

Chapitre 7

Environnements numériques pour l'apprentissage, l'enseignement et la formation : une tentative de synthèse.

Jean-Baptiste Lagrange

LDAR, France ; jb.lagrange@casyopee.eu

Nous commençons cette tentative de synthèse par une caractérisation des environnements sur lesquels portent les chapitres de ce cahier, en identifiant les acteurs –élèves, enseignants, formateurs, concepteurs, à qui chaque environnement s'adresse, relativement aux objectifs guidant la conception.

Le Simulateur Informatique de classe d'Emprin vise à la formation d'enseignants à la conduite de classe. Dans le développement actuel, il s'agit d'une séance en salle informatique, situation dont on sait qu'elle présente des difficultés pour l'enseignant et aussi que documenter ces difficultés est un champ de recherche didactique très actuel. Les élèves sont présents comme « avatars » virtuels. Les personnes qui interagissent avec le logiciel sont les enseignants dans une situation de formation, mais cette interaction n'est qu'un des temps d'un scénario animé par un formateur. Le temps qui précède est celui de l'analyse a priori de la séance simulée et elle est suivie d'un temps d'exploitation et de recherche d'alternative. Le scénario s'inscrit dans l'analyse réflexive et pourrait bien évidemment s'appliquer à d'autres situations de classe. On entrevoit donc la possibilité qu'intervienne un concepteur pour implémenter d'autres situations.

Le système WIRIS de Gaona et Marquès vise à proposer une base d'exercices offrant des possibilités particulières pour l'enseignement des mathématiques. L'utilisateur est l'élève, mais l'enseignant est aussi concerné par la possibilité de gestion offerte par Moodle, ainsi que le concepteur par les outils que Wiris offre pour construire des exercices.

L'environnement Cabri présenté par Laborde, propose explicitement dans sa récente évolution une interaction différenciée selon les utilisateurs. L'auteur dispose de nombreux outils pour créer des tâches, que l'enseignant peut ensuite paramétrer et dont il peut adapter le texte et les images en fonction de ses objectifs et de ses élèves. Pour l'élève de l'enseignement primaire et du collège auquel l'environnement s'adresse, l'interaction n'est pas seulement adidactique, puisqu'il reçoit des rétroactions liées à la compréhension de la tâche et à l'insertion de cette tâche dans un processus d'apprentissage.

Tel n'est pas le cas, avec Casyopée présenté par Lagrange et Le Feuvre, dont l'ambition se limite à exploiter de façon innovante le potentiel de l'ordinateur pour une activité adidactique dans le domaine des fonctions au lycée. Le travail de conception d'usages et d'encadrement de l'activité adidactique des élèves reste à la charge de l'enseignant, et c'est une tâche non triviale. Les auteurs ont cependant développé un site web avec des exemples de situations de classe qui peuvent être utiles pour la formation ou être directement adaptées par l'enseignant.

Le site Pégase présenté par Tiberghien et Vince s'adresse à deux types de publics, l'enseignant et le formateur, mais, comme le disent les auteurs, il s'agit en fait de distinguer « deux fonctions ou postures » plutôt que des individus. Ces fonctions sont distinguées dans l'accès au site : l'entrée

« Enseigner » propose des séquences d'enseignement contextualisées, tandis que dans l'entrée « Se former » les hypothèses d'apprentissage et les outils de conception de séquences sont décontextualisés des situations en jeu dans les séquences.

A travers cette diversité des rôles spécifiques attribué par chaque environnement pour les acteurs –élèves, enseignants, formateurs, concepteurs, on comprend devant quels choix un chercheur développant un environnement est placé. À un moment donné, en fonction de ses objectifs et des moyens dont il dispose, vers quel public (ou plutôt quelle fonction) doit-il faire porter ses efforts et comment ? La recherche en didactique, notamment sur l'enseignant usager des TICE, joue un rôle en éclairant ces choix.

