



HAL
open science

Ressources numériques pour l'éducation mathématique. Conception, évaluation, qualité et appropriation

Jana Trgalová

► **To cite this version:**

Jana Trgalová. Ressources numériques pour l'éducation mathématique. Conception, évaluation, qualité et appropriation. Education. Université Claude Bernard Lyon 1 (UCBL), 2020. <tel-03724039>

HAL Id: tel-03724039

<https://hal.science/tel-03724039v1>

Submitted on 15 Jul 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Mémoire
présenté devant l'Université Claude Bernard - LYON I

pour l'obtention de l'
Habilitation à Diriger des Recherches
(arrêté du 23 novembre 1988, version consolidée au 22 septembre 2014)

Par

Jana Trgalová

**Ressources numériques pour l'éducation mathématique.
Conception, évaluation, qualité et appropriation**

Soutenance prévue le 17 novembre 2020

Devant le jury :

Teresa ASSUDE, Professeur des Universités, Université d'Aix-Marseille (rapporteur)

Nicolas BALACHEFF, Directeur de recherche émérite, CNRS (invité)

Ghislaine GUEUDET, Professeur des Universités, Université de Bretagne Occidentale (examineur)

Maria Alessandra MARIOTTI, Professeur, Université de Siena (rapporteur)

Christian MERCAT, Professeur des Universités, Université Claude Bernard – Lyon 1 (examineur)

Fabrice VANDEBROUCK, Professeur des Universités, Université de Paris (rapporteur)

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Introduction : mes problématiques de recherche..... | 3 |
| Axe 1. Conception et analyse de ressources et dispositifs numériques innovants pour l'apprentissage des mathématiques..... | 3 |
| Axe 2. Etude des processus d'appropriation de ressources numériques par les enseignants de mathématiques..... | 5 |
| Axe 3. Connaissance et compétences professionnelles des enseignants de mathématiques nécessaires pour une utilisation efficace du numérique dans leurs pratiques..... | 6 |
| Chapitre 1. Ressources éducatives..... | 7 |
| 1.1. Qu'est-ce qu'une ressource ?..... | 7 |
| 1.2. Qu'est-ce qu'une ressource numérique ?..... | 9 |
| 1.3. Conclusion : problématiques spécifiques des ressources numériques..... | 11 |
| Chapitre 2. Qualité de ressources numériques..... | 13 |
| 2.1. Qualité de ressources éducatives et démarche qualité : état de l'art..... | 13 |
| 2.1.1. Concept de qualité..... | 14 |
| 2.1.2. Qualité de ressources éducatives..... | 15 |
| 2.1.3. Critères de qualité de ressources éducatives..... | 16 |
| 2.2. Qualité de ressources de géométrie dynamique..... | 19 |
| 2.2.1. Démarche qualité, le cas de la plateforme i2geo.net..... | 19 |
| 2.2.2. Critères de qualité de ressources de géométrie dynamique..... | 21 |
| 2.2.3. Evaluation de la qualité de ressources de géométrie dynamique par des enseignants..... | 31 |
| 2.3. Discussion et conclusion..... | 47 |
| Chapitre 3. Appropriation de ressources numériques..... | 50 |
| 3.1. Concept d'appropriation..... | 50 |
| 3.2. Appropriation de ressources numériques par des enseignants..... | 52 |
| 3.2.1. Appropriation comme un processus long et dynamique..... | 52 |
| 3.2.2. Appropriation comme une genèse instrumentale..... | 53 |
| 3.2.3. Orchestration instrumentale stabilisée comme indicateur de l'appropriation..... | 54 |
| 3.2.4. Appropriation d'une ressource numérique par des enseignants : étude de cas..... | 55 |
| 3.3. Discussion et conclusion..... | 62 |
| Conclusion et perspectives..... | 64 |
| Ressources numériques : conception et qualité..... | 64 |
| Pratiques des enseignants avec des ressources : appropriation et usages..... | 66 |
| Compétences numériques des enseignants de mathématiques..... | 67 |
| Références..... | 70 |
| Curriculum vitae et publications..... | 78 |

Introduction : mes problématiques de recherche

En guise de préambule à cette note de synthèse, je reviens sur mon parcours professionnel depuis mes études universitaires, en présentant les problématiques de recherche que j'ai pu aborder. Ce regard rétrospectif vise à situer les choix des travaux de recherche sur lesquels porte cette synthèse et à leur donner une cohérence.

Dans le dénominateur commun de mes recherches se trouvent les technologies numériques pour apprendre et enseigner les mathématiques. Les différentes problématiques que j'ai abordées et qui sont toujours présentes dans mes travaux peuvent être regroupées autour de trois grands axes suivants.

Axe 1. Conception et analyse de ressources et dispositifs numériques innovants pour l'apprentissage des mathématiques

Depuis mes travaux de thèse (Trgalová, 1995), l'étude des apports du numérique pour l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques a été au centre de mes recherches. Mes travaux de doctorat ont contribué à la conception et au développement de Cabri-Géomètre, logiciel de géométrie dynamique. En effet, afin de mettre à profit ma double formation initiale en mathématiques et informatique, il m'a été confié de proposer un modèle informatique pour l'ajout du module « coniques » à ce logiciel ; ce dernier fait l'objet d'une partie de ma thèse. Par la suite, plusieurs projets de recherche auxquels j'ai participé exploitaient les potentialités de la géométrie dynamique pour l'apprentissage des mathématiques à divers niveaux scolaires. En particulier, le projet mené dans le cadre de mon séjour post-doctoral à l'université Concordia à Montréal (1997-1999) a donné lieu à une ingénierie didactique pour introduire des concepts d'algèbre linéaire, en première année des études universitaires, dans une approche géométrique utilisant Cabri-Géomètre (Sierpinska, Trgalová, Hillel & Dreyfus, 1999). Ces travaux ont montré à quel point il est essentiel d'interroger la nature des objets mathématiques manipulés sur l'écran puisque les conceptualisations des étudiants en dépendent. Plus tard, au sein du projet Intergeo¹, nous avons questionné la qualité de ressources de géométrie dynamique. Ainsi, nous avons conçu un formulaire de qualité pensé comme un outil d'analyse ou comme un guide de conception de telles ressources. Le chapitre 2 de cette synthèse est dédié à la présentation de ces travaux.

Si la géométrie dynamique est restée très présente comme objet de mes recherches, au fil du temps, des occasions se sont présentées pour développer et exploiter d'autres outils numériques dans divers domaines mathématiques. Ainsi par exemple dans le cadre du projet ReMaths², j'ai participé à des réflexions d'ordre épistémologique et didactique sous-tendant l'ajout d'un nouveau registre de représentation d'expressions algébriques sous forme d'arbres pour Aplusix, logiciel pour l'apprentissage des techniques de calcul algébrique (Trgalová, 2009 ; Trgalová & Chaachoua, 2009 ; Chaachoua, Trgalová, Viudez & Nicaud, 2010). Le développement d'Aplusix s'est poursuivi, notamment dans le cadre du projet européen MC

1 Interoperable Intractive Geometry for Europe, EU e-Content Plus programme, 2007-2010

2 Representing Mathematics with digital media, FP6 - Information and Communication Technologies, 2007-2009

Squared³. Son évolution a conduit à la conception d'une application d'algèbre dynamique EpsilonWriter⁴ et des outils dérivés comme TQuiz (Nicaud, Trgalová, Essonnier & Viudez, 2016) ou Aplusix Neo. Ces développements ont été stimulés par une communauté d'intérêt, constituée dans le projet. Cette communauté d'intérêt devait concevoir des ressources de type e-book avec pour objectif de développer la pensée mathématique créative des élèves, notamment à travers l'exploitation de ces outils numériques (Kynigos, Essonnier & Trgalová, 2020 ; Essonnier, Kynigos & Trgalová, 2019 ; Essonnier & Trgalová, 2018, Trgalová et al., 2016). La dynamique de conception de ressources numériques au sein de la communauté d'intérêt est analysée en termes de créativité sociale dans la thèse de N. Essonnier (2018) que j'ai co-encadrée.

Au sein du projet Tactileo⁵, des ressources numériques pour des tablettes tactiles ont été conçues et testées par des groupes d'enseignants et de chercheurs dont je faisais partie. Parmi celles-ci, un jeu à destination des élèves de maternelle visant l'apprentissage de l'énumération a été développé avec la technologie Cabri-Elem dans le cadre de la thèse de L. Rousson (2017) (réalisée sous ma co-direction).

Actuellement, je m'oriente vers l'étude des utilisations possibles de la réalité virtuelle dans des classes de mathématiques et leurs apports aux apprentissages. Dans sa thèse (démarrée en 2016 sous ma direction), X. Nicolas conduit des expérimentations autour de Handwaver⁶, un environnement virtuel immersif. Cette étude vise à explorer dans quelle mesure cet environnement virtuel peut aider des élèves du collège à développer leur vision dans l'espace (Nicolas & Trgalová, 2019).

Les questions de recherche abordées dans ces différents projets concernent l'un ou plusieurs des pôles « élève » (conception d'un milieu porteur d'apprentissages), « technologie » (nature des objets mathématiques représentés, potentiels et limites pour l'apprentissage des mathématiques, valeur ajoutée dans des situations didactiques) et « enseignant » (éléments de ressources facilitant leur appropriation). Ces travaux s'appuient sur des cadres théoriques de didactique des mathématiques, comme la *théorie des situations* (Brousseau, 1998) et la *théorie anthropologique du didactique* (Chevallard, 1992), articulées avec d'autres outils conceptuels plus spécifiques des environnements numériques comme les notions de *transposition informatique* (Balacheff, 1993), de *médiation sémiotique* (Bartolini Bussi & Mariotti, 2008), concepts issus de l'*approche instrumentale* (Rabardel, 1995) ou *ergonomique* (Tricot et al., 2003). Du point de vue méthodologique, mes travaux plus récents sont conduits en collaboration étroite avec des enseignants de mathématiques dans une démarche participative et itérative du type *design-based research* (DBRC, 2003).

3 Mathematical Creativity Squared, FP7 - Information and Communication Technologies, Grant Agreement n°610467

4 <https://epsilonwriter.com/>

5 Projet Investissement d'avenir P2 e-Education, 2013-2016

6 <https://umaine.edu/imre/handwaver/>

Axe 2. Etude des processus d'appropriation de ressources numériques par les enseignants de mathématiques

Devenue formatrice des enseignants de mathématiques à l'Institut Universitaire de Formation des Maîtres⁷ de Lyon en 2003, puis détachée à l'Institut National de Recherche Pédagogique⁸ en 2006, mes intérêts de recherche ont progressivement évolué vers un deuxième axe relatif à l'enseignement des mathématiques avec des technologies et des ressources numériques et aux pratiques numériques des enseignants.

Les recherches portant sur l'intégration de la technologie numérique dans les pratiques des enseignants montrent que la disponibilité de cette technologie ne suffit pas pour engendrer des usages. Les enseignants ont besoin de se l'approprier et ces processus sont loin d'être évidents. Or, nous avons constaté une absence de conceptualisation de la notion d'appropriation dans les recherches en didactique des mathématiques. En relation avec des technologies numériques, les chercheurs étudient ces processus en termes d'intégration plutôt qu'en termes d'appropriation. Par exemple, Gélis et Assude (2002) analysent des tâches proposées par des enseignants et définissent des indicateurs relatifs aux connaissances mathématiques et instrumentales et aux relations entre ces connaissances pour proposer trois modes d'intégration du logiciel en question. Abboud-Blanchard et Vandebrouck (2013) introduisent un cadre pour étudier des évolutions des pratiques numériques des enseignants en termes de *genèses d'usage de la technologie*. En s'intéressant au travail des enseignants de mathématiques avec des ressources, Gueudet et Trouche (2008) évoquent des *genèses documentaires* qui donnent naissance à des documents à partir de ressources disponibles.

Pour combler ce manque, dans sa thèse (que j'ai co-encadrée), L. Rousson (2017) a proposé un modèle pour étudier les processus d'appropriation de ressources numériques. Ce modèle articule l'approche instrumentale, la notion d'orchestration instrumentale (Trouche, 2005b) et le modèle TPACK (Mishra & Koehler, 2006). Ces travaux ont mis en évidence une influence forte non seulement des connaissances et pratiques professionnelles des enseignants sur ces processus, mais aussi d'autres éléments tels que des croyances, des perceptions liées à la technologie ou des valeurs que Schoenfeld (2011) englobe sous le terme *orientations*. La conceptualisation de la notion d'appropriation et les premiers résultats des études empiriques menées dans le cadre de la thèse de Rousson (2017) font l'objet du chapitre 3 de cette synthèse.

Plus récemment, la problématique d'appropriation a été élargie aux apports de formations dans le mémoire de Master de L. Courbon (2020) que j'ai encadré. Courbon s'est proposé d'étudier les conditions permettant aux formés de s'approprier des contenus de formation issus des recherches. Les résultats de ce mémoire ouvrent de nombreuses pistes pour penser de nouvelles formes de formation s'appuyant sur des besoins des formés et reposant sur des dispositifs d'accompagnement plutôt que sur des propositions de solutions toutes faites.

⁷ Devenu ensuite Ecole Supérieure du Professorat et de l'Education, composante de l'Université Claude Bernard Lyon 1 en 2013, puis Institut National Supérieur du Professorat et de l'Education en 2019

⁸ Devenu Institut Français de l'Education, composante de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon en 2010

Axe 3. Connaissance et compétences professionnelles des enseignants de mathématiques nécessaires pour une utilisation efficace du numérique dans leurs pratiques

Le troisième axe de mes recherches porte sur les compétences numériques des enseignants. Les recherches qui étudient les pratiques des enseignants lorsqu'il s'agit de l'utilisation de technologies numériques mettent en évidence que des connaissances spécifiques sont requises. Or, selon certains auteurs, les conceptualisations actuelles de ces connaissances ne reflètent pas adéquatement ce dont les enseignants ont besoin pour réussir l'intégration du numérique dans leurs pratiques (Hegedus et al., 2016 ; Guerrero, 2005). Nos premiers travaux menés dans cette direction (Tabach & Trgalová, 2020, 2019 ; Trgalová & Tabach, 2020) nous ont conduits à proposer un cadre permettant de définir des compétences numériques des enseignants, cadre qui pourrait servir de référence aussi bien pour la formation des enseignants que pour des besoins de la recherche. Nous y reviendrons dans la conclusion de cette synthèse où nous montrons comment les deux axes précédents s'articulent avec ce troisième.

Ce mémoire de synthèse est organisé en trois chapitres : le premier présente un bref état de l'art de la question de ressources et plus particulièrement ressources numériques qui permettra de situer nos problématiques de recherche présentées dans les deux chapitres suivants. Le chapitre 2 est dédié à la problématique de qualité de ressources numériques et le chapitre 3 à celle d'appropriation de ressources par des enseignants de mathématiques. Je conclue cette synthèse par une discussion des principaux résultats obtenus et une proposition de directions dans lesquelles je souhaite continuer à développer mes recherches.

Chapitre 1. Ressources éducatives

Depuis une vingtaine d'année, la communauté de recherche éducative porte un intérêt accru aux ressources et aux interactions des enseignants avec ces dernières. En attestent par exemple le développement de l'approche documentaire du didactique (Gueudet et Trouche, 2008) et la tenue de la conférence internationale Re(s)ources 2018⁹ à Lyon. Selon Adler (2019), cet intérêt est alimenté par trois sources principales : la diffusion d'initiatives de réforme dans l'enseignement des mathématiques et l'introduction de nouveaux textes curriculaires de toutes sortes, une offre grandissante de ressources numériques, notamment sur Internet, et le développement professionnel des enseignants résultant de leurs interactions avec des ressources. Notons que le contexte scolaire adopte également le terme de ressource ; par exemple les documents d'accompagnement des programmes sont désormais appelés *ressources* d'accompagnement du programme.

Ce chapitre se propose de faire un tour d'horizon de la notion de ressource (section 1.1) et de celle de ressource numérique (1.2) pour dégager des problématiques spécifiques liées à ces dernières.

1.1. Qu'est-ce qu'une ressource ?

Dans sa revue de littérature, Reverdy (2014) pointe la « complexité de la notion de ressource » qu'elle aborde à travers « les différentes définitions de ce que peut être une ressource pour enseigner, les différents types de ressources qui existent [...] et les usages que les enseignants en font au quotidien » (p. 3). Curieusement, on ne trouve aucune définition explicite de ressource ; à la place, plusieurs « découpages » sont mentionnés, par exemple ressources matérielles, humaines et culturelles, en référence aux travaux d'Adler (2000) ou encore la classification de ressources matérielles en ressources imprimées, ressources numériques et autres ressources parmi lesquelles sont distingués « des objets de la vie quotidienne utilisés à des fins pédagogiques ou des objets didactiques [...] construits en vue d'un apprentissage précis » (p. 2). Ces découpages font transparaître la difficulté à cerner les ressources utilisées par des enseignants, puisque tout objet peut potentiellement être une ressource du moment où un enseignant s'en sert pour faire son enseignement. D'autre part, dresser une cartographie de ressources existantes est une tâche complexe du fait qu'une multitude de critères peuvent être pris en compte conduisant à des classifications diverses et variées, par exemple le support (papier, numérique), la provenance (institution, association...) ou encore l'usage qui en est fait (pour la formation, pour la classe...).

Dans un autre contexte, en s'interrogeant sur les difficultés que les enseignants québécois rencontrent dans leurs efforts d'intégration des technologies numériques, Bibeau (2005) déplore dans un premier temps une multitude de dénominations relatives aux ressources qu'il qualifie de didactiques :

⁹ <https://resources-2018.sciencesconf.org/>

Une première difficulté concerne les ressources didactiques. Matériel scolaire, matériel pédagogique, matériel didactique, matériel complémentaire d'usage collectif [...], matériel d'apprentissage, [...] ressources d'enseignement et d'apprentissage (REA), "objet d'apprentissage", voilà autant d'appellations que l'on utilise pour identifier les ressources éducationnelles, culturelles et informationnelles que l'enseignant utilise pour enseigner et l'élève pour apprendre.

Ce constat l'a conduit à proposer sa propre vision de ce que peut être une ressource :

[...] pratiquement toute donnée, toute information, toute banque de ressources, tout document accessible sous format imprimé (manuel scolaire, livre de lecture, journal ou magazine, etc.), sous format analogique (cassette audio ou vidéo) ou sous format numérique (disquette, cédérom, DVD, Internet), puissent servir de matériel pédagogique pour l'apprentissage. Tous ces documents [peuvent] être considérés comme des ressources d'enseignement et d'apprentissage.

Or, cette proposition a été formulée en lien avec une des problématiques abordées par l'auteur concernant l'indexation des ressources pour pouvoir « les classer, les partager, les retrouver, les réutiliser et pour éviter de les dupliquer inutilement ». Ainsi, ne sont considérées comme ressources que des « objets » matériels, imprimés, analogiques ou numériques.

Une perspective différente est adoptée par Gueudet et Trouche (2011) au sein de l'approche documentaire du didactique ; les auteurs confèrent à la notion de ressource

une acception très large : un manuel scolaire, les programmes officiels, un logiciel, un site web, peuvent être, bien entendu, des ressources pour le professeur. Mais une copie d'élève, un conseil donné par un collègue... constituent également des ressources, au sens attribué à ce terme par (Adler 2000): ce qui re-source l'activité et le développement professionnel des professeurs (p. 147).

Cette « acception très large » s'impose pour pouvoir étudier le « travail documentaire » de l'enseignant qui est défini comme un travail de

conception (qui se nourrit des ressources disponibles) de la *matière* de son enseignement, pour lui, pour les élèves, pour les collectifs et les institutions auxquels il participe (Gueudet et Trouche, 2008, p. 7).

Dans cette large palette de ressources, une attention particulière est portée dans la littérature, notamment anglo-saxonne, aux ressources institutionnelles qui relèvent du curriculum. Ces ressources, nommées *curriculum materials* (Remillard, 2005), comprennent des textes de programmes, des manuels, des guides pédagogiques ou encore des logiciels éducatifs. Le terme plus générique d'*instructional material* ou plus récemment *instructional resources* (Remillard, 2018) désigne « tools provided to, appropriated by, or generated by teachers to guide or support instruction » (p. 70).

Enfin, citons encore Jolivet (2018) qui propose de décrire une ressource par les trois pôles que Le Moigne (2006, p. 64) attribue à un objet : (1) pôle « ontologique » (ce que la ressource est), (2) pôle « fonctionnel » (ce que la ressource fait, à quoi elle sert) et (3) pôle « génétique » (ce que la ressource devient).

Ce panorama d'approches de ressources montre la complexité à circonscrire précisément la notion de ressource. Dans nos travaux, comme nous allons voir, nous étions amenés à considérer des ressources particulières dont nous préciserons la nature. Pour cette raison, nous ne cherchons pas à prendre position par rapport à ces diverses approches.

Une attention particulière est portée aux ressources numériques du fait qu'elles offrent « de nombreuses opportunités pour enrichir et diversifier les enseignements et les apprentissages, pour prendre en compte la diversité des élèves »¹⁰ et qu'elles sont devenues quasiment incontournables aujourd'hui. La section suivante est consacrée à ce type de ressources.

1.2. Qu'est-ce qu'une ressource numérique ?

Dans le milieu éducatif en relation avec le numérique, nous ne pouvons pas nous intéresser au concept de *ressource numérique* sans considérer le concept d'*objet d'apprentissage* (learning object).

