mise en acte. Un document est donc une construction personnelle, résultat d'une genèse, fruit d'une dialectique entre un enseignant et ses ressources (l'enseignant modifie les ressources qu'il peut mobiliser, ses ressources en retour contribuent à l'évolution des pratiques et des conceptions de l'enseignant), cf. Figure 4.

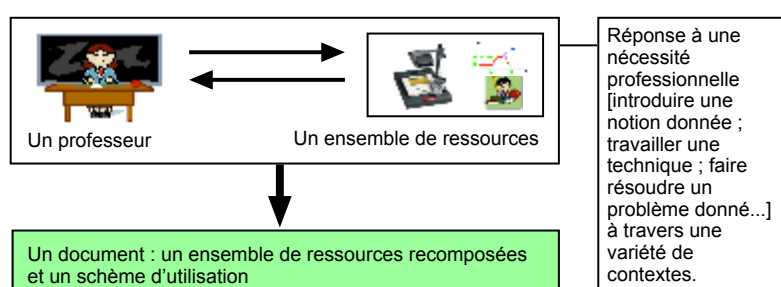


Figure 4. Genèse d'un document, au fil des usages d'un ensemble de ressources, pour un type de tâche donné

Cette conception du travail de l'enseignant est sans doute essentielle pour comprendre le caractère résistant de certaines pratiques : le développement des invariants opératoires est un long processus, en relation avec le développement professionnel des enseignants, leurs conceptions des mathématiques et de leur apprentissage. Toute formation, qui a pour projet naturel l'évolution des pratiques, doit sans doute articuler la stimulation de la réflexion des enseignants sur leurs propres scénarios et la proposition d'orchestrations instrumentales produites par la recherche.

#### 6. Une perspective holistique du travail et du développement des enseignants

Pour en arriver à la dernière étape de cette histoire, il faudrait donner une vision plus globale de cette approche documentaire, de deux points de vue :

- plus globale pour un enseignant donné : au cours de son travail, il conçoit un ensemble de documents, en relation avec différents types de situation. Ces documents ne sont pas isolés, ils partagent souvent des invariants opératoires communs, ils sont articulés comme sont articulées les différents types de tâches auxquelles fait face un enseignant. En ce sens, on peut parler de *système documentaire*, dont il faudrait élucider la structure ;

- plus globale du point de vue des collectifs dans lesquels un enseignant est inséré. Un enseignant ne travaille jamais seul, il développe ses documents en interaction avec ses élèves, avec des collègues, il recueille des ressources via Internet, il participe à différentes institutions ou associations. De ces insertions sociales, ses documents portent la marque.

Cette perspective holistique sur le travail des professeurs ouvre la voie à de nombreux programmes de recherche, qui ne concernent pas seulement l'enseignement des mathématiques...

#### Pistes pour l'action

- Penser l'usage didactique des artefacts devrait permettre à l'enseignant d'anticiper la contribution des artefacts à la réalisation des activités proposées, d'anticiper les utilisations possibles des élèves, de concevoir des configurations qui permettent de mettre en vue, quand c'est pertinent, le travail instrumenté des élèves : il s'agit à la fois pour l'enseignant de comprendre et accompagner ce travail, mais aussi de mettre en synergie les travaux des élèves
- Définir une orchestration instrumentale suppose de concevoir plusieurs configurations des artefacts et plusieurs modes d'exploitation, ajustés aux phases successives d'une activité didactique (différentes phases de la résolution d'un problème de mathématique par exemple) et aux objectifs de l'enseignant dans chacune de ces phases (stimuler les démarches d'exploration individuelle, ou la confrontation des idées, ou l'explicitation des preuves, ou un retour réflexif, ou...)
- Un enjeu pour la formation des enseignants est non seulement de proposer des orchestrations instrumentales clés en main, mais aussi de le faire en prenant appui sur les éléments organisateurs de l'activité des enseignants. Les enseignants ont accès, via Internet à un ensemble de ressources de plus en plus vaste : il est sans doute très important de penser des dispositifs et des assistants méthodologiques pour que les enseignants puissent mutualiser leurs scénarios et concevoir ensemble des ressources plus riches.

#### Remerciements

Merci à Paul Drijvers (Institut Freudenthal, Utrecht), Ghislaine Gueudet (CREAD, Rennes) et Carolyn Kieran (UQAM, Montréal) pour leur relecture attentive de cet article, et leurs suggestions pertinentes.

#### Références

Drijvers P., Doorman M., Boon P., van Gisbergen S. (soumis). Instrumental Orchestration : Theory and Practice, proposition de communication au colloque *CERME*, Lyon, janvier 2009.

Gueudet G., Trouche L. (à paraître). Du travail documentaire des enseignants : genèses, collectifs, communautés. Le cas des mathématiques. *Education et didactique*..

Guin D., Trouche L. (2008). Un assistant méthodologique pour étayer le travail documentaire des professeurs : le cédérom SFoDEM 2008. *Repères-IREM* 72, 5-24. [http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier\\_mutualisation/](http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier_mutualisation/)

Hivon, L., Péan, M., Trouche, L. (2008). D'un réseau de calculatrices à la construction collaborative du savoir dans la classe. *Repères-IREM*, 72 79-102, [http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier\\_mutualisation/](http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier_mutualisation/)

Kieran C. (2008). Pour les débats de RDM. *Recherches en didactique des mathématiques* 28(1), 107-114.

Norman D. (1993). Les artefacts cognitifs. In B. Conein, N. Dodier, L. Thevenot (dir.), *Les objets dans l'action* (pp. 15-34). Paris : Editions de l'EHESS.

Sauter M., Combes M.-C., De Crozals A., Droniou J., Lacage M., Saumade H., Thérét D. (2008). Une communauté d'enseignants pour une recherche collaborative de problèmes. *Repères-IREM* 72, 25-45, [http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier\\_mutualisation/](http://educmath.inrp.fr/Educmath/lectures/dossier_mutualisation/)

Trouche L. (2007). Environnements informatisés d'apprentissage : quelle assistance didactique pour la construction des instruments mathématiques ? In R. Floris, F. Conne (dir.), *Environnements*

*informatiques, enjeux pour l'enseignement des mathématiques. Intégrer des artefacts complexes, en faire des instruments au service de l'enseignement et de l'apprentissage* (pp. 19-38). Bruxelles : De Boeck.

Vergnaud, G. (1996). Au fond de l'apprentissage, la conceptualisation. In R. Noirfalise, M.-J. Perrin (dir.), *Ecole d'été de didactique des mathématiques* (pp. 174-185). Clermont-Ferrand : IREM (Université Clermont-Ferrand 2).