Après avoir ainsi positionné les environnements relativement à la façon dont ils s'adressent aux différents acteurs, nous recherchons, dans chacune des quatre sections qui suivent, des traits communs susceptibles de structurer le domaine de recherche sur lequel porte ce cahier.

Une évolution de la conception sur la durée

Un premier trait commun repérable dans les trois environnements les plus anciens (Cabri, Casyopée et Pégase) est que la conception s'inscrit dans un projet ou une suite de projets menés sur le long terme, et dont les objectifs se renouvèlent au cours du temps.

Ainsi, au début des années 1980, Cabri était un outil de manipulation de graphes. Il s'agissait de répondre à un besoin des chercheurs de ce domaine scientifique, tout en expérimentant les possibilités, nouvelles à l'époque, de manipulation directe d'objets virtuels. L'idée du déplacement qui transforme l'objet tout en maintenant ses propriétés, y était déjà présente. Plus tard dans la décennie, cette idée est transférée à la géométrie, en 2D puis en 3D. La conception évolue parallèlement à la généralisation des interfaces graphiques. Comme outil de recherche, Cabri a servi à construire et analyser des situations d'apprentissage en géométrie, en se centrant d'abord sur l'interaction de l'élève avec l'environnement, puis en élargissant aux choix de conception et de mise en œuvre. Ainsi, à partir du milieu des années 90, l'environnement Cabri a servi à organiser des milieux et des situations didactiques nouveaux. Avec les années 2000, l'attention s'est déplacée sur les enseignants à partir du constat d'une relative faiblesse d'usage des nouvelles technologies par les enseignants et s'est centrée sur les usages en primaire.

Ensuite a été menée une analyse du travail de l'enseignant dans une perspective vygotkienne qui a conduit, à la fin des années 2000 à la conception d'outils interactifs permettant de rendre productive l'interaction de l'élève et de l'insérer dans le projet didactique de l'enseignant. De nouveaux développements généralisent ces outils à différentes plateformes et à d'autres contenus, et aux élèves de collège.

Le développement de Casyopée a quant à lui commencé dans les années 2000, mais a été précédé par des recherches sur les usages du calcul formel dans l'enseignement des mathématiques au cours des années 1990 qui ont donné lieu au développement d'approches théoriques, instrumentale et anthropologique. Il s'agissait d'abord de spécifier un environnement de calcul formel pour la classe en tenant compte des difficultés d'intégration repérées dans les recherches. Le choix a été fait d'un environnement dédié aux fonctions, ce qui permettait de s'adapter à des objectifs d'apprentissage mieux qu'avec les logiciels standard de calcul formel qui se limitent à proposer des algorithmes « boîte noire », et de donner du sens aux manipulations algébriques que le calcul formel facilite. Ce choix des fonctions tenait compte de la place prise par ce domaine dans les curricula et la recherche en didactique. Il s'agissait notamment de faciliter la mise en

place de situations où les fonctions prennent sens comme modèles de relation de dépendance entre quantités, une conception des fonctions qui s'est développée à partir des années 2000 (Carlson et al. 2002). C'est pour cet objectif que la seconde version du logiciel a été développée à la fin des années 2000, avec l'adjonction d'un volet de géométrie dynamique et la conception d'un volet de calculs géométriques servant à faire le lien avec le volet d'algèbre existant en mettant ainsi l'accent sur la quantification. Une évolution plus récente, rapportée dans le chapitre est celle des fonctions définies par un algorithme, qui élargit encore le champ d'intervention des fonctions.