Le concept d'objet d'apprentissage est apparu dans le contexte d'apprentissage en ligne (e-learning), en référence au paradigme orienté objet de l'informatique des années 1960 qui a fortement valorisé la création de composants réutilisables (Del Moral & Cernea, 2005). Bien qu'il n'y ait pas de consensus sur la définition d'un objet d'apprentissage, la réutilisabilité semble être sa principale caractéristique. Un objet d'apprentissage est ainsi défini par IEEE Learning Technology Standards Committee comme "any entity, digital or non-digital, that can be used, re-used, or referenced during technology supported learning"¹¹. Considérant cette définition trop large, Wiley (2002) propose de définir un objet d'apprentissage comme "any digital resource that can be reused to support learning" (p. 6). L'auteur précise que cette définition comprend tout ce qui peut être diffusé par Internet ; des images, des vidéos, des animations ou des applications disponibles en ligne sont des exemples de « petits » objets d'apprentissage, des pages web entières qui combinent divers média sont des exemples d'objets d'apprentissage plus grands.

La définition de Wiley suggère que toute ressource numérique n'est pas nécessairement un objet d'apprentissage : pour l'être, la ressource doit soutenir l'apprentissage. Metros (2005) va plus loin et précise qu'une ressource, pour pouvoir faciliter l'apprentissage et devenir ainsi un objet d'apprentissage, doit satisfaire trois conditions :

We established that in itself, a digital resource, even if it does mediate learning, is not a learning object. Digital resources comprise simulations, movie clips, audio files, photos, illustrations, maps, quizzes, text documents, and much more. Thus, to be considered a learning object, the digital resource must include or link to (1) a learning objective, (2) a practice activity, and (3) an assessment. (p. 12)

L'expression « ressource numérique » n'est cependant pas définie ; elle apparaît comme un terme générique englobant tout ce qui peut être stocké, partagé ou diffusé sur un support numérique et en particulier *via* internet.

10 <https://eduscol.education.fr/cid119187/presentation-acquerir-des-ressources-numeriques-pour-l-ecole.html>

11 <https://www.ieeeltsc.org/working-groups/wg12LOM/lomDescription/>

En dehors des problématiques d'apprentissage en ligne, l'intérêt porté aux ressources numériques éducatives est motivé notamment par l'hypothèse que la transition du papier au numérique, du fait de son développement massif, va bouleverser les pratiques des enseignants : le numérique permet aux enseignants de prolonger le travail au-delà de la salle de classe, de réutiliser les ressources disponibles pour concevoir de nouvelles activités et de nouveaux supports en complément de manuels, de s'engager dans de nouvelles formes de collaboration avec d'autres enseignants... Il est cependant difficile de trouver une définition opérationnelle de ressource numérique. Le Centre collégial de développement de matériel didactique¹² définit des ressources numériques, nommées « ressources d'enseignement et d'apprentissage » (REA), comme étant « un cours, un programme ou une partie de cours réalisés sur support multimédia et faisant appel à la technologie informatique (TIC) » (CCDMD, 2003, p. 1). Cette définition est accompagnée d'exemples de REA : « des simulations, un dictionnaire informatisé ou diverses banques de données, des exercices, un répertoire de capsules vidéo ou des situations de résolution de problèmes accessibles à partir de cédéroms, de DVD ou d'Internet » (ibid.). La définition proposée par Bibeau (2005) repose également sur l'énumération d'objets numériques faisant partie de l'ensemble des ressources numériques : les ressources numériques pour l'éducation correspondent à

l'ensemble des **services en ligne**, des **logiciels** de gestion, d'édition et de communication (portails, logiciels outils, plates-formes de formation, moteurs de recherche, applications éducatives, portfolios) ainsi qu'aux **données** (statistiques, géographiques, sociologiques, démographiques, etc.), aux **informations** (articles de journaux, émissions de télévision, séquences audio, etc.) et aux **œuvres numérisées** (documents de références générales, œuvres littéraires, artistiques ou éducatives, etc.) utiles à l'enseignant ou à l'apprenant dans le cadre d'une **activité d'enseignement ou d'apprentissage** utilisant les TIC, activité ou **projet** pouvant être présenté dans le cadre d'un *scénario pédagogique*¹³.

La nature et la granularité différentes de ces objets amènent Bibeau à proposer six catégories de ressources numériques :

1. Portails, moteurs de recherche et répertoires ;
2. Logiciels outils, éditeurs, services de communication et d'échanges ;
3. Documents généraux de référence ;
4. Banques de données et d'œuvres protégées ;
5. Applications de formation ;
6. Applications scolaires et éducatives.

Loffreda (2017) qualifie la première catégorie d'« instruments de création, modification ou échange de ressources » ; la deuxième de « méta-ressources », les troisième et quatrième de « ressources éducatives plutôt usuelles ou [...] ressources patrimoniales » et les catégories cinq et six de « ressources « interactives », à utiliser en classe ou ailleurs » (pp. 13-14).

Les ressources numériques, de par leur diversité, leur quantité grandissante et une relative accessibilité, posent de nombreux défis. Selon Robertson (2006), « [d]énicher des ressources

¹² Centre de production de ressources numériques et de documents imprimés conçus à l'intention du personnel enseignant et des étudiants de l'ensemble du réseau collégial du Québec, principalement financé par le ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur, <https://www.ccdmd.qc.ca/>

¹³ Souligné par l'auteur.

utiles, crédibles, des contenus éducatifs de qualité mis à jour régulièrement relève bien souvent de l'utopie » (p. 13). Ce constat met en lumière trois problématiques qui, selon Bibeau (2005), constituent des obstacles à l'intégration de ressources numériques en classe :

- *le développement et la mise à jour de contenus numériques* qui fait défaut ;
- *l'indexation et la diffusion de ressources numériques*. L'indexation de ressources numériques par des métadonnées standardisées est une condition nécessaire pour les trouver et pour pouvoir les réutiliser. Cette condition n'est toutefois pas suffisante selon Bibeau (2005) qui considère qu' « il faut également aider les usagers de l'éducation à repérer facilement ces ressources » (p. 13) ;
- *la qualité et l'évaluation de ressources numériques*. Du fait que « [n]'importe qui peut publier n'importe quoi sur Internet » (ibid.), la question de la validité et de la pertinence des informations véhiculées dans les ressources se pose avec insistance. Certaines banques de ressources mettent en place des dispositifs d'évaluation de contenus publiés ; nous en présentons certains dans le chapitre suivant.

Dans le chapitre 2, nous présentons nos travaux relatifs à la dernière des trois problématiques évoquées.

1.3. Conclusion : problématiques spécifiques des ressources numériques

Cette brève revue de littérature montre la complexité de la notion de ressource dans le monde éducatif qui reste difficile à cerner. Diverses conceptualisations sont proposées parmi lesquelles se dégagent deux points de vue :

- l'un proposé dans l'approche documentaire du didactique qui conçoit une ressource en rapport avec un sujet (en particulier l'enseignant), c'est-à-dire que quelque chose peut être ressource pour quelqu'un et ne pas l'être pour quelqu'un d'autre : c'est le fait que cette chose nourrit (re-source) l'activité du sujet qui en fait une ressource ;
- l'autre point de vue est celui du domaine du e-learning qui considère une ressource (ou un objet d'apprentissage) comme un objet matériel qui peut être décrit et utilisé dans le processus d'enseignement et apprentissage.

Les ressources numériques jouissent d'une attention particulière à l'ère marquée par l'omniprésence du numérique dans notre quotidien, y compris dans l'éducation. L'éducation nationale préconise leur utilisation mettant en avant leurs plus-values :

Le numérique enrichit la palette des ressources au service des apprentissages et la variété des usages pédagogiques parmi toutes les options à disposition de l'enseignant. Son utilisation présente de nombreuses plus-values pour les enseignants, les élèves et leurs familles. (MENJ, 2019, p. 4)

Les travaux de recherche ont cependant montré que les ressources numériques posent de nombreux défis et font émerger des problématiques spécifiques de points de vue de leurs concepteurs ou de leurs utilisateurs, dont nous relevons les deux problématiques suivantes.

La première problématique concerne la diffusion et la possibilité de trouver des ressources pertinentes pour une utilisation donnée. Au cœur de cette problématique se trouve la notion

d'indexation de ressources par des métadonnées qui vise à accroître l'*accessibilité* des ressources, c'est-à-dire « permettre la recherche, l'identification, l'accès et la livraison »¹⁴ de ces ressources. Bien décrire les ressources est un enjeu important aussi bien pour l'utilisateur de ces ressources afin de pouvoir les retrouver, que pour le producteur pour pouvoir les partager et les rendre utilisables. Alors qu'il existe des standards définissant des métadonnées pour décrire des ressources éducatives (comme LOM par exemple), Jolivet (2018), en citant d'autres auteurs, pointe des insuffisances de ces standards, en particulier au niveau des descripteurs de l'activité pédagogique. L'auteur s'interroge également sur une indexation plus précise en lien avec des savoirs en jeu dans le contenu de la ressource. Il introduit alors la notion d'indexation « didactique » à destination des enseignants de mathématiques qui permettrait « de rendre compte des savoirs mobilisés et de leur organisation dans la ressource » (p. 32). Il pose la problématique d'indexation de ressources numériques éducatives comme « la modélisation et la caractérisation du savoir utilisées pour indexer et la mise en relation entre les ressources indexées et les curricula » (p. 54).

Une indexation satisfaisante de ressources n'est cependant pas suffisante pour leur (ré-) utilisation par des acteurs de l'éducation (enseignants, formateurs, élèves). Les ressources doivent aussi présenter une certaine « qualité » aux yeux de l'utilisateur. La seconde problématique est donc celle de l'évaluation et de la validation de ressources numériques diffusées sur internet. Elle pose la question de la qualité des ressources qui, comme nous l'avons vu, prend un sens particulier dans le contexte marqué par une profusion de ressources d'origines diverses. C'est à ce questionnement qu'est dédié le chapitre suivant.

¹⁴https://wikieducator.org/Les_enjeux_des_Normes_et_Standard_en_FOAD

Chapitre 2. Qualité de ressources numériques

L'évolution du numérique dans ces dernières décennies conduit à une profusion de ressources accessibles sur Internet et au développement de la formation à distance à travers des dispositifs d'apprentissage en ligne (e-learning) tels que des plateformes de formation en ligne, des LMS (Learning Management Systems) ou encore des universités ou campus numériques. L'enseignant ou le formateur se trouve ainsi face à un double problème : chercher des ressources intéressantes et choisir la ressource la plus pertinente pour un objectif d'apprentissage donné.

Mahé et Noël (2006) font le constat que les ressources disponibles sont peu utilisées car difficilement repérables et sans indication sur leur qualité :

Les problèmes cruciaux de l'utilisation de ces objets d'apprentissage concernent en effet leur repérage (d'où l'intérêt des banques de ressources et des liens entre elles afin d'accroître la visibilité des ressources) et les possibilités de sélection sur la base d'une validation et de l'évaluation de leur qualité (p. 2).

Ainsi, toujours selon les auteurs, les concepts d'utilisabilité¹⁵ et de modularité¹⁶ qui étaient au cœur des recherches sur les ressources éducatives ont progressivement laissé la place à ceux de référencement, validation et évaluation de leur qualité, ce qui rejoint les résultats évoqués dans le chapitre précédent.

Le but de ce chapitre est de présenter notre contribution aux réflexions sur la question de la qualité de ressources numériques, relativement peu abordée dans les recherches en didactique des mathématiques. Nous commençons par donner un aperçu sur la conceptualisation de la qualité dans divers domaines (2.1) pour pouvoir situer notre approche qui porte essentiellement sur la qualité de ressources de géométrie dynamique (2.2) par rapport aux recherches existantes. Nous concluons ce chapitre en ouvrant des perspectives de ces travaux pour la formation des enseignants de mathématiques.

2.1. Qualité de ressources éducatives et démarche qualité : état de l'art

Dans cette partie, nous présentons les différentes acceptions du concept de qualité dans divers domaines (2.1.1), dont certaines pourront s'appliquer aux ressources éducatives (2.1.2), puis nous mettons en évidence les dimensions de qualité de ressources éducatives que des travaux de recherche, mais également les parties prenantes dans des banques de ressources éducatives ont fait émerger (2.1.3).

15 C'est-à-dire « la capacité de l'objet à être facilement utilisé par une personne donnée pour réaliser la tâche pour laquelle il a été conçu », <https://www.usabilis.com/definition-utilisabilite-usabilite/>

16 C'est-à-dire le degré auquel peuvent être séparés les composants d'une ressource et recombinaison, au profit de la variété de son utilisation.

2.1.1. Concept de qualité

Delvosalle (2002) donne un aperçu de l'évolution de la vision de la qualité d'un objet (produit, service ou processus), d'une « conception descriptive, statique » qui considère la qualité « comme un niveau de supériorité relative d'un produit (le « meilleur » !) » à la vision de la qualité « comme une mesure de l'harmonie de la rencontre entre les besoins des bénéficiaires ». Cette vision confère à la qualité un caractère subjectif puisque

C'est donc le jugement, l'appréciation du bénéficiaire (l'utilisateur), sur base de son expérience réelle et par rapport à ses besoins et désirs, exprimés ou non, conscients ou intuitifs, techniques ou subjectifs, qui donnent la seule mesure de la qualité d'un « produit ». (ibid.)

Selon Mar (2013), le concept même de qualité est difficile à saisir puisque les chercheurs ne s'accordent pas sur sa définition. L'auteur souligne sept définitions différentes qui considèrent la qualité du point de vue de la gestion, de l'assurance qualité, du produit, du marketing, de la fabrication et de l'économie : un objet est de qualité s'il :

1. *convient à son usage* (Fit for Purpose). Selon l'auteur, cette définition est utile car applicable à tout processus, service ou produit, néanmoins il est difficile de mesurer la qualité ainsi définie.
2. *est conforme aux exigences* (Conformance to Requirements). La facilité de valider la conformité et d'identifier les non-conformités aux exigences données est contrebalancée par le fait que les exigences peuvent offrir une vision biaisée et subjective de la qualité.
3. *coûte plus cher à produire* (Quality is Cost). L'auteur remet en cause cette définition en soulignant que si elle convient pour de simples produits, elle n'est pas applicable à la technologie par exemple : “*The history of technology is filled with cheaper products that have higher quality*” (ibid.).
4. *coûte le prix que les consommateurs sont disposés à payer pour* (Quality is Price). Cette définition voit la qualité proportionnelle au prix de l'objet : plus l'objet est cher, meilleure est sa qualité.
5. *se conforme aux normes, procédés et spécifications* (Quality is a Standard). Dans le domaine de la fabrication, c'est cette vision de la qualité qui est utilisée et qui s'applique aux produits aussi bien qu'aux processus.
6. *offre un bon rapport qualité prix* (Quality is Value for Performance). Du point de vue de marketing, cette définition de qualité est souvent utilisée pour expliquer pourquoi les consommateurs achètent les produits en question.
7. *procure une expérience satisfaisante* (Quality is an Experience). La fidélisation d'un client est considérée comme une mesure de qualité selon ce point de vue.

Toutes ces définitions sont liées aux résultats (produits). Delvosalle (op. cit.) désigne cette approche par l'expression « qualité produit » dont il évoque des limites : « les objectifs sont clairement fixés, mais les moyens pour les obtenir demeurent vagues, difficiles à spécifier et à mettre en œuvre ». L'auteur présente une autre approche de qualité, désignée par l'expression « gestion de qualité » qui part de l'idée que « pour garantir la qualité des résultats, il faut avoir une réelle maîtrise des processus » de production. Cette approche vise l'amélioration continue de ces processus et des résultats obtenus (Figure 1).

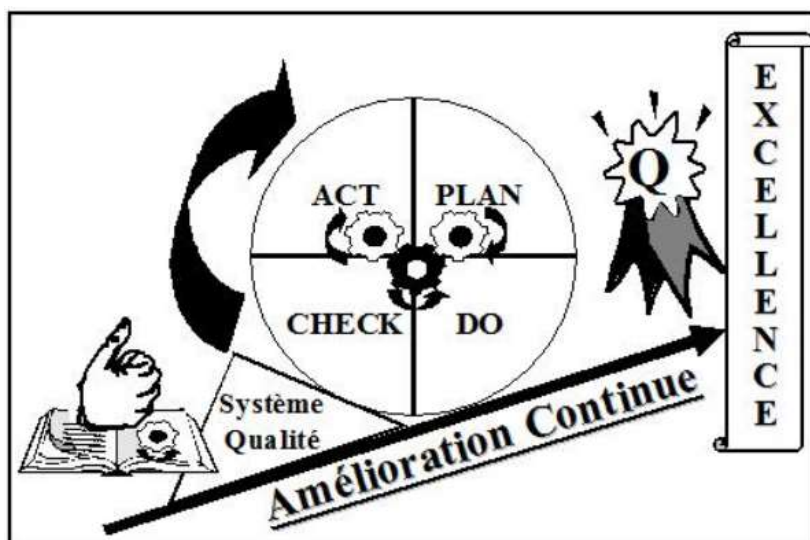


Figure 1. Amélioration continue (Delvosalle, 2002)

Dans la suite, nous allons nous restreindre au domaine de l'éducation et considérer des ressources éducatives comme objets dont la qualité est en question.

2.1.2. Qualité de ressources éducatives

Dans le contexte éducatif et en relation avec des ressources éducatives libres (REL), Camilleri et al. (2014) proposent de circonscrire le concept de qualité à la confluence de cinq attributs (p. 13) :

- *Efficacité* qui signifie aptitude à l'emploi de l'objet évalué. Dans le contexte des REL, cela pourrait renvoyer aux aspects tels que la facilité de réutilisation ou la valeur éducative. Cette vision fait écho à la définition 1 du paragraphe ci-dessus.
- *Impact* qui exprime la mesure dans laquelle l'objet évalué est efficace. L'impact dépend de la nature de l'objet lui-même, du contexte dans lequel il est appliqué et de son utilisation. Cette dimension se rapproche de la définition 7 qui repose sur l'expérience des utilisateurs.
- *Disponibilité* qui est une condition préalable à l'efficacité et à l'impact. La disponibilité inclut des concepts tels que la transparence et la facilité d'accès.
- *Exactitude* qui renvoie à la précision et à l'absence d'erreurs.
- *Excellence* qui compare la qualité d'un objet à ses pairs et à son potentiel de qualité, c'est-à-dire le potentiel de qualité théorique maximum qu'il peut atteindre. On retrouve dans cette vision le niveau de supériorité évoqué par Delvosalle (2002).

Ce qui semble se dégager de ces considérations est le fait que la définition de qualité d'un objet (une ressource dans notre cas) recouvre deux types d'aspects : d'une part des aspects qui déterminent la qualité « intrinsèque » (Pepin, 2020) de la ressource, tels que l'exactitude du contenu de la ressource ou absence de bug informatique par exemple, et d'autre part des aspects qui dépendent de l'utilisateur, ses connaissances et ses croyances, mais aussi du contexte dans lequel il inscrirait l'utilisation de la ressource.

Mahé et Noël (2006) distinguent la validation d'une ressource qu'elles considèrent comme une « vérification de la conformité de la ressource à certaines exigences » (qui reposerait sur la définition 2 citée plus haut) de son évaluation qui est une « estimation de la qualité de la ressource relativement à différents critères ». Les auteurs ont mis en évidence différents scénarios d'évaluation :

- *Evaluation a priori implicite* qui est utilisée par des banques de ressources qui obligent les auteurs de ressources à faire partie de l'institution ou du réseau pour pouvoir faire un dépôt. Dans le cas de sites proposant des ressources spécialisées sur une thématique (par exemple ClasseTICE¹⁷, portail des usages du numérique pour le primaire), la sélection renvoie implicitement à cette thématique.
- *Evaluation par un comité scientifique (peer-review)* qui est effectué généralement avant le dépôt par un ou plusieurs experts. La banque de ressources MERLOT¹⁸ utilise ce type d'évaluation et a même mis en place une formation pour des évaluateurs¹⁹ afin de s'assurer que ceux-ci s'approprient les processus et les politiques de MERLOT en matière d'évaluation par les pairs.
- *Evaluation par des utilisateurs* qui ont la possibilité d'évaluer les ressources par une note (par exemple, on peut voter pour les ressources sur ClasseTICE de 1 à 5) ou par un commentaire libre (par exemple, sur Edupass²⁰ on peut laisser un commentaire sur une ressource en s'identifiant avec un nom et une adresse de messagerie).
- *Evaluation croisée* qui combine deux scénarios, notamment une évaluation par *peer-review* avec celle par des utilisateurs. C'est le cas de la banque MERLOT par exemple.

Contrairement à l'évaluation implicite ou par des utilisateurs qui n'a en général pas besoin de s'appuyer sur des critères explicites, celle par un comité scientifique renvoie à des critères prédéfinis. La section suivante est dédiée à la présentation des différents critères de qualité de ressources éducatives discutés dans la littérature.

2.1.3. Critères de qualité de ressources éducatives

Mahé et Noël (2006) regroupent les critères de qualité utilisés par les diverses banques de ressources en quatre catégories :

- *évaluation technique* qui analyse « la qualité de fonctionnement et d'exécution de la ressource pédagogique » ;
- *évaluation du contenu* qui interroge sa validité et son apport à l'apprentissage ;
- *évaluation du design* qui porte sur « la fonctionnalité de l'interface et son intérêt par rapport aux objectifs pédagogiques définis » ;
- *évaluation de la description* qui vise à vérifier l'exactitude des informations fournies pour décrire la ressource (métadonnées).

17 <https://classetice.fr/>

18 <https://www.merlot.org/merlot/index.htm>

19 http://info.merlot.org/merlohelp/topic.htm#t=MERLOT_Peer_Review_Information.htm

20 <https://edupass.hypotheses.org/>

Les auteurs soulignent que ces évaluations s'appuient sur des critères « documentaires », c'est-à-dire que c'est surtout le contenu et sa description qui sont évalués et elles déplorent l'absence d'une approche pédagogique qui intégrerait une analyse de scénarios d'usage et de contextes pédagogiques.