Dans le cas de PEGASE, l'objectif dans les années 1990 était la conception et la publication de séquences d'enseignement réalisées conjointement par un groupe de chercheurs et d'enseignants et parallèlement le développement de recherches sur l'évolution de la compréhension des élèves lors de l'enseignement des séquences développées. Puis est apparue la nécessité de produire des ressources transversales, alimentant l'entrée « Se former ». Il s'agissait d'abord d'explicitier les choix communs de conception des séquences d'enseignement relatifs à l'analyse du savoir, aux hypothèses d'apprentissage et aux pratiques d'enseignement. Et s'agissait ensuite d'aider à la conception autonome avec les mêmes choix et fondements théoriques que ceux utilisés pour les séquences déjà produites. Dans leur conclusion, les auteurs insistent sur la nécessité de la longue durée pour construire et expliciter ces choix et fondements théoriques.

Ainsi, dans les trois cas, le travail de conception et d'évaluation des usages sur plusieurs décennies a alimenté une réflexion théorique permettant le renouvellement des problématiques. La lecture des chapitres montre une imbrication de cette réflexion théorique avec le mouvement général en didactique, notamment par une prise en compte croissante du rôle de l'enseignant, des opportunités que lui offre la technologie, et des contraintes auxquelles il doit faire face. WIRIS et SIC sont trop récents pour que de telles évolutions soient repérables. Rendez-vous dans quelques dizaines d'années !

La collaboration entre informatique et didactique

Un second trait commun est que la conception d'environnements pour l'enseignement des mathématiques implique une collaboration entre informatique et didactique. Comme le montrent les chapitres, ces collaborations prennent diverses formes et génèrent inévitablement des tensions révélatrices de positions différentes, mais aussi d'opportunités. Les concepteurs de WIRIS situent cette collaboration de la façon suivante : « Nous en tant que professeurs et chercheurs proposons des idées, mais à partir des contraintes techniques et de l'expertise de développeurs ces idées se transforment en possibilité du logiciel ». Ils laissent ainsi penser à une division du travail, du type « spécification par le spécialiste du domaine » et « développement par l'informaticien ». Cependant, si on compare à d'autres développements comme WIMS (WWW Interactive Multipurpose Server, <http://wims.unice.fr>), la relation semble plus complexe. En effet, contrairement à WIRIS, WIMS a dans l'ensemble été développé par des enseignants de mathématiques. Il s'agit d'un environnement autonome : outre les ressources et exercices, il intègre un système complet de gestion des groupes d'élèves. On peut penser que, dans le cas de WIRIS, le développement de la base d'exercice dans Moodle correspond au choix d'assurer cette gestion dans cette plateforme d'apprentissage : ceci permet que les activités dans la base d'exercices soient gérées comme d'autres activités d'apprentissage. Il me semble que ce choix est cohérent avec des options générales en informatique, d'incorporer les développements nouveaux dans des environnements « standards », ce qui permet d'insérer les activités nouvelles dans des

usages établis. Par ailleurs, alors que WIMS utilise des fonctionnalités puissantes de calcul formel, d'affichage d'expressions mathématiques, de graphes et de figures géométriques interactives, son interface de recueil de réponses reste « basique ». Au contraire, à lecture du chapitre sur WIRIS, on constate une attention particulière à cette interface : écriture des expressions algébriques « à la main », expression des réponses à l'aide de figures tracées par l'utilisateur. Ces éléments d'interface novateurs posent des problèmes de développement importants et intéressants pour des informaticiens. Ainsi, on perçoit que le rôle des informaticiens dans WIRIS ne se limite pas à implémenter des spécifications des professeurs et chercheurs, puisqu'ils orientent le développement vers des problématiques propres à leur domaine.