La dimension pédagogique est prise en compte dans le modèle TIPS (*TIPS framework*) élaboré par l'organisation internationale Commonwealth of Learning établie au Canada (Kawachi, 2014). Ce modèle propose 38 critères de qualité qui ont été reconnus par des enseignants auteurs de ressources comme utiles et représentant les bonnes pratiques (*pedagogic best practices*). Ces critères, formulés comme des conseils pour des concepteurs de ressources, sont regroupés en quatre catégories :

- La catégorie T, pour *Teaching and learning processes*, comprend 16 critères relatifs à l'approche pédagogique (ex. "Use a learner-centered approach" ou "Don't use difficult or complex language, and do check the readability to ensure it is appropriate to age/level", p. 6-7) ;
- La catégorie I, pour *Information and material content*, contient sept critères concernant à la fois le contenu de la ressource (ex. "Your content should be authentic, internally consistent and appropriately localized"), et l'aspect design (ex. "Try to keep your OER [Open Educational Resource] compact in size, while allowing it to stand-alone as a unit for studying by itself. Consider whether it is small enough to reuse in other disciplines", p. 7-8) ;
- La catégorie P, pour *Presentation product and format*, propose huit critères qui concernent l'accessibilité et la réutilisabilité de la ressource (ex. "Use open formats for delivery of OER to enable maximum reuse and remix"), son apparence, notamment au regard de la motivation des apprenants (ex. "Put yourself in your student's position to design a pleasing attractive design, using white-space and colours effectively, to stimulate learning"), mais également sa possible intégration dans une progression (ex. "Consider suggesting which OER could come before your OER, and which OER could come afterwards in a learning pathway", p. 8) ;
- La catégorie S, pour *System technical and technology*, propose sept critères relatifs aux métadonnées (ex. "Give metadata tags for expected study duration, for expected level of difficulty, format, and size") et à des aspects techniques (ex. "Try to use only free sourceware/software, and this should be easily transmissible across platforms", p. 8).

La collection numérique de la bibliothèque DLESE²¹ est un autre exemple de banque de ressources où la dimension pédagogique est prise en compte. Les ressources disponibles sont évaluées du point de vue de leur qualité pédagogique, scientifique et technique. Elles doivent vérifier sept critères (Kastens et Tahirkheli, 2005) : elles doivent être scientifiquement exactes (*scientifically accurate*), pédagogiquement efficaces (*pedagogically effective*), bien documentées (*well-documented*), facilement utilisables par des enseignants et des apprenants (*easy to use for teachers and learners*), motivantes pour des apprenants (*inspirational or*

21 Digital Library for Earth System Education

motivational for learners), robustes en tant que ressources numériques (*robust as a digital resource*) et importantes quant au contenu proposé (*important/significant in content*). Le dispositif d'évaluation mis en place repose sur l'évaluation de la qualité du point de vue

- scientifique par la communauté scientifique via des *peer review* anonymes ;
- pédagogique par un évaluateur indépendant via des observations de classes et des évaluations des acquis des apprenants dans des classes utilisant et n'utilisant pas la ressource donnée ;
- technique par des tests du fonctionnement de la ressource sur des machines et des systèmes variés et par la recherche systématique de dysfonctionnements.

Ce dispositif est très ambitieux et coûteux, par conséquent il ne permet d'évaluer qu'un nombre restreint de ressources.

MERLOT²² est un autre exemple de banque de ressources qui met en place une évaluation de ressources incluant la dimension pédagogique. L'évaluation de la qualité de ressources est supervisée par des comités éditoriaux qui désignent des membres de la communauté MERLOT pour réaliser cette évaluation (*peer review*). Les ressources sont évaluées selon trois critères : qualité du contenu (*quality of content*), efficacité potentielle de la ressource comme un outil d'enseignement (*potential effectiveness as a teaching tool*) et facilité d'utilisation (*ease of use*). Chaque critère requiert une évaluation globale (par exemple, "Overall, the quality of content is very high"²³) ainsi qu'une évaluation plus détaillée en répondant à des items associés (avec positionnement de 5 – excellent ou tout à fait d'accord à 1 – faible ou pas du tout d'accord) :

- 11 items pour évaluer la qualité du contenu (ex. "The learning material... is supported by appropriate research" ou "...provides accurate information") ;
- 8 items pour évaluer l'efficacité potentielle de la ressource comme un outil d'enseignement (ex. "This learning material... builds on prior concepts" ou "...is very efficient (could learn a lot in short time)");
- 9 items pour évaluer la facilité de l'utilisation de la ressource (ex. "This learning material... has very clear instructions" ou "...is of high design quality").

Des commentaires qualitatifs peuvent être ajoutés pour souligner des aspects particulièrement intéressants de la ressource (ex. "Strengths: Describe the outstanding features of the quality of the learning material") ou inversement, des faiblesses identifiées (ex. "Concerns: Describe any problems in terms of quality").

Ce bref tour d'horizon de la question de qualité a permis de voir qu'il n'y a pas de consensus sur la définition du concept de qualité. Deux approches de qualité co-existent : une approche « qualité produit » qui porte la ressource comme le produit fini et une approche « gestion qualité » qui se concentre à la fois sur les processus et leurs résultats et dont l'objectif principal est une amélioration continue des deux (processus et résultats). Nous verrons dans la suite que nos travaux sur la qualité de ressources de géométrie dynamique s'inspirent de cette seconde approche. Par ailleurs, nous avons vu que l'évaluation de la qualité d'un produit est

22 <https://www.merlot.org/merlot/>

23 http://info.merlot.org/merlohelp/assets/docs/Peer_Review_form_CC_0519.pdf

tributaire de l'utilisateur de ce produit et du contexte de son utilisation, ce qui confère à la qualité une dimension subjective et située. Concernant les ressources numériques et les critères pour évaluer leur qualité, bien que la validité du contenu de la ressource et la qualité technique soient largement partagés par des banques de ressources, la dimension pédagogique n'est pas prise en compte par toutes et la dimension didactique encore moins. Une des raisons possibles peut être la grande diversité de types de ressources numériques. En effet, la qualité didactique d'un logiciel ne serait pas évaluée de la même manière et par les mêmes critères qu'une activité d'apprentissage faisant appel à un outil numérique. Il semble donc difficile de proposer des critères pour une évaluation fine de ressources numériques quelle que soit leur nature.

Dans la section suivante, nous présentons notre contribution à la problématique de la qualité de ressources numériques en ciblant plus particulièrement celles qui mobilisent un logiciel de géométrie dynamique (GD).

2.2. Qualité de ressources de géométrie dynamique

Cette section s'appuie largement sur nos travaux menés dans le cadre du projet européen Intergeo (2007-2010), en particulier (Trgalová & Jahn, 2013 ; Trgalová et al. 2011 ; Soury-Lavergne, Trgalová & Jahn, 2011).

Le projet poursuivait un triple objectif : (1) rendre interopérables les principaux logiciels de géométrie dynamique, (2) rendre possible le partage, via une plateforme européenne, de ressources éducatives décrites par un ensemble de métadonnées (Kortenkamp et al., 2009), et (3) mettre en place une démarche qualité permettant une amélioration continue de ressources de géométrie dynamique disponibles sur cette plateforme.

La plateforme i2geo.net a été fondée sur le principe du développement communautaire : c'était un environnement ouvert où tout utilisateur pouvait déposer des ressources pour les mutualiser avec d'autres utilisateurs, il pouvait réutiliser les ressources disponibles, les commenter et partager ses expériences de l'usage de ces ressources dans sa classe. Cependant, des projets ultérieurs ont fait évoluer la plateforme. Désormais, pour pouvoir y accéder il faut appartenir à la communauté d'utilisateurs de celle-ci.

Le dispositif de démarche qualité que nous avons élaboré et mis en place est présenté dans la section 2.2.1. Il est inspiré de l'approche « gestion qualité » décrite plus haut et il s'appuie sur l'évaluation de la qualité des ressources de GD par des utilisateurs ce qui a nécessité de définir des critères de qualité. Ces critères sont présentés dans la section 2.2.2.

2.2.1. Démarche qualité, le cas de la plateforme i2geo.net

Nos réflexions sur la question de qualité de ressources au sein du projet Intergeo partaient des principes suivants :

- Les utilisateurs de ressources doivent être au centre, ils doivent donc être impliqués dans l'évaluation de qualité de ressources ;
- Plutôt que d'évaluer la qualité de ressources au sens de produire un jugement qualifiant ces ressources de bonnes ou moins bonnes (approche « qualité produit »), cette évaluation doit permettre de repérer les aspects à améliorer et contribuer ainsi à une amélioration continue des ressources. En effet, une ressource peut être « bonne » selon certains aspects (par exemple proposer un scénario pédagogique précis) et « moins bonne » selon d'autres (par exemple ne pas donner suffisamment d'informations sur le contexte de son utilisation rendant difficile d'envisager des adaptations pour d'autres contextes).
- Compte tenu du fait que différentes personnes peuvent avoir des avis différents sur la qualité d'une même ressource, la qualité d'une ressource n'est pas établie par un évaluateur, mais elle émerge d'un ensemble d'évaluations de cette ressource par divers évaluateurs.

Ces trois principes nous ont conduits à mettre en place un dispositif de démarche qualité dont l'objectif a été double :

- objectif « communautaire » : permettre le contrôle et l'amélioration de la qualité des ressources déposées par les utilisateurs ;
- objectif « individuel » : soutenir la pratique réflexive et les processus d'appropriation des ressources chez les enseignants utilisateurs de ces ressources.

Le processus de démarche qualité repose sur les évaluations des ressources par des utilisateurs dans un esprit de communauté, où tout utilisateur, après s'être identifié, a la possibilité d'évaluer la qualité de toute ressource disponible sur la plateforme (Trgalová et al., 2011). Ces utilisateurs pouvant être des enseignants, mais aussi des chercheurs ou des formateurs, notre dispositif propose une évaluation croisée combinant des évaluations par des experts avec celles des utilisateurs (cf. section 3.1.1). Les différentes évaluations d'une même ressource sont agrégées selon un algorithme²⁴ pour donner lieu à une « note » sous forme d'un nombre d'étoiles (entre 1 et 4) (Figure 2). Notons qu'une ressource peut être évaluée *a priori*, c'est-à-dire avant son utilisation en classe, ou *a posteriori*. Cette dernière a une plus grande valeur du fait qu'elle peut prendre en compte son efficacité réelle telle que perçue par l'évaluateur, ce dont l'algorithme de notation tient compte dans l'attribution du nombre d'étoiles attestant de la qualité.



Figure 2. Exemple du résultat de l'évaluation d'une ressource sur la plateforme i2geo.net (Mercat et al., 2009, p. 48)

24 Cet algorithme qui est complexe, tenant compte à la fois du karma de l'évaluateur, de la profondeur de son évaluation et du fait si l'évaluation a été réalisée avant ou après la mise en œuvre de la ressource en classe, est décrit dans (Mercat et al., 2009).

L'évaluation de la qualité de ressources de GD repose sur un ensemble de critères que nous présentons dans la section suivante.

2.2.2. Critères de qualité de ressources de géométrie dynamique

Précisons tout d'abord que les critères dont il est question dans cette section sont définis pour un type particulier de ressources, à savoir des ressources proposant des activités mathématiques qui font appel à un logiciel de géométrie dynamique et qui sont plus ou moins scénarisés. Ces ressources, lorsqu'elles sont déposées sur la plateforme i2geo.net, doivent être décrites par des métadonnées indiquant entre autres le thème et les notions mathématiques en jeu, les compétences visées, le niveau scolaire, les prérequis ou encore la durée des activités proposées.

Afin de permettre l'amélioration de la qualité des ressources d'i2geo, la démarche qualité que nous avons mise en place s'appuie sur un questionnaire. En accord avec Rabardel (1995) qui souligne l'importance de penser les usages d'un outil dès sa conception, le questionnaire a été élaboré dans un processus cyclique consistant en la conception de versions successives testées par des enseignants, ce qui a permis ses améliorations progressives. De plus, l'équipe de chercheurs en charge de l'élaboration du questionnaire a travaillé en étroite collaboration avec un groupe de sept enseignants de mathématiques pour garantir l'accessibilité du questionnaire à ses principaux usagers, les enseignants.

Le questionnaire prend en considération neuf dimensions d'une ressource (Figure 3) qui servent à décrire et délimiter des aspects de cette ressource à évaluer pour pouvoir ensuite définir des critères de qualité, à savoir : (1) dimension métadonnées, (2) dimension technique, (3) contenu mathématique, (4) dimension instrumentale, (5) valeur ajoutée de la géométrie dynamique, (6) dimension didactique, (7) dimension pédagogique, (8) intégration dans une progression et (9) dimension ergonomique (Trgalová et al., 2011 ; Trgalová et Jahn, 2013).

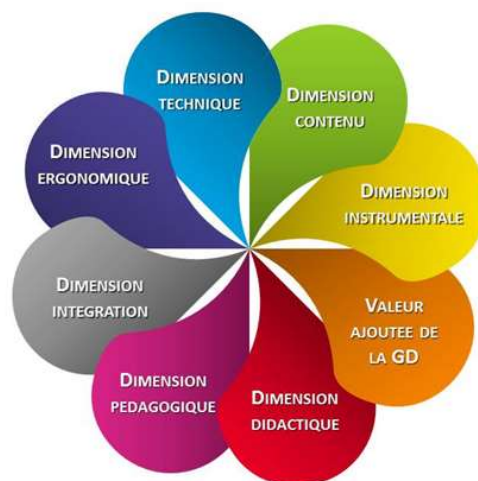


Figure 3. Dimensions d'une ressource de géométrie dynamique (hormis la dimension métadonnées liée à la plateforme i2geo.net)

La dimension métadonnées vise à vérifier l'exactitude de la description de la ressource au regard de son contenu. La dimension technique, fondamentale dans le cas d'une ressource numérique, vérifie son exploitabilité (accès, fonctionnement). Les quatre dimensions

suivantes – contenu, instrumentale, valeur ajoutée de la GD et didactique – doivent donner lieu à une analyse a priori approfondie des tâches proposées dans la ressource. La dimension pédagogique interroge la mise en œuvre envisagée de la ressource en classe et la dimension relative à l'intégration de la ressource dans une progression vise à assurer que la ressource peut contribuer aux apprentissages visés et qu'elle n'est pas destinée à une utilisation ponctuelle de la géométrie dynamique. Enfin, la dimension ergonomique interroge la manière dont les informations sont présentées dans la ressource.

Dans la suite, nous présentons les critères associés à ces différentes dimensions et les fondements théoriques qui nous ont conduites à proposer ces critères.

2.2.2.1. Dimension technique

Dans le cas d'une ressource numérique, la dimension technique est primordiale. En effet, elle évalue « la qualité de fonctionnement et d'exécution de la ressource pédagogique » (Mahé et Noël, 2006), ce que nous traduisons sous les deux critères « accessibilité » et « absence de bugs ». De plus, l'un des objectifs du projet Intergeo étant d'assurer l'interopérabilité entre les différents logiciels de géométrie dynamique développés par les partenaires du projet²⁵, la possibilité pour l'utilisateur d'utiliser le logiciel de son choix est un critère important pour évaluer la qualité technique de la ressource.

Nous proposons une vue synthétique des critères et des items associés retenus pour la dimension technique dans le Tableau 1 suivant :

| | |
|--|---|
| Item général : Les fichiers sont techniquement utilisables. | |
| Critère | Item |
| Accessibilité | Je peux accéder aux différents fichiers. |
| Interopérabilité | Je peux ouvrir les fichiers de géométrie dynamique avec le logiciel de mon choix. |
| Absence de bugs | Il n'y a pas de « bugs » informatiques dans les fichiers. |

Tableau 1. Critères de qualité relatifs à la dimension technique de la ressource

2.2.2.2. Contenu mathématique

Tous les travaux autour de l'évaluation de ressources éducatives convergent sur le fait que, pour garantir l'acceptabilité (Tricot et al., 2003) d'une ressource, l'activité qu'elle propose doit être mathématiquement correcte ; c'est le critère « validité du contenu » qui évalue cet aspect. L'adéquation du contenu proposé par la ressource aux programmes scolaires est un autre critère d'acceptabilité de la ressource (ibid.) ; elle est évaluée par le critère « conformité aux programmes ».

Enfin, le troisième critère retenu, « adéquation description / contenu », évalue l'adéquation du contenu (activités mathématiques proposées) avec les objectifs annoncés. Ce critère contribue

²⁵ Les développeurs de logiciels de géométrie dynamique suivants étaient partenaires du projet : ActiveMath, Cabri-géomètre II – Cabri 3D, Cinderella, GeoGebra, Geonext, Geoplan/Geospace, OpenMath, TracenPoche et WIRIS.

à l'évaluation de l'utilité de la ressource (ibid.). L'exemple que nous donnons ensuite d'une ressource où ce critère n'est pas vérifié (Figure 4) permet de souligner l'importance de ce critère. Dans la ressource en question, l'un des objectifs annoncés est de montrer la nécessité de démontrer des conjectures (Fig. 4a). Le scénario propose des activités en plusieurs phases : d'abord, les élèves travaillent sur papier pour construire un parallélogramme avec divers instruments (règle non graduée et équerre ; compas ; règle non graduée), puis ils sont invités à faire des conjectures à partir d'une figure constituée de deux parallélogrammes (Fig. 4b). Les élèves réalisent ensuite ces mêmes activités sur ordinateur avec un logiciel de géométrie dynamique (Fig. 4c). La dernière partie invite les élèves à démontrer les conjectures (Fig. 4d).

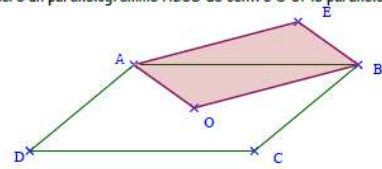
| | |
|--|--|
| <p>Objectifs pédagogiques : Inciter les élèves à faire des observations à partir d'une figure réalisée de manière classique puis à l'aide d'un logiciel de géométrie dynamique. Montrer la nécessité d'utiliser une démonstration pour valider des conjectures.</p> | <p>4*) Déplace le point A de telle sorte que $AD = DC$ (ABCD est alors un losange). Quelle est alors la valeur de l'angle \widehat{AOB} ? Quelle semble être la nature du quadrilatère AOB E ? Compare avec la conjecture émise dans la première partie.</p> |
| <p>a. Objectifs annoncés</p> <p>Étape suivante : Conjectures.</p> <p>On considère un parallélogramme ABCD de centre O et le parallélogramme AOB E.</p>  <p>1*) a) Quelle est la nature du quadrilatère AOB E si ABCD est un losange ? b) Reproduis la figure lorsque ABCD est un losange. Ta conjecture semble-t-elle se vérifier ?</p> | <p>c. Extrait de l'activité sur un logiciel de GD</p> <p>Troisième partie : Démonstration des propositions</p> <p>Utilise les propriétés que tu connais pour démontrer les propositions.</p> <p>d. Dernière partie de l'activité qui invite l'élève à démontrer les conjectures énoncées précédemment</p> |

Figure 4. Extraits d'une ressource autour de parallélogrammes particuliers (ressource prise dans (Baudoin, 2009)²⁶)

On peut se demander à quel moment les élèves sont sensés ressentir la nécessité de démontrer leurs conjectures, d'autant plus qu'ils les vérifient expérimentalement avec la géométrie dynamique. L'invitation explicite à démontrer les conjectures dans la dernière partie de la ressource semble indiquer que mêmes ses auteurs ne s'y attendent pas.

Dans le Tableau 2 nous résumons les critères et les items permettant d'évaluer la qualité technique d'une ressource de géométrie dynamique.

| | |
|--|---|
| <p>Item général : Le contenu mathématique est valide et utilisable en classe pour travailler les notions et compétences annoncées</p> | |
| <p>Critère</p> | <p>Item</p> |
| <p>Validité du contenu</p> | <p>Les mathématiques sont valides.</p> |
| <p>Conformité aux programmes</p> | <p>Le thème, les notions et les compétences indiqués sont conformes au programme pour le niveau annoncé.</p> |
| <p>Adéquation description / contenu</p> | <p>Les activités mathématiques proposées sont en adéquation avec le thème, les notions et les compétences annoncés.</p> |

Tableau 2. Critères de qualité relatifs à la dimension contenu de la ressource

2.2.2.3. Dimension instrumentale

Si la ressource comporte des figures dynamiques, la cohérence entre l'activité proposée et les figures doit être vérifiée (critère « adéquation des figures »). Plus précisément, les figures doivent se comporter de la façon attendue, c'est-à-dire être cohérentes avec les théories mathématiques et les intentions didactiques. Une attention particulière doit être portée à la gestion des cas limites et les mesures des grandeurs numériques (ex. les mesures d'angle et de longueur) afin de ne pas entraver les apprentissages visés (critères « comportement des figures dans des cas limites » et « gestion des valeurs numériques »). Ces trois items s'appuient sur les recherches qui mettent en évidence l'interrelation entre la conceptualisation de notions mathématiques et les interactions avec un environnement informatique (par exemple Artigue, 2002). Plus précisément, la manière dont un élève interagit avec l'environnement, dont il utilise ses affordances et dont il fait face à ses contraintes va façonner sa conceptualisation des objets qu'il manipule. D'autre part, il ne construit pas les compétences technologiques (comment utiliser l'environnement) indépendamment des connaissances mathématiques (comment résoudre un problème mathématique donné). Les deux aspects de son activité façonnent l'un l'autre. Il peut arriver que l'interaction avec une figure dynamique produise des phénomènes en contradiction avec l'objectif d'apprentissage visé, comme dans l'exemple présenté dans la Figure 5. Dans cet exemple, ABCD est un parallélogramme et O est le point d'intersection de ses diagonales. AODE est un autre parallélogramme. Les segments [AO] et [OD] sont à la fois les demi-diagonales de ABCD et les côtés de AODE. Ainsi, les propriétés des côtés de AODE peuvent être déduites des propriétés des diagonales de ABCD. En déplaçant les sommets de ABCD, l'élève peut facilement trouver le cas montré dans la Figure 5 (à droite) où le parallélogramme ABCD apparaît avec deux côtés adjacents de même longueur (7 cm) ; c'est donc un losange. Or, ses diagonales ne sont pas perpendiculaires (95°), ce qui contredit la théorie mathématique. Cette contradiction est due au fait que les mesures des longueurs des angles sont affichées arrondies à l'unité. Le critère « gestion des valeurs numériques » a pour objectif d'aider l'auteur ou l'utilisateur de la ressource à prendre conscience de ce problème potentiel.

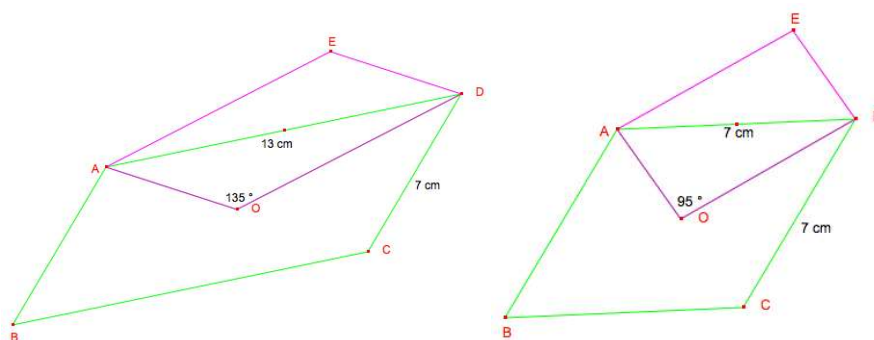


Figure 5. Deux parallélogrammes dynamiques, ABCD et AODE, O étant l'intersection des diagonales de ABCD

Enfin, pour faciliter l'appropriation de la ressource par un utilisateur, il est nécessaire de décrire le fonctionnement d'outils ou de fonctions avancés (ex. macro-constructions). Les

critères correspondants à la dimension instrumentale de la ressource sont rappelés et listés dans le Tableau 3 suivant :

| Item général : L'interaction avec les figures de géométrie dynamique est valide et cohérente avec l'activité mathématique prévue | |
|---|---|
| Critère | Item |
| Adéquation des figures | Les figures de géométrie dynamique se comportent de manière cohérente par rapport à l'activité mathématique prévue. |
| Comportement des figures dans des cas limites | Poussées dans leurs limites, les figures résistent bien. |
| Gestion des valeurs numériques | Les valeurs numériques (mesures de longueur, angle) ne remettent pas en cause le déroulement de l'activité. |
| Fonctions avancées | Les fonctionnalités avancées, comme l'usage de clavier ou de macro-constructions, sont bien décrits. |

Tableau 3. Critères de qualité relatifs à la dimension instrumentale de la ressource

2.2.2.4. Valeur ajoutée de la géométrie dynamique

La GD peut être utilisée de diverses manières dans l'enseignement des mathématiques, dans des tâches qui peuvent varier entre de simples traductions de tâches usuelles papier-crayon aux tâches qui n'existent que dans l'environnement de géométrie dynamique. Cette dimension a pour objectif de questionner l'apport de la géométrie dynamique dans les tâches proposées, ainsi que le rôle joué par le déplacement.

Laborde (2002) distingue quatre types de rôle que peut jouer la géométrie dynamique dans une tâche :

- la géométrie dynamique peut être utilisée pour simplifier des aspects matériels de la tâche sans la changer conceptuellement. Il s'agit ici de tâches travaillées usuellement en papier-crayon proposés dans l'environnement de la GD. L'avantage escompté est la plus grande précision des tracés ;
- la géométrie dynamique est utilisée comme un amplificateur visuel dans des tâches où il s'agit d'identifier des propriétés géométriques, cette identification étant facilitée par l'observation des invariants lors du déplacement des objets de base constituant la figure ;
- la géométrie dynamique modifie des stratégies de résolution des tâches, notamment des tâches de construction qui nécessitent le recours aux propriétés géométriques ;
- la géométrie dynamique est incontournable pour résoudre la tâche donnée, par exemple celle de reproduction d'une figure dynamique au comportement identique que celui de la figure modèle (ex. boîte noire).

Les critères « précision des constructions », « production de différents cas de figure », « recours aux propriétés géométriques » et « tâche n'existant qu'en GD » se proposent d'identifier ces différents rôles de la GD dans les tâches proposées dans les ressources évaluées.

En observant des élèves résoudre des tâches dans l'environnement de géométrie dynamique, Healy (2000) a mis en évidence deux paradigmes différents qu'elle a appelés approche robuste et approche molle. La première conduit à la construction d'une figure qui a toutes les propriétés géométriques la définissant (figure robuste). La seconde, en revanche, repose sur la construction d'une figure dont certaines propriétés ne sont pas robustes. L'élève peut, en déplaçant les objets de base, modifier la figure de manière à ce que ces propriétés soient vérifiées manuellement (et visuellement), ce qui permet d'observer d'autres propriétés qui sont des conséquences de ces ajouts. Le déplacement joue des rôles différents dans ces paradigmes : tandis que dans l'approche robuste, le déplacement permet de valider la construction (elle résiste au déplacement) ou de mettre en évidence des propriétés géométriques (ce qui reste invariant lors du déplacement), dans l'approche molle, le déplacement fait partie de la construction et permet d'explorer la figure et de formuler des conjectures sur les dépendances entre les propriétés. Les critères « validation » et « déplacement pour mettre en évidence des invariants » renvoient à la mobilisation du paradigme robuste dans la tâche, les critères « exploration et conjecture » et « déplacement pour conjecturer ou valider » à celle du paradigme mou.

Les représentations d'objets mathématiques sont « absolument nécessaires » (Duval, 1993, p. 38) pour pouvoir les appréhender. Les chercheurs s'accordent sur l'intérêt de pouvoir disposer de multiples représentations d'un même objet notamment pour éviter de confondre l'objet et sa représentation (par exemple Duval, 1993 ; Ainsworth et al., 2002). Selon Duval (ibid.), « la coordination de plusieurs registres de représentation sémiotique apparaît fondamentale pour une appréhension conceptuelle des objets » (p. 40). L'une des potentialités offertes par des technologies numériques réside dans la possibilité d'utiliser diverses représentations reliées de manière dynamique. C'est le cas de la plupart des environnements de la géométrie dynamique qui proposent, en plus de la représentation géométrique/graphique des objets mathématiques, leur représentation algébrique (coordonnées de points, équations de droites...). Les changements opérés sur l'une des représentations se répercutent sur l'autre. Le critère « multi-représentations » interroge l'exploitation de cette potentialité dans la ressource (ou son absence). Enfin, le critère « utilité » questionne de manière générale l'apport de la géométrie dynamique pour atteindre les objectifs d'apprentissage visés.

Le Tableau 4 ci-dessous présente les critères permettant d'évaluer la valeur ajoutée de la GD dans la ressource :

| Item général : Les activités mathématiques proposées bénéficient des apports de la géométrie interactive, elles ne peuvent pas être transposées telles qu'elles en activités papier-crayon | |
|---|---|
| Critère | Item |
| Précision des constructions | Dans cette activité, les dessins sont clairs et précis. |
| Production de différents cas de figure | L'enjeu de cette activité est de produire différents cas de la même figure. |
| Exploration et conjecture | Cette activité amène l'élève à explorer, expérimenter et conjecturer. |
| Validation | Dans cette activité, l'élève peut valider visuellement des conjectures. |
| Multi-représentations | Dans cette activité, différentes représentations (graphiques, numériques, algébriques) sont en interaction. |

| | |
|--|---|
| Recours aux propriétés géométriques | Cette activité amène l'élève à considérer des propriétés géométriques plutôt que des coïncidences numériques ou graphiques. |
| Tâche n'existant qu'en GD | L'activité ne peut pas être transposée telle qu'elle en une activité papier-crayon. |
| Utilité | La géométrie interactive aide à atteindre les buts pédagogiques. |
| Déplacement pour mettre en évidence des invariants | Le déplacement est utilisé pour illustrer une propriété ou une relation entre objets grâce à son invariance. |
| Déplacement pour conjecturer ou valider | Le déplacement est utilisé pour conjecturer ou valider une propriété ou une relation entre objets. |

Tableau 4. Critères relatifs à la dimension valeur ajoutée de la géométrie dynamique

2.2.2.5. Dimension didactique

Cette dimension conduit l'évaluateur de la ressource à faire une analyse didactique des tâches et du scénario proposés. Les principaux appuis théoriques sous-jacents sont les concepts de la théorie des situations didactiques (Brousseau, 1998). Deux types de critères sont proposés interrogeant ces éléments (tâche et scénario) du point de vue de l'élève et de celui de l'enseignant.

Du point de vue de l'élève, il s'agit de questionner :

- la marge laissée à l'élève pour la prise d'initiative (critère « prise d'initiative de l'élève »). En effet, de nombreuses ressources, par exemple des exercices proposés dans des manuels scolaires, se réduisent à des activités « presse-bouton » où l'élève n'a qu'à exécuter les consignes détaillées conduisant à la solution de l'exercice (voir un exemple dans la Figure 6) ;
- l'engagement facile de l'élève dans la tâche proposée (critère « dévolution ») ;
- les rétroactions du milieu qui doivent soutenir l'activité de l'élève (critère « rétroactions soutenant l'activité de l'élève »).

61 Résoudre un problème (Transmath 5^e, Nathan, édition 2014, p. 248)
M. Seguin a un champ carré de 20 m de côté. Il attache sa chèvre Honorine avec une corde à l'un des sommets de son champ.
M. Seguin souhaite connaître la longueur maximale de la corde pour que Honorine ne puisse pas brouter plus de la moitié du champ.

1. Réaliser une figure

- Tracer un segment [DC] de longueur 20
(Segment de longueur donnée).
- Tracer un carré ABCD (utiliser Polygone régulier).
- Créer un curseur r allant de 0 à 20 avec pour incrément 0,01 (utiliser curseur).
- Tracer le cercle de centre D et e rayon r
(Cercle (centre-rayon)).
- Nommer E et F ses points d'intersection avec les côtés du carré.
- Créer le quart de disque à l'intérieur du carré (Secteur circulaire (centre=2 points)).

2. Estimer la longueur

- Afficher l'aire du quart de disque.
- Déplacer le curseur et déterminer la longueur maximale, en m, de la corde pour que Honorine ne puisse pas brouter plus de la moitié du champ. Donner la valeur approchée par défaut au centième près.

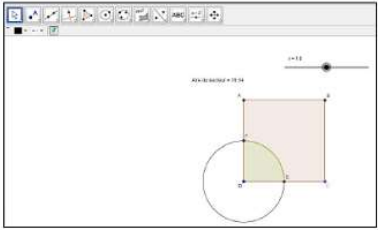


Figure 6. Activité extraite du manuel Transmath 5^e (Nathan, édition 2014, p. 248)

Du point de vue de l'enseignant, nous proposons de questionner la présence d'éléments destinés à soutenir une utilisation efficace et efficiente de la ressource en classe. Parmi ces éléments, on peut proposer :

- des conseils pour faciliter l'entrée des élèves dans l'activité (critère « conseils pour aider la dévolution ») ;
- des informations qui aident l'enseignant à gérer les apprentissages des élèves, en particulier les stratégies prévisibles (critère « stratégies anticipées »), des extraits de productions d'élèves (critère « productions d'élèves »), des suggestions pour faire évoluer des stratégies d'élèves (critère « conseils pour faire évoluer les stratégies ») ou des conseils sur l'aide à leur apporter (critère « conseils concernant l'aide ») ;
- une description de rétroactions de l'environnement informatique (critère « description des rétroactions du logiciel ») ;
- des conseils sur la gestion des phases de validation et d'institutionnalisation (critères « validation » et « institutionnalisation ») ;
- une analyse de la situation d'apprentissage proposée en termes de variables didactiques qui peut aider l'enseignant à envisager des adaptations éventuelles de la ressource (critère « variables didactiques »).

Le Tableau 5 présente les critères pour évaluer la dimension didactique de la ressource :

| Item général : La description de cette activité en permet une utilisation efficace pour l'apprentissage des notions et compétences annoncées. | |
|--|---|
| Critère | Item |
| Dévolution | L'activité est conçue de telle manière à ce que les élèves s'y engagent facilement. |
| Conseils pour aider la dévolution | Des conseils sont donnés à l'enseignant pour lancer l'activité. |
| Prise d'initiative de l'élève | L'activité est conçue de telle manière à ce qu'elle laisse des initiatives à l'élève pour élaborer une stratégie de résolution. |
| Stratégies anticipées | Les stratégies prévisibles des élèves, correctes ou erronées, sont décrites. |
| Productions d'élèves | Des traces de productions d'élèves sont disponibles. |
| Conseils concernant l'aide | Des suggestions pour sortir les élèves de stratégies sans issue sont proposées. |
| Conseils pour faire évoluer les stratégies | Des actions pour faire évoluer les stratégies des élèves sont proposées. |
| Rétroactions soutenant l'activité de l'élève | L'activité est conçue de telle manière à ce que les rétroactions soutiennent le processus de résolution de l'élève. |
| Description des rétroactions du logiciel | Les rétroactions du logiciel essentielles pour l'activité sont décrites. |
| Institutionnalisation | Des conseils sur les interventions aux moments de synthèse sont donnés. |
| Validation | Des suggestions sur comment, quand et qui valide les productions des élèves sont données. |
| Variables didactiques | Les caractéristiques principales de l'activité et les effets de leurs modifications sur les stratégies et les apprentissages des élèves sont décrits. |

Tableau 5. Critères de qualité relatifs à la dimension didactique

2.2.2.6. Dimension pédagogique

Cette dimension a pour objectif de questionner la présence d'un scénario pour faciliter la mise en œuvre des tâches proposées aux élèves. En appui sur le concept d'orchestration instrumentale (Trouche, 2005), le critère « configuration didactique » interroge la description des artefacts nécessaires et leur configuration et le critère « mode d'exploitation » aborde la manière dont ces artefacts sont utilisés au cours de l'activité. La complexité de la gestion de moments collectifs, notamment de moments de synthèse ou d'institutionnalisation, dans une salle informatique, dont la quasi-disparition dans les pratiques des enseignants a été observée (voir par exemple Abboud-Blanchard, 2013), nous a conduites à ajouter le critère « gestion des temps collectifs » pour interroger la présence dans la ressource d'éléments visant à faciliter ces aspects. Le Tableau 6 présente les critères relatifs à la dimension pédagogique de la ressource.

| Item général : La description de l'activité propose une mise en œuvre. | |
|---|---|
| Critère | Item |
| Configuration didactique | Une configuration matérielle possible (un ordinateur par élève ou classe entière avec vidéo projecteur etc...) est décrite. |
| Mode d'exploitation | Un déroulement temporel est proposé (travail individuel, collectif...). |
| Gestion des temps collectifs | Une gestion des mises en commun et de la conclusion de l'activité est proposée. |

Tableau 6. Critères de qualité relatifs à la dimension pédagogique

2.2.2.7. Intégration dans une progression

Une enquête sur les usages de la géométrie dynamique par des enseignants dans 24 pays européens (Hendriks et al., 2008) a montré que, malgré la disponibilité de cette technologie dans la plupart des pays, ses usages n'étaient pas répandus, la majorité des usages étant épisodiques se limitant à de simples projections de figures dynamiques par des enseignants.

Cette dimension cherche donc à s'assurer que les tâches proposées dans la ressource peuvent facilement s'inscrire dans une progression. Dans la mesure où la mise en place de la plateforme i2geo.net avait pour objectif de soutenir l'intégration de la géométrie dynamique dans les pratiques des enseignants, cette dimension prend une importance dans la perspective de mettre en valeur des ressources qui proposent des tâches permettant de faire avancer les apprentissages visés, contrairement aux tâches « décrochées » où la géométrie dynamique peut être utilisée de manière épisodique, ponctuelle. L'inscription dans une progression suppose de pouvoir s'appuyer sur des prérequis disponibles (critère « prérequis ») et réinvestir ensuite les apprentissages réalisés dans d'autres activités (critère « réinvestissement des apprentissages »). L'activité proposée peut également servir d'introduction de notions mathématiques visées par la progression (critère « activité d'introduction »). Le dernier critère, « avancement dans la progression », vise à vérifier que la tâche proposée fait avancer les apprentissages visés et ne conduit pas seulement à des apprentissages déconnectés de toute progression, ce qui est généralement le cas si l'outil numérique est utilisé occasionnellement. Le Tableau 7 présente les critères relatifs à la dimension intégration dans une progression.

| Item général : L'activité s'inscrit facilement dans une progression pédagogique | |
|--|--|
| Critère | Item |
| Prérequis | Les notions et compétences pré-requises sont cohérentes avec l'activité. |
| Réinvestissement des acquis | Les apprentissages réalisés peuvent être réinvestis dans les apprentissages ultérieurs. |
| Activité d'introduction | La réflexion lors de l'activité introduit à la notion suivante dans la progression. |
| Avancement dans la progression | Cette activité contribue à l'avancement des apprentissages prévus dans la progression pédagogique. |

Tableau 7. Critères de qualité relatifs à la dimension intégration dans une progression

2.2.2.8. Dimension ergonomique

En essayant de comprendre pourquoi les enseignants apprécient certaines ressources et sont réticents à en utiliser d'autres, Georget (2009) a mis en lumière le paradoxe de l'incomplétude d'une ressource :

si les ressources sont « trop incomplètes », les enseignants auront vraisemblablement du mal à en tirer profit et si, à l'inverse, les ressources sont « trop complètes », les enseignants risquent de ne pas les utiliser du fait de la quantité d'information à traiter (pp. 843-844).

Ce paradoxe nous a conduits à considérer la quantité d'informations comme un des critères permettant d'évaluer la qualité ergonomique d'une ressource (critère « quantité d'informations »). En plus de la quantité d'informations, la manière dont ces informations sont présentées nous semble importante à questionner (critère « présentation de l'information »). Enfin, nous suivons Georget (2009) qui considère la possibilité donnée à l'enseignant de personnaliser une ressource, de l'adapter à sa propre pratique, à son contexte et à ses contraintes comme un critère particulièrement important pour évaluer l'utilisabilité d'une ressource ; nous ajoutons donc le critère « adaptabilité ».

Le Tableau 8 présente les critères pour évaluer la qualité ergonomique d'une ressource.

| Item général : La ressource est facile à prendre en main et adaptable | |
|--|---|
| Critère | Item |
| Quantité d'informations | La quantité d'information est satisfaisante. |
| Présentation de l'information | La présentation de l'information est claire. |
| Adaptabilité | On peut modifier les éléments de la ressource pour l'adapter à ses besoins. |

Tableau 8. Critères de qualité relatifs à la dimension ergonomique

Dans la section suivante, nous rapportons des expérimentations que nous avons menées auprès des enseignants avec des objectifs de recherche variés, ainsi que des analyses des pratiques d'évaluation de ressources que nous avons observées sur la plateforme.

2.2.3. Evaluation de la qualité de ressources de géométrie dynamique par des enseignants

Les critères de qualité de ressources de géométrie dynamique présentés dans la section précédente ont donné lieu à un formulaire numérique implémenté sur la plateforme i2geo.net. Compte tenu du fait que ces critères ne sont pas homogènes du point de vue de l'expertise requise d'un évaluateur pour les comprendre et pouvoir fournir une réponse solide, ainsi qu'en raison de la longueur du formulaire, nous avons choisi de concevoir un outil d'évaluation flexible permettant des utilisations différentes, au choix de l'évaluateur. Il n'est ainsi pas obligatoire d'évaluer toutes les dimensions d'une ressource, l'évaluateur peut se concentrer sur celles qui correspondent à sa propre expertise et à la représentation qu'il a d'une ressource de qualité. Chaque dimension peut ainsi être évaluée à deux niveaux : l'évaluateur peut soit donner une note globale (entre 1 et 4) à la dimension en l'évaluant au regard de l'item général, ou bien effectuer une évaluation détaillée en notant séparément chacun des critères ; dans ce cas la note globale attribuée à la dimension est calculée comme la moyenne des notes des différents critères. Le formulaire présente donc au début de l'évaluation les neuf items généraux. L'utilisation des critères détaillés est au choix de l'évaluateur. En effet, à tout moment, ce dernier a la possibilité d'approfondir son analyse en répondant aux critères associés à la dimension évaluée. En laissant les utilisateurs de la plateforme choisir librement la manière dont ils contribuent à l'évaluation des ressources, nous avons souhaité encourager tous les utilisateurs, quelle que soit leur expertise, à participer au processus d'évaluation de la qualité des ressources et, ce faisant, aider à améliorer les ressources au profit de toute la communauté d'utilisateurs de la géométrie dynamique.

2.2.3.1. Expérimentations contrôlées

Comme nous l'avons évoqué, le formulaire a été conçu dans un processus itératif suivant une méthodologie du type *design-based research* (DBRC, 2003). Chaque cycle de conception comportait une phase d'expérimentation auprès des enseignants. Dans ce qui suit, nous donnons un aperçu de deux de ces expérimentations pour montrer comment leurs résultats ont permis de faire évoluer le formulaire.

Etude de la pertinence des dimensions et critères de qualité

Une des premières expérimentations (pour plus de détails, voir Jahn, Trgalová & Soury-Lavergne, 2008) avait pour objectif d'analyser la pertinence des dimensions et des critères de qualité que nous avons définis et de confronter notre vision de la qualité d'une ressource avec celles des enseignants. Elle a été menée en 2008 auprès de 22 enseignants de mathématiques brésiliens dans le cadre d'une formation continue. Les enseignants avaient en moyenne 6 ans d'expérience professionnelle, cependant la majorité étaient novices quant à l'utilisation de la géométrie dynamique.