Un phénomène de même nature a pu s'observer lors du développement de la seconde version de Cabri dans les années 1990 à propos de la création de points d'intersection. Dans la première version, l'utilisateur créait l'ensemble des points d'intersection à l'aide d'une entrée de menu qui requérait la désignation des deux objets. Dans la seconde version, la création d'un point d'intersection est proposée lorsque la souris passe à proximité des deux objets. Le fonctionnement dans la première version respecte une certaine cohérence mathématique : les objets géométriques sont des ensembles de points et leur intersection se définit comme la plus grande partie incluse dans chacun d'entre eux. Le fonctionnement dans la seconde version est davantage conforme à des principes d'interaction humain-machine : ne pas contraindre l'utilisateur pour une action qu'il peut opérer en suivant son intuition. Ce fonctionnement s'est imposé malgré certaines réticences de professeurs et de chercheurs, ce qui montre, comme dans l'exemple de WIRIS que la relation didacticiens-informaticiens fonctionne dans les deux sens : les informaticiens peuvent orienter le développement dans un sens que les didacticiens n'auraient pas spontanément considéré. En retour, professeurs et chercheurs bénéficient de nouvelles problématiques didactiques relatives à l'apport potentiel de ce développement aux apprentissages mathématiques.

L'attention aux choix locaux

Le chapitre introductif de ce cahier rappelle l'importance des « détails du design », en suivant Jackiw (2010) qui souligne que ces détails conditionnent le sens mathématique de l'activité d'un élève dans un environnement numérique. Les chapitres de ce cahier illustrent bien cette attention aux « détails » (ou « choix locaux »). C'est un point de vue explicitement adopté par Lagrange et Le Feuvre pour présenter des choix quant à la représentation du domaine de définition des fonctions et démarquer ainsi Casyopée d'autres environnements qui peuvent sembler « faire les mêmes choses ». Un autre exemple, dans le chapitre de Laborde est celui des « droites intelligentes » représentées par des traits étirables à volonté et qui s'allongent automatiquement à la création de points. Comme le dit l'auteure, le dessin est beaucoup plus clair car il permet de mieux isoler des configurations. Pour ma part, à partir de l'observation d'élèves à qui il avait été demandé de reproduire une figure d'un manuel (C.-DEDEOGLU 2006), j'ai pu constater que la représentation standard des droites en géométrie dynamique (se prolongeant jusqu'aux bords de l'écran) a posé des difficultés aux élèves car ils ne retrouvaient pas les conventions du papier crayon, et que cette difficulté n'avait pas été anticipée par l'enseignante. Il serait donc à souhaiter que les enseignants apportent plus d'attention à la façon dont ces choix locaux sont opérés dans les différents environnements qu'ils utilisent.

On retrouve l'importance des « détails du design » dans la conception des activités d'enseignement en physique proposées dans PEGASE. L'utilisation d'outils de conception

conduit à des choix spécifiques des composantes des activités conçues (mots, représentations, etc.).

Des facteurs imbriqués

Laborde, chapitre 3, donne une liste de facteurs ayant, au cours des années, influencé la conception de Cabri et elle souligne leur imbrication :

- la vision des concepteurs,
- le domaine de savoirs concerné,
- le choix des principes de conception d'interface,
- les besoins et désirs du terrain de l'enseignement des mathématiques,
- la recherche en didactique des mathématiques.

Ces facteurs sont aussi repérables dans la conception des environnements sur lesquels portent les autres chapitres. Prenons les exemples de Casyopée et de SIC. Le chapitre par Lagrange et Le Feuvre se termine par une présentation d'une étape récente du développement de Casyopée, les fonctions définies par un algorithme. Les auteurs font d'abord mention de besoins et désirs du terrain : l'évolution curriculaire qui demande de lier la création d'algorithmes et des activités dans différents domaines mathématiques, et le besoin de faire vivre certaines situations permises par cette évolution. Le domaine de savoirs concerné est celui des fonctions, auquel Casyopée est dédié. Les auteurs soulignent l'opportunité qu'offre ce nouveau mode de définition pour élargir encore le champ des fonctions, en cohérence avec leur « vision » des fonctions comme champ central pour la modélisation au lycée. Ils soulignent aussi qu'il n'existe pas de travail didactique sur les algorithmes dans ce champ, qui aurait pu les inspirer, mais que des recherches sur les premiers apprentissages en algorithmique et programmation les ont guidés pour les structures proposées aux élèves. Il faut noter que les auteurs sont partis de besoins du terrain, mais que finalement, le développement produit n'a pas d'équivalent dans les pratiques courantes et que donc son écologie est incertaine. Il y a bien imbrication des facteurs, mais ceux-ci ne sont pas nécessairement conciliables de façon harmonieuse.