A des fins de recherche, une ressource a été conçue pour contrôler certains aspects, en particulier les dimensions pédagogique et valeur ajoutée de la géométrie dynamique. La ressource concernait les quadrilatères et était composée d'une fiche élève proposant deux activités avec la géométrie dynamique, d'un document pour l'enseignant donnant un bref

descriptif de la séquence et de son déroulement et d'un fichier GD avec une macro-construction. La première activité demandait de reproduire la figure géométrique donnée dans le fichier (un cerf-volant) de façon à ce que les deux figures se comportent de la même manière lors de leur manipulation avec l'outil déplacement. Pour cela, l'élève devait explorer le modèle, identifier les relations entre les objets constituant la figure, la reproduire et valider la construction en utilisant la macro-construction. Dans la seconde activité, l'élève a été invité à explorer la figure et formuler des conjectures sur la possibilité d'obtenir d'autres quadrilatères particuliers (carré, losange, rectangle) à partir du cerf-volant.

Concernant le rôle de la géométrie dynamique, la première activité est construite sur l'idée de "boîte noire" : il s'agit de donner aux élèves une figure modèle dans le logiciel et de leur demander de reconstruire la même figure. Ce type d'activité exploite les spécificités de la géométrie dynamique, en particulier le déplacement des objets par manipulation directe ; elle laisse beaucoup de liberté aux élèves pour explorer et identifier les propriétés géométriques de la figure nécessaires à sa reconstruction. La seconde activité exploite le paradigme de construction molle où le cerf-volant est déformé par déplacement de ses sommets pour essayer d'obtenir d'autres quadrilatères particuliers. Dans les deux activités, le déplacement joue un rôle essentiel.

Pour faire émerger les représentations des enseignants des ressources de qualité, nous avons choisi de ne pas leur proposer directement le formulaire conçu par les chercheurs, mais de leur proposer un questionnaire qui s'en inspire (Figure 7). Le questionnaire a pour but de guider les enseignants dans l'analyse de la ressource. L'analyse de la fiche élève aborde le contenu mathématique et l'aspect instrumental. L'analyse de la valeur ajoutée de la géométrie dynamique repose sur l'identification du rôle de cette dernière dans les activités et le questionnement explicite concernant l'utilisation du déplacement pour atteindre les objectifs d'apprentissage annoncés. Enfin, l'analyse de la fiche de l'enseignant porte sur les éléments que les enseignants jugent utiles pour une mise en œuvre de la ressource en classe (dimension pédagogique).

Binôme : Date :

➤ Par rapport à la **fiche élève**

1. Les énoncés des activités sont-ils :
 - a) clairement formulées ?
 - b) corrects du point de vue mathématique ?
2. Les problèmes mathématiques que les élèves ont à traiter sont-ils facilement identifiables ?
3. Les fichiers DGS qui accompagnent les fiches élèves sont-ils :
 - a) aisément accessibles ?
 - b) en adéquation avec les activités proposées ?
 - c) la figure se comporte-t-elle de manière attendue ?
4. Utiliseriez-vous ce type de ressource en classe avec vos élèves ? Sans ou avec adaptation et/ou reformulation ? Lesquelles ?

➤ Par rapport à l'intégration de la **géométrie dynamique**

1. Comment évaluez-vous le rôle de la géométrie dynamique ? A votre avis est-il envisageable de proposer cette séquence sans logiciel ?
2. Si non, quels principaux aspects justifient l'usage du logiciel ?
3. L'usage du déplacement peut-il contribuer à atteindre les objectifs annoncés ? Pourquoi ?

➤ Par rapport à la **fiche du professeur**

1. Quels éléments de la fiche du professeur vous semblent-ils essentiels et les plus pertinents pour un usage pédagogique ?
2. A votre avis, le matériel est-il suffisant pour une appropriation aisée de la séquence proposée ? Identifiez-vous des éléments manquants ? Lesquels ?
3. Souhaiteriez-vous avoir d'autres types de matériels ou de « documents » ? Lesquels ?
4. En supposant que d'autres collègues ont déjà expérimenté en classe ces activités, quels éléments ou informations considérez-vous importants d'être mis à disposition pour partager/échanger cette expérience avec vous ?

Figure 7. Questionnaire d'évaluation de la ressource (Jahn et al., 2008)

L'expérimentation a été mise en place pendant une séance de 2 heures et demie et a été organisée en trois phases : (1) résolution des deux activités proposées dans la fiche élève ; (2) analyse a priori de ces activités et (3) analyse de la ressource guidée par le questionnaire.

L'analyse de la ressource portait sur la fiche élève, la fiche professeur et le fichier GD. Concernant la fiche élève, tous les enseignants ont trouvé les tâches mathématiquement correctes et clairement formulées (dimension contenu mathématique). Une attention particulière a été portée au vocabulaire dans le souci de rendre les énoncés accessibles aux élèves. Notons que cet aspect a ensuite été ajouté dans le critère « dévolution » de la dimension didactique. Quant au fichier informatique, les enseignants ont exprimé le besoin de bien comprendre comment la macro-construction a été construite et comment elle fonctionne (ces éléments n'ont pas été fournis dans la ressource). Ces éléments détaillant les fonctionnalités avancées de la géométrie dynamique pouvant être utilisées et leurs difficultés potentielles sont en effet importants pour faciliter l'utilisation de la ressource. Ceci nous a conduit à ajouter le critère « fonctions avancées » dans la dimension instrumentale la nécessiterait donc une précision de la question qui s'y rapporte (facilité d'usage de la ressource).

Dans la fiche du professeur, les enseignants ont particulièrement apprécié la description brève de la séquence qui constitue pour eux une sorte de « carte de visite » de la ressource, ainsi que la description synthétique de l'organisation de la séquence. Pour une meilleure appropriation de la ressource, ils ont exprimé le souhait de trouver plus d'informations sur le rôle de l'enseignant : Quelles interventions et à quel moment ? Quel accompagnement du travail des élèves ? La plupart des enseignants considèrent qu'un document contenant les solutions et les

réponses attendues, ainsi que les difficultés prévisibles des élèves avec des propositions des orientations didactiques (ex. fiche élève « commentée » à l'attention du professeur) contribueraient à une meilleure appropriation de la ressource. A l'issue de la mise en œuvre de la séquence en classe, ils trouvent essentiel de partager les informations sur les difficultés rencontrées par les élèves avec des suggestions sur les moyens de les dépasser, mais également sur les interventions de l'enseignant, notamment lors des phases d'institutionnalisation. Cela confirme la pertinence du groupe de critères liés à la dimension didactique établi par les chercheurs.

Enfin, pour tous les enseignants, l'apport de la géométrie dynamique paraît incontestable du fait de la possibilité de manipuler la figure et d'identifier ainsi ses propriétés, d'utiliser le déplacement et d'autres outils tels que des mesures pour vérifier les propriétés des figures, de traiter plusieurs cas de la même figure, de réaliser plus aisément et avec plus de précision les constructions. Le déplacement est considéré comme un moyen favorisant l'exploration, la recherche et la formulation de conjectures, ainsi qu'un moyen de validation.

Cette expérimentation a montré que pour les enseignants participants, la qualité d'une ressource réside dans la disponibilité de certains éléments comme une brève description de la ressource (métadonnées), considérée comme sa « carte de visite », une description synthétique de l'organisation de la séquence et des informations sur l'orchestration de la séquence par l'enseignant (dimensions didactique et pédagogique). Concernant le rôle de la géométrie dynamique et sa valeur ajoutée dans la tâche de l'élève, les enseignants l'ont analysée en réponse aux questions explicites. Ils ont avoué qu'ils n'auraient pas prêté attention à cette dimension sans ces questions, bien qu'elle soit essentielle dans une ressource de géométrie dynamique. Le questionnaire semble avoir aidé les enseignants à analyser la ressource et à interroger l'apport de la géométrie dynamique dans les tâches des élèves.

En conclusion, les dimensions retenues pour définir la qualité d'une ressource se sont avérées pertinentes pour les enseignants. Ils ont trouvé ces dimensions importantes et utiles pour analyser la ressource dans la perspective de son utilisation éventuelle en classe. De nombreux éléments que les enseignants ont fait ressortir comme importants dans une ressource ont été déjà pris en compte dans le formulaire. Nous avons pu l'enrichir par certains critères auxquels nous n'avions pas pensé (par exemple, l'explicitation du fonctionnement des fonctionnalités avancées dans la dimension instrumentale). Le questionnaire est apparu à la fois comme un outil pour mettre en évidence les aspects à améliorer (par exemple, ajouter des informations manquantes sur le rôle de l'enseignant) et comme un moyen possible de former les enseignants à l'analyse critique de ressources disponibles pour mieux comprendre leurs objectifs et leurs contenus.

Etude des processus de sélection de ressources en appui sur le formulaire

Une autre expérimentation a eu pour objectif d'étudier dans quelle mesure l'analyse de ressources réalisée à l'aide du formulaire de qualité pourrait aider les processus de sélection de ressources par des enseignants. Ce travail de recherche a été mené dans le cadre d'un mémoire de Master 2 (Baudoin, 2009).

Trois ressources ont été choisies, portant sur un même thème (parallélogrammes particuliers), comportant chacune un fichier GD et des documents à destination des élèves, de l'enseignant

ou des deux et proposant toutes les trois des situations d'apprentissage à réaliser en salle informatique. Nous résumons dans le Tableau 9. les principales défaillances de chacune des ressources identifiées a priori par Baudoin (2009) :

| Ressource | Principaux aspects défaillants |
|-------------|---|
| Ressource 1 | <p><u>Dimension contenu mathématique</u> : les consignes des tâches mathématiques prévoient d'exclure les cas d'inclusion des classes de parallélogrammes particuliers (par exemple, lorsqu'il s'agit d'étudier le rectangle, il est demandé de considérer le cas où $AB \neq BC$, ce qui risque d'induire la conception qu'un carré n'est pas un rectangle).</p> <p><u>Dimension instrumentale</u> : la figure dans le fichier de GD, présentée comme un parallélogramme, est en fait un quadrilatère quelconque qui apparaît comme un parallélogramme à l'ouverture du fichier (parallélogramme mou), ce qui entraîne une inadéquation entre l'objectif annoncé (découvrir les parallélogrammes particuliers) et l'activité instrumentée.</p> <p><u>Dimensions didactique et pédagogique</u> : absence d'éléments concernant la mise en œuvre de la ressource en classe.</p> |
| Ressource 2 | <p><u>Dimensions didactique et pédagogique</u> : absence d'éléments concernant la mise en œuvre de la ressource en classe. Cependant, le découpage de la séance est relativement facilement identifiable à partir de la fiche élève. Il est également à noter que le titre de l'activité figurant dans la fiche élève dévoile le parallélogramme particulier à identifier (les activités sont intitulées « Du parallélogramme au carré », « Du parallélogramme au rectangle » et « Du parallélogramme au losange »).</p> |
| Ressource 3 | <p><u>Dimension instrumentale</u> : les valeurs numériques (mesures de longueurs de segments et d'angles) dans le fichier de GD sont arrondies à l'entier le plus proche. Ce choix conduit à l'obtention de figures géométriques erronées (comme celle de la Figure 5) qui rendent difficile, voire impossible de conjecturer les propriétés des parallélogrammes particuliers.</p> <p><u>Dimension didactique</u> : l'activité instrumentée étant trop guidée, le travail mathématique de l'élève est considérablement réduit.</p> |

Tableau 9. Principaux défauts des trois ressources

Six enseignants ont participé à l'expérimentation. Leur expérience professionnelle variait entre 4 et 20 ans et ils avaient un niveau hétérogène quant à la maîtrise de logiciels de mathématiques et à l'intégration de la géométrie dynamique dans leurs pratiques. A la question concernant leurs connaissances en didactique des mathématiques, un enseignant les estimait plutôt bonnes, trois plutôt mauvaises et deux mauvaises.

Avant l'expérimentation, les enseignants ont été invités à prendre connaissance des trois ressources individuellement. L'expérimentation s'est ensuite déroulée en deux phases. Premièrement, les enseignants, en binômes, devaient utiliser le formulaire pour effectuer l'analyse de chacune des trois ressources. Ensuite, chaque enseignant devait décider individuellement laquelle ou lesquelles des trois ressources il serait prêt à utiliser dans sa classe, expliquer son choix et éventuellement suggérer des modifications des ressources. L'expérimentation a duré environ trois heures. Le choix de demander aux enseignants de remplir le formulaire à deux a été motivé par le souhait de confronter leurs points de vue sur les ressources et de susciter des échanges entre eux. Le chercheur a été présent lors de cette phase pour questionner les enseignants sur leurs réponses lorsque ceci s'avérait pertinent ou pour lever d'éventuelles ambiguïtés d'interprétation des items du formulaire.

Dans le Tableau 10 nous montrons les avis sur le choix des ressources exprimés par des binômes d'enseignants :

| | Ressource 1 | Ressource 2 | Ressource 3 |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Binôme 1 | Pas du tout | Oui plutôt | Pas du tout |
| Binôme 2 | Non, plutôt pas | Oui plutôt | Non, pas du tout |
| Binôme 3 | Non, plutôt pas | Oui tout à fait | Oui plutôt |

Tableau 10. Choix de ressources par les trois binômes d'enseignants

Il apparaît que la ressource 1 serait rejetée par tous les enseignants, la ressource 2 est celle qui serait unanimement choisie et la ressource 3 serait choisie par un binôme et rejetée par les deux autres. Dans le cas de la ressource 1, c'est la dimension instrumentale qui semble être la cause principale de son rejet. Ceci apparaît clairement chez le binôme 1 qui considère que « la première des choses, c'est la figure » et cette dernière n'étant pas en cohérence avec les activités mathématiques proposées, les enseignants rejettent la ressource. Le binôme 3 le signifie encore plus fortement en disant « [l]e fait que la figure n'est jamais un parallélogramme est déroutant pour nous ; alors pour les élèves cela ne semble adapté ni aux questions, ni à l'objectif ». Ce commentaire qui apparaît comme un préliminaire à l'analyse de la ressource semble impacter toutes les dimensions vers une évaluation négative et le rejet de la ressource. Notons que ces binômes sont composés d'enseignants qui déclarent des usages du numérique en classe peu fréquents voire inexistantes. Ceci peut fournir une hypothèse explicative du fait que ces enseignants n'envisagent pas la possibilité de 'réparer' le fichier de géométrie dynamique. La ressource 3 semble avoir été rejetée essentiellement à cause des défaillances au niveau du traitement numérique dans l'activité instrumentée proposée ; cet item est évalué négativement par les trois binômes. Le binôme 1 estime en plus que l'utilisation de la géométrie dynamique n'apporte rien et que le déplacement ne tient aucun rôle dans cette activité. Ces défaillances ne semblent pas rédhibitoires pour le binôme 3 qui est le seul à envisager le choix de cette ressource. C'est la dimension didactique qui semble compenser ces défauts ; en effet, cette dimension est la plus appréciée dans cette ressource en comparaison avec les deux autres. La consultation des profils des enseignants laisse apparaître que ces enseignants utilisent le moins les technologies numériques dans leurs pratiques. Une description jugée convenable de la mise en œuvre didactique de la ressource pourrait leur paraître sécurisant. Enfin, la ressource 2 est celle qui serait choisie par les trois binômes qui relèvent en particulier la qualité de la dimension contenu mathématique, la dimension instrumentale et apport de la GD.

Ces résultats montrent que le contenu mathématique valide est une condition nécessaire pour l'éligibilité d'une ressource. De plus, les tâches proposées doivent tirer un véritable profit de la géométrie dynamique, sinon la ressource risque d'être rejetée. Les enseignants qui ne sont pas à l'aise avec le numérique semblent privilégier la qualité de la dimension didactique lors du choix de la ressource.

L'analyse des données a également montré que certaines formulations des items de qualité étaient assez ambiguës et selon leur interprétation, ils pourraient conduire à des réponses positives ou négatives. Par exemple l'item « La ressource prévoit-elle les stratégies possibles des apprenants ? » a été interprété par certains enseignants comme « la ressource laisse-t-elle à l'élève la possibilité de mettre en place des stratégies ? » et par d'autres comme « la ressource propose-t-elle une description des stratégies possibles des élèves ? ». Selon

l'interprétation, l'item peut être évalué positivement ou négativement. Cela nous a permis de revenir sur les formulations des critères afin de lever ces ambiguïtés.

Les résultats de l'expérimentation ont révélé un autre aspect intéressant : le formulaire a été utilisé différemment par les binômes d'enseignants. Un binôme l'a utilisé pour éliminer les ressources jugées moins pertinentes ou de moindre qualité. Leur analyse guidée par le formulaire visait alors à identifier des aspects insuffisants ou insatisfaisants des ressources qui leur servaient d'arguments pour le rejet de la ressource. Dès que ces aspects ont été identifiés, les enseignants ont arrêté l'analyse de la ressource et n'ont pas cherché à évaluer les autres dimensions qui pourraient présenter des points forts. Par exemple, lors de l'analyse de la ressource qui comportait un fichier de géométrie dynamique avec une figure erronée (un parallélogramme mou présenté comme robuste), ce binôme a trouvé sans intérêt de continuer l'analyse de la ressource après avoir identifié le défaut résidant dans la figure dynamique erronée, car ils ont considéré que « la première des choses, c'est la figure ». Les deux autres binômes d'enseignants ont fourni une analyse détaillée de toutes les dimensions de cette ressource. Ce défaut ne semble pas avoir impacté l'analyse des autres dimensions, en effet les enseignants ont déclaré : « on fait comme si la figure était juste ». Ainsi, même si tous les binômes ont trouvé ce défaut inacceptable, certains ont proposé de « modifier la figure initiale pour obtenir un 'vrai parallélogramme' ». Ces résultats permettent d'envisager divers usages possibles du formulaire. Ces usages correspondent aux genèses instrumentales différentes liées au formulaire (artefact) qui donneraient lieu à divers instruments d'analyse de ressources dans le but d'en sélectionner, comme les suivants observés chez les binômes d'enseignants :

- commencer par analyser en détail une dimension jugée importante : si sa qualité est satisfaisante, en analyser une suivante, sinon arrêter l'analyse et conclure que la ressource est de mauvaise qualité ;
- évaluer toutes les dimensions de la ressource en détail : si des aspects défailants sont identifiés, considérer s'ils peuvent être améliorés ;
- se concentrer sur quelques dimensions jugées essentielles, en utilisant les critères détaillés pour les évaluer.

Dans la suite, nous présentons deux études qui ont pour objectif de comprendre comment les utilisateurs de la plateforme i2geo.net utilisent le formulaire pour évaluer les ressources disponibles.

2.2.3.2. Observations de l'évaluation de ressources sur la plateforme i2geo.net

Nous avons mené deux études pour observer les usages du formulaire pour évaluer la qualité des ressources disponibles sur la plateforme i2geo.net. La première a permis d'observer quatre comportements d'évaluation décrits dans la section 2.3.2.1 (pour plus de détails, voir Trgalová et al., 2011). La seconde interrogeait de manière plus générale l'impact de l'évaluation des ressources sur les pratiques de conception et d'usage de ressources (voir aussi Trgalová & Jahn, 2013).

Etude des usages du formulaire de qualité sur la plateforme

Le formulaire de qualité a été implémenté en ligne sur la plateforme i2geo.net en septembre 2009. Cette étude a été menée en septembre 2010, soit environ un an après avoir lancé la démarche qualité (et presque à la fin du projet Intergeo qui s'est achevé en octobre 2010).

Au début du mois de septembre 2010, 238 évaluations de 139 ressources différentes avaient été enregistrées sur la plateforme²⁷. 181 évaluations (76%) ont été basées sur la version 'allégée' du formulaire, c'est-à-dire les évaluateurs n'ont fourni que des réponses à des items généraux, tandis que seulement 55 évaluations (23%) se sont appuyées sur les critères plus précis d'au moins une dimension de la ressource analysée. La plupart des évaluations ont été effectuées sans test en classe, seulement 13 évaluations (5,4%) ont été réalisées après avoir testé la ressource. Une analyse qualitative des évaluations ont permis d'identifier quatre tendances différentes correspondant à quatre manières différentes de réaliser l'évaluation d'une ressource.

Evaluation experte

Une petite partie des évaluations (environ 11 %) pourrait être qualifiée d'expertes (Figure 8). Elles s'appuient sur la version complète du formulaire et fournissent des avis sur (presque) tous les critères détaillés, des commentaires qualitatifs et parfois même un compte-rendu d'un test en classe. Ces évaluations ont été principalement effectuées par des enseignants qui ont collaboré avec les partenaires du projet et qui se sont ainsi profondément impliqués dans le processus d'évaluation de ressources. Ces évaluations sont très utiles pour l'amélioration des ressources puisqu'elles mettent en évidence leurs forces et faiblesses.

Evaluation partiellement experte

Une évaluation 'partiellement experte' fournit des avis aux critères détaillés de certaines dimensions de la ressource. Les autres dimensions sont soit laissées de côté, soit évaluées uniquement en donnant l'avis sur l'item général (Figure 9). Ces évaluations sont aussi précieuses que les évaluations expertes car les dimensions de la ressource analysées plus en détail sont souvent celles que les évaluateurs considèrent comme ses points faibles, ce qui fournit des suggestions pour améliorer la dimension correspondante de la ressource. Cependant, contrairement à nos attentes, ce type d'évaluation est assez rare (30 évaluations, soit 12,6%).

²⁷ Pour information, nous avons récolté des données similaires en janvier 2001. Le nombre d'évaluations de ressources a presque doublé (695 évaluations enregistrées). Le nombre de ressources disponibles a également augmenté à 3300 environ.

REVIEW FOR '1'

Global comment: **revue a priori** (4 stars) Review filed on 2009/12/16 21:11 by lleyraud.
classique et intéressant. Attention à une erreur sur une commande au clavier.

Usage conditions: Hardware setup, Learner organization

Radio buttons: more on the left side to say that I don't agree, more on the right side to say that I agree

- I found easily the resource, the audience, competencies and themes are adequate
 - The theme is the one I was looking for
 - The mathematical prerequisites are the one I want
 - Technical prerequisites are adequate
 - Trained competencies are adequate and complete
 - Objectives are stated and clear
 - Proposed implementation (classroom, boomer, individual work...) is suitable
 - The duration is stated and appropriate
- The files are technically sound and easy to open
 - I can access the file
 - I can open the file with my software of choice
 - There are no bugs in the files
- The content is mathematically sound and usable in the classroom
 - The mathematics are valid
 - The content is conform to the curriculum for that level

Comments: La description de la ressource permet à son utilisateur de manipuler la ressource et donne son objectif mais rien de plus n'est précisé.

Figure 8. Extrait d'une évaluation experte d'une ressource (Trgalová et al., 2011)

REVIEW FOR '1'

Global comment: **Illustration du théorème des accroissements finis pour une cubique** (4 stars) Review filed on 2010/07/17 15:14 by Christian Marcal.
Une fonction cubique est dessinée comme interpolant quatre points mobiles ABCD. La pente entre les points A et B est égale à la pente d'une tangente au graphe de la fonction en un point entre A et B.

Usage conditions: Hardware setup, Learner organization

Radio buttons: more on the left side to say that I don't agree, more on the right side to say that I agree

- I found easily the resource, the audience, competencies and themes are adequate
 - The theme is the one I was looking for
 - The mathematical prerequisites are the one I want
 - Technical prerequisites are adequate
 - Trained competencies are adequate and complete
 - Objectives are stated and clear
 - Proposed implementation (classroom, boomer, individual work...) is suitable
 - The duration is stated and appropriate
- The files are technically sound and easy to open
- The content is mathematically sound and usable in the classroom
- Translation of the mathematical activity into interactive geometry is coherent
- In this resource, Interactive Geometry adds value to the learning experience
- This activity helps me teach mathematics
 - The students (will) get ready to the point
 - Hints are given on ways to make the students start
 - Students initiatives are fostered
 - Some reports and students snapshots help me foresee the situations that arise
 - I am helped in identifying resolution strategies, whether correct or invalid, that the students may choose

Comments: En fait ce n'est pas du niveau secondaire en France et ce n'est pas le théorème des valeurs intermédiaires mais le théorème des accroissements finis...

Figure 9. Extrait d'une évaluation partiellement experte d'une ressource (Trgalová et al., 2011)

Evaluation globale

Les évaluations que nous avons qualifiées de globales sont basées sur la version allégée du formulaire. Ainsi, l'évaluateur exprime-t-il son avis global sur les différentes dimensions de la ressource. Ce type d'évaluation peut permettre de mettre en évidence des points forts et des points à améliorer de la ressource grâce à cet avis global qui peut être accompagné par un commentaire ou une appréciation qualitative (Figure 10). 46 évaluations, soit 19,3% sont de ce type.

Evaluation 'fan'

Nous avons appelé une évaluation globale où tous les items reçoivent un avis positif évaluation 'fan' (Figure 11). Il nous semble en effet dans ce cas l'évaluateur exprime son sentiment général de satisfaction quant à la ressource examinée et souhaite la promouvoir sans fournir d'informations sur les raisons pour lesquelles il considère la ressource de bonne qualité. Parfois des commentaires généraux positifs sont également fournis. Étonnamment, 74,6% de toutes les évaluations basées sur la version allégée du formulaire sont de ce type.

REVIEW FOR "11"

Global comment: *Se trata de un tipo de funciones muy concreto, las exponenciales. Sería más útil si se pudiera introducir cualquier función. El editor de las evaluaciones de las funciones no es muy bueno.*
 This review is done without a trial in classroom. Review filed on 2010/05/10 12:49 by anirracos.

Usage conditions

Hardware setup: _____ Learner organization: _____

More about the content of usage (free comments):
 Educational Levels: _____
 Update the selected educational level(s) for this resource.
 Educational levels: no levels indicated

Radio buttons: more on the left side to say that I don't agree, more on the right side to say that I agree

| | |
|-----------------------|---|
| <input type="radio"/> | I found easily the resources, the audience, competences and themes are adequate |
| <input type="radio"/> | The files are technically sound and easy to open |
| <input type="radio"/> | The content is mathematically sound and usable in the classroom |
| <input type="radio"/> | Translation of the mathematical activity into interactive geometry is coherent |
| <input type="radio"/> | In this resource, Interactive Geometry adds value to the learning experience |
| <input type="radio"/> | This activity helps me teach mathematics |
| <input type="radio"/> | I know how to set my class for this activity |
| <input type="radio"/> | I found easily a way to use this activity in my curriculum progression |
| <input type="radio"/> | The resource is user friendly and adaptable |

Figure 10. Extrait d'une évaluation globale (Trgalová et al., 2011)

REVIEW FOR "01"

Global comment: _____
 This review is done without a trial in classroom. Review filed on 2009/10/11 15:14 by szabolc.

Usage conditions

Hardware setup: _____ Learner organization: _____

More about the content of usage (free comments):
 Educational Levels: _____
 Update the selected educational level(s) for this resource.
 Educational levels: no levels indicated

Radio buttons: more on the left side to say that I don't agree, more on the right side to say that I agree

| | |
|-----------------------|--|
| <input type="radio"/> | I found easily the resource, the audience, competences and themes are adequate |
| <input type="radio"/> | The files are technically sound and easy to open |
| <input type="radio"/> | The content is mathematically sound and usable in the classroom |
| <input type="radio"/> | Translation of the mathematical activity into interactive geometry is coherent |
| <input type="radio"/> | In this resource, Interactive Geometry adds value to the learning experience |
| <input type="radio"/> | This activity helps me teach mathematics |
| <input type="radio"/> | I know how to set my class for this activity |
| <input type="radio"/> | I found easily a way to use this activity in my curriculum progression |
| <input type="radio"/> | The resource is user friendly and adaptable |

Figure 11. Extrait d'une évaluation 'fan' (Trgalová et al., 2011)

Dans la Figure 12 ci-dessus nous résumons la répartition des quatre types d'évaluation identifiés :

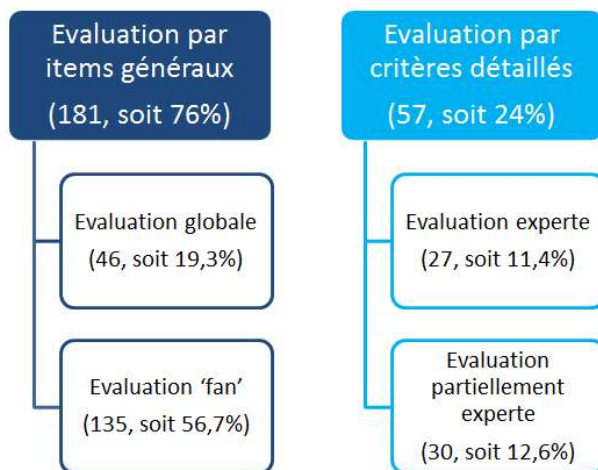


Figure 12. Répartition des quatre types d'évaluation

La manière dont le formulaire est utilisé (ou en d'autres mots, la nature du formulaire comme instrument d'analyse de ressources) est façonnée par l'expérience de l'enseignant (instrumentalisation). Cependant, on peut supposer que la finalité de l'analyse jouera un rôle important dans la genèse instrumentale. Par exemple, si la finalité de l'analyse est d'améliorer la qualité de la ressource, on pourrait s'attendre à une évaluation experte. Si la finalité est de mieux comprendre le contenu de la ressource pour préparer sa mise en œuvre en classe, on pourrait s'attendre à une évaluation partiellement experte reposant sur l'analyse détaillée des dimensions jugées les plus importantes et laissant les autres de côté.

De plus, on peut supposer que l'évaluation de ressources avec le formulaire impacte les pratiques des enseignants (instrumentation). C'est cette hypothèse que nous avons souhaité vérifier dans une deuxième étude qui fait l'objet de la section suivante.

Etude de l'impact de l'évaluation de ressources sur les pratiques de conception et d'usage de ressources

Cette étude a été menée trois ans après la fin du projet Intergeo. A cette époque, la communauté d'utilisateurs de la plateforme comptait environ 2100 membres enregistrés. Cette communauté s'est constituée progressivement autour des partenaires du projet qui étaient ses premiers membres (cercle C1), pour inclure ensuite des enseignants dont certains travaillaient avec les chercheurs du projet sur des sujets spécifiques comme la qualité des ressources (cercle C2). Les autres membres enregistrés sur la plateforme forment le cercle C3 (Figure 13).

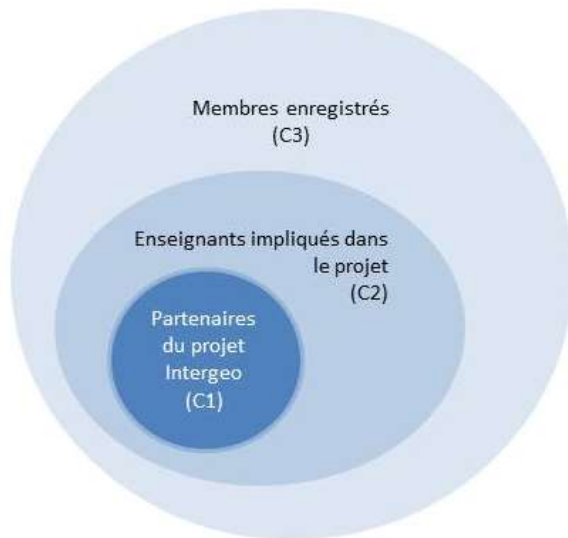


Figure 13. Communauté Intergeo (inspiré de (Trgalová et Jahn, 2013, p. 976))

Il nous a alors semblé légitime de nous poser la question si et comment la plateforme et ses outils continuaient d'être utilisés. Nous nous sommes interrogé en particulier sur l'utilisation du formulaire de qualité et ses effets sur l'amélioration des ressources disponibles sur la plateforme d'une part, et sur les impacts éventuels de l'utilisation de la plateforme sur les pratiques de conception et d'utilisation de ressources de géométrie dynamiques de ses utilisateurs d'autre part.

Nous avons alors mené deux études. La première avait pour objectif d'étudier les effets de la participation au projet de recherche des enseignants et s'adressait donc aux enseignants du cercle C2. Cette étude n'est pas présentée ici, le lecteur peut trouver ses résultats dans (Trgalová et Jahn, 2013a, b). Nous nous concentrons ici plutôt sur la seconde étude qui avait un double objectif : (1) essayer de voir si la démarche qualité mise en place sur la plateforme conduit à l'amélioration de ressources disponibles, et (2) interroger les usages de la plateforme et ses possibles effets sur les pratiques des utilisateurs.

Démarche qualité et amélioration de ressources

Les données sur lesquelles s'est appuyée cette étude dataient d'avril 2013. La plateforme comptait alors plus de 3700 ressources. Parmi ces ressources, 436 ont été évaluées et 866 évaluations ont été enregistrées au total. Pour étudier les modifications éventuelles de la ressource, deux fonctionnalités de la plateforme sont particulièrement utiles : les outils

« Historique des révisions » et « Comparer les versions ». Le premier affiche l'historique des différentes versions de la ressource avec la date et l'heure de la modification apportée (Figure 14), ce qui permet de voir si la modification donnée a été apportée chronologiquement avant ou après l'évaluation.

Le coup du siècle

Contributed By: Jean-Philippe GÃ¶gelinas
jggelinas@umontreal.ca

(2 reviews, last on 2010-10-08)

Content Information Comments (0) & Reviews (2)

[Return to Information](#)

REVISION HISTORY

| From | To | Version | Author | Note | Date/Time |
|----------------------------------|----------------------------------|---------|--|---|----------------------------------|
| <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | 5.1 | Jean-Philippe GÃ¶gelinas jggelinas@umontreal.ca | Des amÃ©liorations ont Ã©tÃ© apportÃ©es! | Nov-04-2010 - 08:06 PM GMT+01:00 |
| <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | 4.1 | Jean-Philippe GÃ¶gelinas jggelinas@umontreal.ca | La crÃ©ation d'un sous-objet de categorie (0) est terminÃ©e | Nov-04-2010 - 08:06 PM GMT+01:00 |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | 3.1 | Jean-Philippe GÃ¶gelinas jggelinas@umontreal.ca | La crÃ©ation d'un sous-objet de categorie (0) est terminÃ©e | Nov-04-2010 - 08:06 PM GMT+01:00 |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | 2.1 | Jean-Philippe GÃ¶gelinas jggelinas@umontreal.ca | La crÃ©ation d'un sous-objet de categorie (0) est terminÃ©e | Oct-05-2010 - 05:55 AM GMT+01:00 |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | 1.4 | Jean-Philippe GÃ¶gelinas jggelinas@umontreal.ca | Ressource texte crÃ©ee | Oct-05-2010 - 05:54 AM GMT+01:00 |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | 1.3 | Jean-Philippe GÃ¶gelinas jggelinas@umontreal.ca | Set Metadata | Oct-05-2010 - 05:54 AM GMT+01:00 |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | 1.2 | Jean-Philippe GÃ¶gelinas jggelinas@umontreal.ca | ChargÃ© un nouveau fichier | Oct-05-2010 - 05:47 AM GMT+01:00 |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | 1.1 | Jean-Philippe GÃ¶gelinas jggelinas@umontreal.ca | Nouvelle ressource crÃ©ee | Oct-05-2010 - 05:47 AM GMT+01:00 |

[Compare Versions](#)

Figure 14. Historique des rÃ©visions d'une ressource (TrgalovÃ¡ et Jahn, 2013, p. 980)

La Figure 14 montre l'historique des rÃ©visions d'une ressource crÃ©ee le 5 octobre 2010 et Ã©valuÃ©e par deux Ã©valuateurs, la derniÃ¨re Ã©valuation datant du 8 octobre 2010. Des modifications ont Ã©tÃ© apportÃ©es Ã la ressource par son auteur le 4 novembre, la derniÃ¨re Ã©tant accompagnÃ©e par la note : « Des amÃ©liorations ont Ã©tÃ© apportÃ©es ! ».

L'outil « Comparer les versions » permet de montrer quels Ã©lÃ©ments de la ressource parmi les mÃ©tadonnÃ©es, contenu, piÃ¨ces jointes et commentaires ont Ã©tÃ© modifiÃ©s d'une version Ã la suivante (Figure 15). Cependant, seules les modifications qui concernent les champs de description sont repÃ©rÃ©es ; les modifications au niveau des contenus des fichiers constituant la ressource ne sont pas visibles.

Le coup du siècle



Contributed By: Jean-Philippe Gagné
jgagelinas@umontreal.ca



(2 reviews, last on 2010-10-08)

Content Information Comments (0) & Reviews (2)

Return to Revision History

COMPARE VERSIONS

Changes of Asset Lecoupdusiecle in space Coll_jgagelinas

| | | |
|--|--|--|
| From Version 4.1 edited by Jean-Philippe Gagné jgagelinas@umontreal.ca on Nov-04-2010 - 08:06 PM GMT+01:00 | To Version 5.1 edited by Jean-Philippe Gagné jgagelinas@umontreal.ca on Nov-04-2010 - 08:06 PM GMT+01:00 | Change comment: Des améliorations ont été apportées! |
|--|--|--|

| Metadata changes | Version 4.1 | Version 5.1 |
|-------------------------------|-------------|-------------|
| Property | | |
| There are no metadata changes | | |

| Content changes |
|------------------------------|
| There are no content changes |

| Attachment changes | |
|---------------------------------|--------|
| Filename | Action |
| There are no attachment changes | |

| Comment changes | Previous value | New value |
|------------------------------|----------------|-----------|
| Property | | |
| There are no comment changes | | |

Figure 15. Comparaison de deux versions d'une ressource (Trgalová et Jahn, 2013, p. 981)

La Figure 15 montre qu'aucun des champs de description de la ressource n'a été modifié. L'analyse du contenu de la ressource à la lumière des évaluations permet d'observer que les améliorations mentionnées par l'auteur ont en effet pris en compte les critiques émises par les évaluateurs. Ces derniers ont pointé l'absence d'indications de la gestion en classe de l'activité proposée (dimensions didactique et pédagogique), en particulier un manque de suggestions concernant l'orchestration instrumentale, la durée de l'activité ou encore les réactions de l'enseignant face au blocage des élèves. Dans la nouvelle version de la ressource, l'auteur a fait l'effort de fournir ces éléments, comme le montre l'extrait de la version 5.1 de la ressource (Figure 16).

Mise en œuvre (utilisation), durée et déroulement temporel:

- Présentation de la situation-problème : en plénière, 15 minutes
- Réalisation de l'activité : travail individuel, 60 minutes
- Retour sur l'activité : correction en plénière et phase métacognitive.
- Questionnement sur la possibilité de lancer en ligne droite, 30 minutes.

Configuration matérielle :

- Laboratoire informatique, projecteur pour présenter la situation-problème. Animer

Stratégies à proposer aux élèves en difficulté et suggestions de réorientation:

- Décontextualiser le problème et rechercher un problème semblable déjà résolu

Figure 16. Extrait de la version révisée de la ressource (Trgalová et Jahn, 2013, p. 981)

Nous avons montré l'exemple d'une ressource qui a été améliorée grâce aux retours des évaluateurs. Cependant, notre analyse a montré que cet exemple est plutôt une exception. En effet, seulement 13% de ressources²⁸ ont été évaluées au moins une fois, la majorité de ces ressources n'ayant été évaluée qu'une seule fois. Le plus surprenant a été le fait que la plupart des ressources qui ont reçu un retour d'utilisateurs, soit sous forme d'une évaluation ou sous forme d'un commentaire, n'ont pas été modifiées.

Usages de la plateforme

Pour mieux comprendre les comportements des utilisateurs de la plateforme qui pourraient éclairer les résultats énoncés précédemment, nous avons interrogé, via un questionnaire, quelques membres de la communauté parmi les plus productifs, c'est-à-dire ceux qui ont déposé un nombre significatif de ressources sur une période relativement longue. Le questionnaire a été organisé autour de quatre aspects :

- *conception et dépôt de ressources* : concerne le processus de design de ressources, le rôle du formulaire de qualité dans le design et la manière dont les évaluations ont été prises en compte ;
- *utilisation de ressources disponibles sur la plateforme* : interroge la ré-utilisation des ressources, la manière d'en chercher et la satisfaction avec l'offre de ressources sur la plateforme ;
- *évaluation de ressources* : se rapporte à la façon d'évaluer les ressources et la perception de l'utilité du formulaire de qualité ;
- *pratique professionnelle* : se rapporte à la perception des changements dans les pratiques induits par l'appartenance à la communauté i2geo.

Les profils des six membres dont nous avons collecté les réponses sont montrés dans le Tableau 11 ci-dessous (la dernière colonne montre le nombre de ressources déposées, le nombre d'évaluations de ressources réalisées et le nombre de leurs ressources qui ont été évaluées par d'autres membres de la communauté) :

| Pseudo | Pays | Profession | Cercle (cf. Figure 13) | # ressources déposées // # évaluations effectuées // # ressources évaluées |
|---------------|-------------|------------------------------|----------------------------------|---|
| Carl | Tchéquie | Professeur des universités | C1 | 67 // 14 // 11 |
| Fred | France | Professeur des universités | C1 | 127 // 29 // 3 |
| Finn | France | Enseignant | C3 | 46 // 0 // 1 |
| Greg | Allemagne | Chercheur | C3 | 35 // 0 // 2 |
| Gael | Allemagne | Chercheur, formateur | C1 | 71 // 9 // 4 |
| Sean | Espagne | Concepteur de sites internet | C1 | 184 // 2 // 1 |

Tableau 11. Profils des membres de la communauté i2geo interrogés (inspiré de (Trgalová et Jahn, 2013, p. 982))

L'analyse des réponses aux questions ont été complétées, lorsque cela s'est avéré possible et pertinent, par une analyse de ressources déposées par le répondant et des évaluations de

²⁸ Sur le total des 3701 ressources disponibles, 3354 sont « évaluables » avec le formulaire, les autres étant par exemple des programmes scolaires nationaux.

ressources qu'ils ont réalisées. Dans la suite nous présentons les résultats les plus significatifs.

Evaluation et amélioration de ressources

A partir des réponses aux questions relatives à la perception de l'utilité de la démarche qualité des raisons expliquant pourquoi les auteurs ne modifient que rarement leurs ressources ont pu être inférées.

Manque de temps et sentiment d'isolement. Fred a affirmé qu'il trouvait le formulaire de qualité « très utile » pour améliorer la qualité de ressources. Cependant, il a avoué qu'il ne modifiait pas ses ressources suite aux évaluations reçues :

Fred : En fait je n'ai pas le temps de revenir sur les critiques qui ont été faites, je n'ai pas pris le temps d'analyser les réponses. Je suis trop seul dans la production des ressources, pas inséré dans une équipe pédagogique où les ressources seraient sensées vivre et évoluer....

Bien qu'il appartient à la communauté i2geo qui devrait représenter une sorte d' « équipe pédagogique où les ressources seraient sensées vivre et évoluer », Fred se sent seul. A la question de ré-utilisation de ressources disponibles, Fred a répondu : « Je n'ai pas des classes du secondaire donc les usages décrits sont en général en décalage par rapport au mien (formation de formateurs), mais intéressants pour moi ». Cette remarque suggère que Fred a du mal à partager des ressources avec d'autres membres de la communauté qui sont pour la plupart des enseignants de second degré, ce qui peut renforcer son sentiment d'isolement. Mais Fred peut aussi manquer d'outils de collaboration et de communication dont la plateforme i2geo.net n'est pas dotée. De plus, le contenu de la plateforme n'est pas satisfaisant pour Fred : « il n'y a presque pas de sujets en analyse alors que c'est un domaine très important pour moi ». L'absence d'outils de collaboration et le manque de ressources adéquates peuvent être l'origine de la frustration de Fred qui l'empêche de s'investir dans l'évolution de ses ressources.