Dans la présentation du Simulateur Informatique de Classe (SIC) par Emprin, nous repérons trois facteurs principaux. Tout d'abord, le développement témoigne de la vision du concepteur, auteur du chapitre, quant au type d'interaction avec l'environnement. Il se démarque d'emblée du choix le plus courant dans les environnements interactifs pour la formation, les « jeux sérieux », qui fonctionnent sur un système de récompense et l'idée de scénario gagnant, et qui selon l'auteur, vont ainsi à l'encontre de l'idée de formation réflexive. On perçoit donc l'influence d'un second facteur, la recherche en didactique des mathématiques qui a permis d'approfondir l'idée de formation réflexive d'enseignants, en créant des situations et des modèles adaptés en fonction d'objectifs clairement référés aux apprentissages des élèves. À la différence de Cabri et de Casyopée, le domaine de savoirs concerné n'est pas un domaine mathématique ; il est constitué, selon le terme employé par l'auteur, de savoirs de formation que l'on peut voir comme des savoirs professionnels, ancrés sur des pratiques, mais aussi caractérisés et théorisés via des recherches.

Pour conclure

L'exemple du SIC montre bien l'ambition et l'apport potentiel du champ de recherche sur lequel porte ce cahier : des connaissances et théories en didactique sont exploitées, et cette exploitation suppose une modélisation qui les objective et leur donne un caractère opérationnel. Le modèle est confronté aux contraintes et opportunités du développement, notamment à l'occasion de la collaboration avec des informaticiens et lors du travail sur les « détails » d'implémentation. Cette confrontation peut infléchir le modèle dans un sens productif, comme nous l'avons vu avec WIRIS et Cabri. Le modèle évolue aussi sur le temps long, comme nous l'avons vu avec Cabri, Casyopée et PEGASE, parallèlement à l'évolution de la recherche dans le domaine concerné.

Ce cahier apporte donc un éclairage utile sur les questions rappelées dans le chapitre introductif ; celles-ci concernent la collaboration avec d'autres champs de recherche, l'intervention de l'épistémologie et la didactique, ainsi que les connaissances didactiques et problématiques nouvelles apportées par le travail de conception et de développement. Aujourd'hui plus encore qu'il y a 20 ans au moment de la parution du numéro spécial de *Recherches en Didactique des Mathématiques* cité dans le chapitre introductif, les environnements numériques pour l'apprentissage, l'enseignement et la formation ne peuvent être ignorés. Nous espérons que les lecteurs, chercheurs et praticiens trouveront dans ce cahier matière à réflexion, qu'il les aidera à mieux apprécier les potentialités d'environnements portés par un travail de recherche tels que ceux qui font l'objet des chapitres et, pourquoi pas, que ce sera l'occasion de s'essayer à des usages pour la recherche ou l'enseignement.

Références

Carlson, M., Jacobs, S., Coe, E., Larsen, S. & Hsu, E. (2002). Applying covariational reasoning while modeling dynamic events: A framework and a study. *Journal for Research in Mathematics Education*, 33(5), 352-378.

C.-DEDEOGLU N. (2006), *Usages de la géométrie dynamique par des enseignants de collège. Des potentialités à la mise en oeuvre : quelles motivations, quelles pratiques ?* Thèse de doctorat de l'université Paris VII.

Jackiw, N. (2010) Attention to detail; broadening our design language. In Chapter 21, C. Hoyles & J. B. Lagrange (eds.) *Mathematics Education and Technology: Rethinking the Terrain*, pp. 431-433. Springer