Ressources déposées robustes. A la question sur sa manière de concevoir les ressources, Carl dit : « I usually adapt existing activities. Most of them I used in my lectures, some come from diploma theses of my students ». Nous pouvons alors supposer que ces ressources sont soigneusement conçues et leurs tests, en formation ou en classe, ont montré leur robustesse. Cela peut être la raison pour laquelle Carl ne ressent pas le besoin de les faire évoluer. En effet, aucune de ses 11 ressources évaluées n'a été modifiée. Pourtant, il trouve le retour de ses pairs utile lui permettant notamment de reformuler les consignes pour les apprenants : « Yes. I usually changed the text in order to be more understandable for students ». Le commentaire suivant de Sean semble confirmer l'hypothèse selon laquelle la ressource déposée est considérée comme suffisamment robuste par l'auteur n'appelant plus de modifications :

Sean : I guess some people might change the design of the resources after having filled out a review and having thought about some questions. But I don't think this happened often. I would tend to think that when somebody cares enough to upload a resource of his own, he has already some experience and has thought quite enough.

Sensibilité à la critique venant des autres. Greg est le seul répondant qui exprime des doutes quant à l'utilité des retours des autres utilisateurs sur les ressources. A la question s'il a trouvé ces retours utiles, il a répondu : « partly, but mostly it seemed like a rant ... ». Curieusement, cet avis est basé sur les seules deux évaluations qu'il a reçues pour deux de ses 35 ressources déposées. Une des évaluations a été seulement quantitative sans aucun commentaire. La seconde pointait des limites de la ressource au niveau d'une sous-exploitation des potentialités de la géométrie dynamique. Le cas de Greg montre que l'évaluation par des pairs peut parfois froisser les sensibilités de certains auteurs qui ne vont par conséquent pas en tenir compte.

Il est intéressant de noter que les répondants qui trouvent le formulaire de qualité utile pour l'amélioration de ressources appartiennent au cercle C1, c'est-à-dire ce sont les membres fondateurs de la communauté i2geo. Ils semblent convaincus de la nécessité de l'évaluation des ressources par les pairs afin de garantir leur qualité, ce qui n'est pas le cas des membres du cercle C3 qui peuvent ne pas avoir adhéré à l'esprit communautaire.

Processus d'évaluation de ressources

A la question sur la manière d'effectuer des évaluations de ressources disponibles, Carl dit s'appuyer seulement sur les items généraux : « Mostly only nine general questions, after a test and also in a teacher training ». Il trouve le formulaire utile mais trop long, ce qu'il considère comme un obstacle qui expliquerait le peu d'utilisateurs impliqués dans la démarche qualité : « Questionnaire is useful. In my opinion and also colleagues of mine it should not be so detailed. Shorter questionnaire would be better since more people will do the review ». Sean partage l'opinion de Carl sur la longueur trop importante du formulaire : « No, I never filled out all the questions, there are too many ». Ces deux membres considèrent que les ressources ne soient pas déposées avant que leurs auteurs ne soient convaincus de leur robustesse ; ceci peut être la raison pour laquelle ils réalisent des évaluations globales (Sean) et "fan" (Carl) : en effet, ils semblent faire confiance aux auteurs et l'évaluation est pour eux davantage un moyen d'exprimer dans quelle mesure ils ont aimé ou non la ressource (en particulier pour Carl).

Fred et Gael perçoivent le formulaire comme très utile pour l'amélioration de ressource, en précisant que « Ca aide clairement à identifier des perspectives, des points de vue sur la ressource qu'il faut avoir en tête, autant en tant qu'auteur qu'en tant qu'utilisateur » (Fred). En évaluant une ressource, Fred se dit tenter « d'être assez détaillé », ce qui le conduit de réaliser des évaluations expertes, ou au moins partiellement expertes.

Il est intéressant de noter que les quatre répondants qui participent à l'évaluation de ressources appartiennent tous au cercle C1, tandis que les deux répondants appartenant au cercle C3 n'ont réalisé aucune évaluation. Ils déclarent pourtant que le formulaire est selon eux plutôt utile pour guider la conception de ressources, pour soutenir le processus d'appropriation d'une ressource avant de la mettre en place en classe et pour améliorer la qualité de ressources disponibles. Ils trouvent les items très faciles à comprendre et le formulaire très facile à utiliser. Ce manque d'investissement dans la démarche qualité témoigne-t-il encore de la non-adhésion à l'esprit communautaire ?

Impact sur les pratiques

A la question s'ils perçoivent des changements dans leurs pratiques, Fred et Gael admettent que l'utilisation de la plateforme a pu avoir des effets sur leurs manières de choisir des activités pour les cours ou de faire les cours : ils se disent en particulier plus attentifs sur l'activité des apprenants, son choix et sa gestion. Pour autant, leurs pratiques n'ont pas véritablement changé, comme le précise Fred : « Je ne crois pas que l'utilisation d'i2geo ait vraiment modifié ma pratique, mais elle l'a sûrement un peu enrichie ».

2.3. Discussion et conclusion

Nous concluons ce chapitre en revenant sur un certain nombre de points qui nous semblent particulièrement importants.

Le premier concerne le concept même de qualité appliqué aux ressources éducatives. Il ressort de notre étude qu'il est difficile de définir ce qu'est une ressource de qualité. D'une part, ceci est en partie dû au fait que la qualité n'est pas une propriété intrinsèque de la ressource, mais elle dépend de l'utilisateur, de son expertise, de ses besoins, voire du contexte dans lequel la ressource sera utilisée. D'autre part, il semble difficile de proposer un ensemble de critères permettant une évaluation de la qualité de tout type de ressource numérique. Nous avons ainsi restreint notre étude aux seules ressources de géométrie dynamique et nous avons défini des critères permettant d'évaluer ces ressources selon diverses dimensions. Se pose alors la question de la généralisation de ces dimensions et critères à d'autres types de ressources.

Une tentative de généralisation de critères de qualité de ressources numériques a été initiée par un groupe de chercheurs lors de la conférence *Mathematics education in the digital age* (MEDA) en 2018. Quatre études de cas portant sur divers types de ressources ont été analysées (voir Tableau 12. Les quatre études de cas).

| Types de ressources | Niveau scolaire | Pays |
|---|-------------------------------------|----------------------------|
| Applications pour tablettes tactiles | Primaire | Allemagne |
| Podcasts audio | Primaire | Allemagne |
| Activités mobilisant la géométrie dynamique | Secondaire | Plusieurs pays européens |
| Activités de modélisation mobilisant un tableur | Primaire, secondaire, universitaire | Grande Bretagne et Mexique |

Tableau 12. Les quatre études de cas

A partir de ces analyses, nous avons dégagé quatre catégories de critères pour évaluer : (1) *la qualité du contenu mathématique* – validité, conformité avec les programmes et cohérence entre l'objectif et le support numérique ; (2) *la valeur ajoutée de la technologie* – niveau d'utilisation de la technologie selon le modèle SAMR²⁹ ; (3) *la qualité de la ressource du point de vue de l'élève* – prise d'initiative, feedback, soutien de la motivation, autonomie, collaboration, auto-évaluation ; (4) *la qualité de la ressource du point de vue de l'enseignant*

²⁹ SAMR – Substitution, Augmentation, Modification, Redéfinition (Puentedura, 2006)

– clarté de l’objectif d’apprentissage, suggestion d’orchestration instrumentale et de différenciation (Donevska-Todorova, Trgalová, Schreiber & Rojano, à paraître).

Un deuxième point concerne la démarche qualité mise en place sur la plateforme i2geo.net. Cette démarche qualité, qui visait une amélioration continue de ressources disponibles sur la plateforme, reposait sur l’utilisation d’un formulaire d’évaluation qui proposait de critères de qualité organisé autour de neuf dimensions de la ressource. Nos études empiriques ont montré des usages différents de ce formulaire que nous pouvons analyser en termes de genèses instrumentales donnant lieu à divers instruments d’évaluation de ressources. Par ailleurs, nous avons pu constater des résultats plutôt encourageants de l’utilisation du formulaire dans un contexte de formation continue où cette utilisation a été accompagnée et cadrée : les enseignants appréciaient de manière générale l’analyse de ressources instrumentée par le formulaire qui a guidé leur analyse et les a conduits à questionner des dimensions de ressources qui sont rarement interrogées. Le formulaire a été ainsi perçu comme une aide à l’analyse de ressources dans la perspective de leur utilisation en classe, autrement dit comme une aide à l’appropriation de ressources analysées (le chapitre suivant est dédié à cette problématique).

En revanche, les observations des traces des comportements d’utilisateurs sur la plateforme ont montré peu d’investissement dans l’évaluation de ressources et des améliorations très rares de ressources évaluées. Une des raisons que l’on pourrait avancer serait le manque de temps de la part des utilisateurs. Cette raison est certainement trop simpliste, même si le facteur temps peut jouer un rôle, connaissant les conditions d’exercice du métier d’enseignant, au moins en France. Il nous semble cependant que d’autres éléments peuvent être responsables de cet « échec ». Nous en évoquons trois qui nous semblent ressortir de nos études. Premièrement, un accompagnement des évaluateurs nous paraît, avec le recul, être un élément essentiel à mettre en place dans une démarche qualité. Nous avons en effet observé que les membres du cercle 3 de la communauté i2geo, c’est-à-dire ceux qui n’avaient aucun lien avec projet Intergeo, montraient des comportements le moins en adéquation avec l’esprit communautaire que se proposaient de développer les partenaires du projet. Cet accompagnement aurait alors deux fonctions principales : d’une part, une « acculturation » de ces membres qui leur permettrait de comprendre les enjeux de la démarche qualité et, d’autre part, une aide à l’appropriation du formulaire de qualité, ou en d’autres mots, un accompagnement de genèse instrumentale relative au formulaire. D’ailleurs, l’un des utilisateurs de la plateforme interrogés, Finn, exprime bien ce besoin d’accompagnement notamment des enseignants débutants :

Au delà de l’utilisation d’une activité innovante et inédite, le professeur doit persévérer (*sic*), en se formant et en échangeant avec ses pairs malgré peut être des obstacles et des échecs rencontrés... C’est à ce niveau que la question de l’accompagnement est importante surtout au début.

Un autre point concerne les évaluations de ressources dont nous avons déploré un trop petit nombre par rapport au nombre d’utilisateurs inscrits. Il semblerait qu’il y a très peu d’évaluations de ressources spontanées. En effet, la majorité des évaluations ont été réalisées soit dans le cadre de formations où elles faisaient partie d’activités proposées par des

formateurs, ou bien par des membres des cercles 1 et 2 de la communauté qui ont réalisé ces évaluations dans le cadre du projet Intergeo. Les utilisateurs interrogés ont déclaré télécharger des ressources de la plateforme pour une utilisation personnelle, mais ils n'ont que très rarement fait part de leur expérience avec la ressource. Les activités des membres se limitaient ainsi au dépôt et au téléchargement de ressources, activités qui ne stimulent pas des échanges entre les membres. Comme le précisent Butler et al. (2002), une participation active, sous la forme de création et de consommation du contenu, joue un rôle fondamental dans une communauté virtuelle. Cependant, cette participation, selon les auteurs, doit conduire à des échanges entre ses membres :

In online groups, participation means generating messages, responding to messages, organizing discussion, and offering other online activities of interest to member. If members do not create relevant content, other community building activities are largely irrelevant. Participation also means consuming content; if members do not regularly read the material that others provide, the online group will not remain viable. Group identity and personal relationships are constructed through the messages that members send and read. Attending to and reading messages is a prerequisite for others to provide them. Thus, active participation by providing and consuming content plays a crucial role in sustaining an online group. (Butler et al., 2002)

Selon les auteurs, un défi majeur dans le maintien d'un groupe virtuel est d'inciter les membres à consacrer du temps et de l'effort nécessaires pour effectuer ces activités d'entretien communautaire. Cela suppose une sorte de gestion de la communauté et emmène l'idée de leader (un membre ou un groupe) de la communauté. Ces considérations ouvrent des pistes de recherche dans la direction de gestion de communautés virtuelles.

Enfin, le peu de révisions de ressources suite au feedback reçu appelle une interrogation sur l'efficacité de ce type feedback. Des travaux ont montré que dans certains cas, un feedback différé est moins efficace qu'un feedback immédiat (voir par exemple Bosc-Miné, 2014). Le fait que l'auteur reçoit en général une évaluation de la ressource bien après l'avoir déposée sur la plateforme peut être une raison de peu de motivation pour réviser la ressource. Nous n'avons cependant pas conduit d'étude permettant de valider cette hypothèse.

Chapitre 3. Appropriation de ressources numériques

Avec la forte prolifération de ressources notamment sur internet, la question de leur utilisation et réutilisation est plus que jamais d'actualité. Selon Agostinho et al. (2004), la réutilisation de ressources disponibles (objets d'apprentissage) suppose que (1) les enseignants soient prêts à utiliser les ressources des autres, (2) les ressources soient accompagnées d'une description standard (métadonnées) pour permettre de les retrouver facilement et (3) une fois récupérés, les enseignants sachent comment les utiliser efficacement dans leur contexte pédagogique.

La dernière hypothèse soulève la question d'appropriation de ressources existantes sur laquelle des recherches devraient se pencher, comme le soulignent Bennett et al. (2005) : « more needs to be known about teachers' current understandings and uses of digital resources, and what approaches may be effective in enhancing their approaches » (p. 2392).

Or, les processus d'appropriation de ressources font rarement l'objet d'étude de recherche en didactique des mathématiques. Les chercheurs explorent davantage comment les enseignants utilisent les programmes officiels, en étudiant l'écart entre la planification de leurs enseignements et leur mise en œuvre (Remillard, 2005 ; Remillard et Heck, 2014). D'autres s'intéressent au travail documentaire des enseignants qui consiste à sélectionner, adapter et combiner les ressources existantes (Gueudet et Trouche, 2008). Dans le cas de ressources ou technologies numériques, le terme intégration est utilisé, signifiant l'adoption de ressources ou technologies par un enseignant qui se manifeste par l'utilisation régulière de ces ressources. Aslan et Zhu (2016) parlent d'intégration de ressources dans les pratiques pédagogiques, Poisard et al. (2011) évoquent leur intégration dans le système de ressources de l'enseignant. Le terme d'appropriation de ressources est utilisé souvent dans le sens commun, sans conceptualisation spécifique.

Les travaux de thèse de Laetitia Rousson (2017) ont cherché à mieux comprendre les processus qui se produisent lorsqu'un enseignant décide d'utiliser une nouvelle ressource, et les facteurs susceptibles d'impacter ces processus. Dans ce chapitre, nous revenons sur ces travaux (section 3.2), après avoir relaté comment le concept d'appropriation est abordé notamment en sciences sociales et en sciences de gestion (section 3.1).

3.1. Concept d'appropriation

La notion d'appropriation est généralement considérée comme une action visant à adapter quelque chose à un but précis (Grimand, 2012). Les recherches récentes sur l'appropriation dans différents domaines scientifiques semblent s'accorder sur le rejet d'une perspective techno-centrée et convergent sur la considération de l'appropriation comme un processus cognitif du sujet.

En sciences de gestion, l'appropriation (d'un outil de gestion) est considéré comme « un processus long qui débute bien avant la phase d'utilisation de l'objet et se poursuit bien après l'apparition des premières routines d'utilisation » (De Vaujany, 2006, p. 118). L'auteur

distingue plusieurs phases de ce processus : une phase de *pré-appropriation*, survenant lorsque l'outil est présenté, discuté ou évoqué pour la première fois où l'outil « est l'objet d'une première interprétation » (ibid.) ; une phase d'*appropriation originelle*, lorsque « l'outil fait l'objet d'une acceptation minimale », est utilisé et certaines routines d'utilisation sont développées ; suivie de plusieurs phases de *ré-appropriation* où l'outil sera amené « à évoluer de façon récurrente et imprévisible au fil de l'arrivée d'outils concurrents, de nouveaux acteurs, de changement dans l'environnement institutionnel ou concurrentiel » (ibid.). Ainsi, comme le précise l'auteur, le processus d'appropriation ne prend pas fin avec le développement de routines permanentes (ibid.). De Vaujany (2006) construit sa conceptualisation de l'appropriation sur plusieurs axiomes dont le suivant qui semble être pour lui de la plus haute importance : « Tout outil et objet de gestion, conçu à distance des acteurs ou bien dans une logique de co-production, présente une certaine flexibilité instrumentale et interprétative (axiome 2) » (p. 117). Comme le précise l'auteur, « [s]ans ces deux types de flexibilité, les outils ne peuvent pas être “détournés”, ré-interprétés et même plus simplement, instrumentés » (ibid.).

Cette considération rejoint l'approche de l'appropriation en psychologie environnementale exprimée par Serfaty-Garzon (2003) :

[L]'appropriation n'est possible qu'en relation à quelque chose qui peut être attribué et qui, en tant que tel, peut à la fois servir de support à l'intervention humaine et être possédé. [...] L'objectif de ce type de possession est précisément de rendre propre quelque chose, c'est-à-dire de l'adapter à soi et, ainsi, de transformer cette chose en un support de l'expression de soi. L'appropriation est ainsi à la fois une saisie de l'objet et une dynamique d'action sur le monde matériel et social dans une intention de construction du sujet. (p. 28)

La recherche sur l'appropriation s'est intensifiée avec l'intégration du numérique dans tous les secteurs de l'activité humaine, y compris l'éducation. Selon Proulx (2002), l'appropriation d'une technologie par un agent humain nécessite une combinaison de trois conditions :

a) une maîtrise cognitive et technique minimale de l'objet ou du dispositif technique ; b) une intégration sociale significative de l'usage de cette technologie dans la vie quotidienne de l'agent humain ; c) la possibilité qu'un geste de création soit rendu possible par la technologie, c'est-à-dire que l'usage de l'objet technique fasse émerger de la nouveauté dans la vie de l'utilisateur. (p. 182)

Theureau (2011) considère l'appropriation comme une

intégration, partielle ou totale, d'un objet, d'un outil ou d'un dispositif au corps propre de l'acteur, accompagnée (toujours) d'une individuation de son usage et (éventuellement) de transformations plus ou moins importantes de cet objet, de cet outil ou de ce dispositif lui-même. (p. 7)

Carroll et al. (2002), proposent un modèle de l'appropriation de la technologie à trois niveaux (p. 53) qui reflètent le degré de familiarité avec la technologie et qui conduisent à trois issues possibles : non appropriation, désappropriation et appropriation. Le premier niveau concerne le filtrage (*filtering*) qui se produit lors de la première rencontre avec une technologie où les

premières perceptions émergent sans une utilisation prolongée de la technologie. Le filtrage conduit soit à la non appropriation lorsque le sujet n'est pas intéressé par la technologie, ou bien le processus d'appropriation s'enclenche. Le deuxième niveau concerne une évaluation plus approfondie de la technologie à travers son utilisation. Deux issues sont possibles : soit l'appropriation se produit lorsque les participants essaient et évaluent la technologie, sélectionnent et adaptent certains attributs et prennent possession de ses capacités pour satisfaire leurs besoins, ou bien la désappropriation se produit si le sujet choisit d'abandonner la technologie. Le troisième niveau concerne une utilisation continue de la technologie, la technologie est appropriée et intégrée dans des routines quotidiennes du sujet. L'appropriation n'est pas une activité ponctuelle mais est plutôt soumise à renforcement. Ces trois niveaux font écho aux phases de pré-appropriation, appropriation originelle et réappropriation de De Vaujany (2006).

Mangiante-Orsolla (2011), dans son étude du travail des enseignants du primaire avec des ressources curriculaires, considère l'appropriation des ressources comme une contribution de l'enseignant, par son interprétation de la ressource et des adaptations qu'il fait. Cela fait écho à Hoyles et al. (2013) qui affirment que pour s'approprier une technologie, les enseignants doivent passer de l'adoption à l'adaptation, avec une plus grande conscience du potentiel d'instrumentalisation.

Il ressort de cette revue de la littérature que les différentes conceptualisations de l'appropriation semblent converger vers l'idée que l'appropriation d'un objet (un outil, une ressource) est un processus cognitif entraînant des modifications plus ou moins significatives de l'objet, ainsi que le développement des interprétations et des routines d'utilisation chez l'utilisateur. Pour étudier les processus d'appropriation, les chercheurs se concentrent généralement soit sur des transformations observables de l'objet (appropriation considéré comme une adaptation), ou bien ils tentent de capturer une utilisation à plus long terme de l'objet (appropriation vue comme intégration). Ces recherches s'intéressent donc le plus souvent aux résultats de l'appropriation. Les travaux de thèse de Rousson (Rousson, 2017, Trgalová et Rousson, 2017) cherchent à étudier les processus d'appropriation de ressources par des enseignants et les facteurs qui les influencent. La section suivante est dédiée à la présentation du cadre proposé pour étudier ces processus et des principaux résultats obtenus dans une étude de cas.

3.2. Appropriation de ressources numériques par des enseignants

Dans ce qui suit, nous présentons la conceptualisation de la notion d'appropriation en nous appuyant à la fois sur la revue de littérature, l'approche instrumentale et la notion d'orchestration instrumentale.

3.2.1. Appropriation comme un processus long et dynamique

Comme nous l'avons vu dans la section 3.1, l'appropriation est un processus long, en évolution continue, à partir du moment de la première rencontre avec l'objet (dans notre cas

une ressource). La transposition de la vision de De Vaujany (2006) de l'appropriation d'un outil de gestion sur l'appropriation de ressources par des enseignants semble prometteuse. En effet, dans de nombreux cas, les enseignants doivent s'approprier des ressources qu'ils n'ont pas conçues. On peut considérer que la décision de l'utilisation ou non d'une ressource donnée est le résultat d'un processus de pré-appropriation, alors que son utilisation effective et la réutilisation représentent respectivement des phases d'appropriation originelle et de ré-appropriation.

Considérer l'appropriation d'un objet comme un processus qui donne lieu à des modifications de l'objet et au développement de routines d'utilisation chez l'utilisateur fait écho au processus de genèse instrumentale, concept central de l'approche instrumentale (Rabardel, 1995). Dans la suite, nous présentons les fondements de cette approche dans le but d'explorer sa contribution à une conceptualisation de la notion d'appropriation.

3.2.2. Appropriation comme une genèse instrumentale

L'approche instrumentale, développée par Rabardel (1995) pour mieux comprendre les interactions entre un sujet et un outil, souligne la différence entre un *artefact*, disponible pour le sujet, et un *instrument*, qui est une construction mentale composée de l'artefact (ou d'une partie de celui-ci) et de schème d'utilisation associé. Trouche (2004) affirme que la construction d'un instrument, appelée *genèse instrumentale*, « is a complex process, needing time, and linked to the artefact characteristics (its potentialities and its constraints) and to the subject's activity, his/her knowledge and former method of working » (pp. 285–286). La genèse instrumentale est constituée de deux processus interdépendants : *instrumentation* dirigé vers le sujet et *instrumentalisation* dirigée vers l'artefact. Rabardel (1995) définit ces processus comme suit :

- Les **processus d'instrumentalisation** concernent l'émergence et l'évolution des composantes artefact de l'instrument : sélection, regroupement, production et institution de fonctions, détournements et catachrèses, attribution de propriétés, transformation de l'artefact (structure, fonctionnement etc.) qui prolongent les créations et réalisations d'artefacts dont les limites sont de ce fait difficiles à déterminer ;
- Les **processus d'instrumentation** sont relatifs à l'émergence et à l'évolution des schèmes d'utilisation et d'action instrumentée : leur constitution, leur fonctionnement, leur évolution par accommodation, coordination combinaison, inclusion et assimilation réciproque, l'assimilation d'artefacts nouveaux à des schèmes déjà constitués etc. (p. 111)

La genèse instrumentale semble s'aligner avec la perspective qui considère l'appropriation comme un double processus, impactant à la fois l'objet d'appropriation (artefact / ressource) par l'action d'un sujet, et le sujet chez qui l'évolution des connaissances ou des méthodes de travail se produit. Ainsi, le concept d'appropriation semble étroitement lié au concept de genèse instrumentale.

Dans notre cas, le sujet est un enseignant et l'artefact est une ressource numérique que l'enseignant cherche à utiliser dans son enseignement. La planification de la mise en œuvre de la ressource en classe nécessite de penser une organisation adéquate de l'espace de travail et du temps (Trouche, 2005b). La notion de l'orchestration instrumentale présentée dans ce qui suit permet d'aborder cet aspect.

3.2.3. Orchestration instrumentale stabilisée comme indicateur de l'appropriation

Trouche (2005a) introduit le concept d'orchestration instrumentale pour insister sur la nécessité de penser la « gestion didactique des artefacts présents » dans la classe. Une orchestration instrumentale définie par Trouche (2005b) est

l'agencement *systematique* par un agent *intentionnel* des éléments (artefacts et humains) d'un environnement en vue de mettre en œuvre une situation donnée et, plus généralement, de guider les apprenants dans les genèses instrumentales et dans l'évolution et l'équilibrage de leurs systèmes d'instruments.

Une orchestration instrumentale est définie par une *configuration didactique*, qui est un agencement des artefacts dans l'environnement, et son *mode d'exploitation*, qui est la façon dont un enseignant décide d'exploiter la configuration didactique donnée au profit de ses intentions didactiques (Drijvers et al., 2010).

Nous considérons que l'appropriation d'une ressource entraîne sa (ré)utilisation par l'enseignant, ce qui conduit à l'émergence de régularités dans ses orchestrations instrumentales. Celles-ci peuvent alors être considérées comme des schèmes d'utilisation liés à la ressource.

En nous inspirant de l'approche instrumentale, nous considérons le processus d'appropriation d'une ressource par un enseignant comme sa genèse instrumentale, où le processus d'instrumentalisation concerne l'adaptation de la ressource, et le processus de l'instrumentation correspond à l'évolution des connaissances professionnelles de l'enseignant. Suivant De Vaujany (2006), nous considérons trois phases dans le processus d'appropriation: (1) la pré-appropriation, correspondant à l'inspection a priori de la ressource par l'enseignant ; (2) l'appropriation originelle, correspondant à la première mise en œuvre de la ressource ; (3) la ré-appropriation, correspondant aux éventuelles révisions de la ressource et à ses utilisations ultérieures. L'orchestration instrumentale liée à la mise en œuvre de la ressource en classe a une importance particulière comme une fenêtre sur les processus instrumentaux et l'évolution des connaissances professionnelles de l'enseignant. Le processus d'appropriation donne naissance à une « ressource appropriée » qui, à l'instar de l'instrument dans l'approche instrumentale, peut être définie par l'équation suivante : ressource appropriée = ressource instrumentalisée + orchestrations instrumentales. Nous supposons que l'appropriation d'une ressource se manifeste par des orchestrations stables et efficaces, qui sont un signe du développement chez l'enseignant de schèmes d'utilisation associés à la ressource, et à travers l'intégration de la ressource dans le système de ressources de l'enseignant. La Figure 17 présente le modèle d'appropriation d'une ressource par un enseignant dans la perspective d'une mise en œuvre dans la classe :

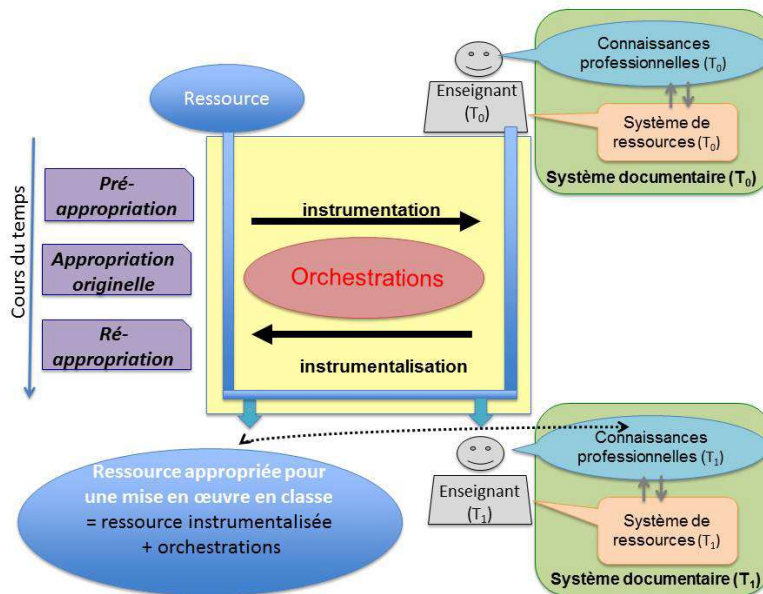


Figure 17. Schéma du processus d'appropriation d'une ressource par un enseignant (adapté de (Rousson, 2017, p. 212))

Le modèle prend en compte les trois phases d'appropriation mises en évidence dans les travaux de recherche et met en avant les adaptations de la ressource (processus d'instrumentalisation) et l'évolution des connaissances professionnelles de l'enseignant et de son système de ressources (processus d'instrumentation) dans lequel la ressource appropriée est intégrée.

3.2.4. Appropriation d'une ressource numérique par des enseignants : étude de cas

Rousson (2017) a étudié les processus d'appropriation d'un jeu numérique développé pour des tablettes tactiles et à destination des élèves de l'école maternelle. Le savoir mathématique en jeu est l'énumération. Quatre professeurs d'école ont participé à l'expérimentation, dont deux qui participaient à la conception du jeu et deux autres en dehors du projet de conception de ce jeu, le but étant de pouvoir comparer dans quelle mesure la participation à la conception d'une ressource en facilite l'appropriation. Ici, nous ne présentons que l'étude impliquant les deux professeurs qui n'ont pas contribué à la conception du jeu et qui ne connaissaient donc pas le jeu avant l'expérimentation.

Nous présentons tout d'abord la ressource, en insistant sur les intentions des concepteurs et en indiquant les aspects de flexibilité (De Vaujany 2006) permettant une instrumentalisation (section 3.2.5.1). La section 3.2.5.2 propose une étude de cas d'un professeur d'école qui s'empare du jeu pour l'utiliser dans sa classe pour mettre à l'épreuve le modèle d'appropriation.

3.2.5.1. Jeu numérique pour travailler l'énumération à l'école maternelle

La situation fondamentale de l'énumération appelée « jeu des boîtes d'allumettes » est décrite comme suit dans (Briand, 1999, pp. 20-21) :

Un élève dispose devant lui (sur une table) d'un tas de boîtes d'allumettes identiques percées sur le côté d'un petit trou permettant le passage d'une allumette. Des bâtonnets (sans le phosphore) sont les allumettes. Ces bâtonnets, en grand nombre, sont dans une boîte plastique. Il s'agit de placer une allumette et une seule dans chaque boîte sans l'ouvrir, de savoir lorsque l'on a terminé, puis de s'assurer si l'on a réussi ou échoué en ouvrant les boîtes. S'il y a une seule allumette dans chaque boîte et si aucune boîte n'est vide, alors l'élève a réussi.

Briand identifie quatre variables principales : (V1) – le type d'espace dans lequel l'élève travaille ; (V2) – le nombre de boîtes ; (V3) – le fait que les boîtes soient déplaçables ou non ; (V4) – la possibilité de déplacer les boîtes dans un espace restreint ou plus large. De nombreuses situations didactiques ont été conçues sur le modèle de cette situation fondamentale, par exemple « Voitures et garages »³⁰ ou « Placer des jetons » (Argaud et al., 1999). Bien que ces situations didactiques aient un potentiel d'apprentissage éprouvé, elles présentent également des inconvénients qui rendent leurs mises en œuvre en classe délicates. Tout d'abord, d'un point de vue pratique, les conditions matérielles des situations sont souvent contraignantes car elles nécessitent un grand nombre de boîtes et de bâtonnets et la préparation avant la séance prend du temps (il faut organiser et / ou coller les boîtes selon une configuration choisie). D'un point de vue pédagogique, il est difficile pour l'enseignant de personnaliser l'organisation spatiale des boîtes et d'observer, pour chaque élève, la stratégie utilisée pour résoudre le problème. Enfin, d'un point de vue didactique, la collection à énumérer étant celle des boîtes, une deuxième collection, celle des bâtonnets, est nécessaire pour 'matérialiser' la collection des boîtes énumérées, ce qui rend la situation plus complexe (Briand, 1999).

Choix de conception

Un jeu numérique a alors été conçu pour tenter de dépasser ces inconvénients de jeux matériels. Le contexte de la ferme a été choisi et une attention particulière a été donnée à l'intégration d'éléments didactiques et ludiques. En appui sur la variable (V3), le jeu propose deux *mondes* : un monde 'animal' où les objets (animaux) sont déplaçables et où les stratégies attendues reposent sur la considération de deux sous-collections, l'une d'objets déjà traités (animaux nourris) et l'autre d'objets non encore traités (animaux à nourrir) ; un monde 'végétal' où les objets (plantes) ne sont pas déplaçables et où les stratégies attendues consistent à percevoir et à suivre un chemin à travers la collection pour l'énumérer (arroser les plantes).

Au sein d'un monde, diverses *activités* sont conçues avec difficulté croissante en appui sur des valeurs de variables didactiques comme la nature des objets (identiques ou non), marquage d'objets déjà traités (temporaire ou permanent), aide (à la demande, après un certain nombre d'échec...). Les niveaux de difficulté au sein d'une activité sont déterminés

30 Voir par exemple <http://www.mission-maternelle.ac-aix-marseille.fr/outils/docs/voitures/Deroulement-Voitures-Garages.pdf>

par les valeurs de la variable V1 (nombre d'objets), chaque valeur déterminant un *tour*. Le Tableau 13 montre les activités et les valeurs de quelques variables didactiques.

Le jeu commence avec une activité préalable qui cherche à aide l'élève de s'appropriier le jeu, comprendre le contexte, les fonctionnalités et le feedback. Chaque activité démarre avec trois animaux que l'élève-joueur doit nourrir une fois et une seule (action de cliquer sur l'animal). Le jeu renvoie un feedback sous forme de la nourriture qui apparaît devant l'animal. Si l'élève réussit à énumérer la collection, c'est-à-dire chaque animal a été nourri une fois et une seule, le nombre d'animaux augmente (en multipliant par un facteur de 1,5 environ). En cas d'échec, les animaux qui n'ont pas été énumérés ou qui ont été pointés plus d'une fois quittent la ferme, entraînant la diminution de la collection. Un tel feedback est à la fois ludique, c'est-à-dire a du sens dans le contexte du jeu, et didactique, c'est-à-dire s'adapte aux actions de l'élève et soutient son activité de résolution du problème.

| | Marquage | Nombre d'objets | Nature des objets | Aide |
|------------|-----------------|------------------------|--------------------------|--------------|
| Activité A | Permanent | 3 - 20 | Animaux différents | Aucune |
| Activité B | Temporaire | 3 - 16 | Animaux différents | A la demande |
| Activité C | Permanent | 3 - 20 | Animaux identiques | Aucune |
| Activité D | Temporaire | 3 - 16 | Animaux identiques | A la demande |
| Activité E | Temporaire | 3 - 16 | Animaux identiques | |

Tableau 13. Activités du monde 'animal' et valeurs des variables didactiques (inspiré de (Trgalová & Rousson, 2017, p. 776))

Quand l'élève réussit à énumérer 16 ou 20 éléments de la collection (en fonction de l'activité), il reçoit un feedback (les animaux embrassent l'avatar) lui signifiant que le niveau donné du jeu (l'activité) est gagné. Du point de vue des apprentissages, il s'agit de l'acquisition de la connaissance visée relative à la classe de situations définie par les valeurs de variables didactiques données.

Analyse a priori du jeu : utilisations possibles

Cette analyse a pour objectif de discuter les possibles utilisations du jeu dans une classe de maternelle, en mettant l'accent sur des adaptations (instrumentalisation) et orchestrations envisageables.

Le jeu étant développé avec un environnement auteur qui ne permet pas une personnalisation aisée, les valeurs des variables didactiques ont dû être fixées par les concepteurs. Par conséquent, les enseignants utilisant la ressource ne peuvent pas adapter ces valeurs à leur contexte de classe. Ils peuvent cependant choisir le parcours à travers la ressource : ils peuvent soit laisser les élèves suivre le chemin prédéfini de l'activité A à l'activité E, ou ils peuvent choisir un chemin à travers les activités dans n'importe quel ordre. Le choix des fonctionnalités que les enseignants décident de présenter ou non aux élèves fait également partie du processus d'instrumentalisation. Deux fonctionnalités principales sont implémentées pour apporter une aide aux élèves à la demande : une « gomme » permettant la remise à zéro d'un tour lorsque l'élève se rend compte qu'il a commis une erreur et une « aide » qui affiche momentanément les objets déjà énumérés. Compte tenu de l'âge des élèves à qui le jeu

s'adresse, l'accompagnement de la part de l'enseignant semble nécessaire pour que les élèves se familiarisent avec et comprennent ces fonctionnalités.

Pour penser les orchestrations instrumentales relatives à la ressource en question, les types d'orchestrations identifiés dans la littérature doivent être adaptés. En effet, les orchestrations répertoriées par exemple dans (Drijvers et al., 2013) ont été observées notamment dans des classes des écoles secondaires et lors de séances en salle informatique. Besnier (2016) a identifié d'autres types d'orchestrations qu'elle a observées dans des classes de l'école maternelle. En effet, les spécificités de ce niveau des classes, comme la prévalence des interactions orales, du travail en ateliers, ou encore la présence d'un ATSEM³¹, exigent une organisation spatiale et matérielle spécifique de la classe. De plus, le jeu numérique à l'étude est conçu pour des tablettes tactiles afin de faciliter les manipulations des élèves de maternelle âgés de 3 à 5 ans.

Compte tenu des spécificités de l'enseignement en maternelle et des conditions matérielles pour l'expérimentation du jeu (six tablettes disponibles), des adaptations des orchestrations décrites dans la littérature, ainsi que de nouveaux types d'orchestrations, ont été proposés. Ces orchestrations sont classées en deux groupes : des orchestrations du travail collectif et celles du travail individuel ou en groupe. Dans le cas d'un travail collectif, l'artefact principal est un écran central (tablette, ordinateur ou tableau blanc interactif) visible de tous les élèves en même temps. Dans le cas du travail individuel ou en groupe, plusieurs configurations didactiques peuvent être envisagées, en fonction des rôles des élèves et de l'enseignant. Les élèves au sein d'un groupe peuvent avoir le même rôle, ou des rôles différents, par exemple acteur, observateur, conseiller etc. L'enseignant peut laisser les élèves travailler en autonomie ou leur procurer plus ou moins de guidance. Pour plus de détails sur les différents types d'orchestrations, voir (Trgalová & Rousson, 2017).

3.2.5.2. Appropriation du jeu par un enseignant de l'école maternelle

Dans cette section, nous présentons quelques éléments de l'analyse des processus d'appropriation du jeu numérique « A la ferme » par un enseignant de l'école maternelle nommé Tom. Cette analyse s'appuie sur des données recueillies dans la thèse de Rousson (2017) et elle a été publiée dans (Trgalová & Rousson, 2017). Nous commençons par dresser un portrait de Tom qui a été établi à partir de ses réponses à un questionnaire et un entretien. Les processus d'appropriation, notamment les phases de pré-appropriation et d'appropriation originelle, sont analysés par la suite.

Le portrait de Tom

Tom est un jeune professeur d'école (au moment de l'expérimentation, il avait 5 ans d'expérience d'enseignement à l'école maternelle). Il a obtenu un baccalauréat série scientifique et une licence STAPS³². Tom accorde une place importante à la manipulation dans les activités proposées à ses élèves. Il utilise souvent des jeux, notamment pour des activités d'entraînement. Tom est très favorable à l'utilisation du numérique dans son

31 Agent territorial spécialisé des écoles maternelles, personne qui assiste l'enseignant de maternelle

32 Sciences et techniques des activités physiques et sportives

enseignement : son école est équipée par des tablettes iPad qu'il utilise fréquemment avec ses élèves. Tom a de solides connaissances mathématiques et didactiques des savoirs à enseigner. L'organisation prédominante de la classe de Tom repose sur le travail avec la moitié des élèves, en alternant les deux groupes pendant une journée. Les élèves travaillent régulièrement en binôme et des discussions collectives des stratégies et des productions des élèves sont une pratique courante dans la classe de Tom.

Pré-appropriation de la ressource par Tom

La ressource a été présentée à Tom lors d'une réunion et il a ensuite pu « jouer avec » pendant l'été 2015. A la rentrée, il a présenté son plan de la séquence intégrant l'utilisation du jeu en classe et en a discuté avec le chercheur (L. Rousson) lors d'un entretien.

L'analyse du plan de la séquence montre les premières adaptations de la ressource envisagées par Tom (instrumentalisation) qui résident dans le choix d'activités à intégrer dans la séquence. En effet, Tom a décidé de ne pas proposer les activités A et B (voir Tableau 13), dans lesquelles tous les animaux sont différents, considérant ces activités trop simples pour ses élèves. A la place, il a choisi de commencer directement par l'activité C qui présente des animaux identiques et fournit un marquage permanent des éléments énumérés. Ce choix repose sur une compréhension profonde de la structure du jeu par Tom dont témoigne un tableau qu'il a fourni à la fin de son plan de séquence et qui résume son analyse des activités du jeu au regard de l'évolution des valeurs de variables didactiques (nombre d'animaux, nourriture visible en permanence ou non, position initiale des animaux - écartés ou superposés, aide disponible ou non...) (cf. Tableau 14).

| | Entraînement | | | Jeu ★ | Jeu ★★ | | Jeu ★★★ | |
|---|---|--|--|---|--|--|--|--|
| | Activité A | Activité B | Activité B bis | Activité C | Activité D | Activité D bis | Activité E | Activité E bis |
| Taille de la collection d'animaux (Initiale / Intervalle) | 3 1 à 20 | 3 1 à 20 | 3 1 à 20 | 3 1 à 20 | 3 1 à 20 | 3 1 à 20 | 3 1 à 20 | 3 1 à 20 |
| Caractère visible de la nourriture | visible | disparaît | disparaît | visible | disparaît | disparaît | disparaît | disparaît |
| Types d'animaux | différents | différents | différents | identiques | identiques | identiques | identiques | identiques |
| Positionnement initial des animaux | aléatoire | aléatoire | superposition | aléatoire | aléatoire | superposition | aléatoire | superposition |
| Caractère déplaçable des animaux | oui | oui | oui | oui | oui | oui | oui | oui |
| Aide possible (marquage) | non | oui | oui | non | oui | oui | non | non |
| Réussite | Énumération d'une collection de 20 objets | Énumération d'une collection de 20 objets - Aucun des objets n'a été énuméré une et une seule fois. → recommencer l'activité | Énumération d'une collection de 20 objets - Aucun des objets n'a été énuméré une et une seule fois. → recommencer l'activité | Énumération d'une collection de 20 objets | Énumération d'une collection de 20 objets - Aucun des objets n'a été énuméré une et une seule fois. → recommencer l'activité | Énumération d'une collection de 20 objets - Aucun des objets n'a été énuméré une et une seule fois. → recommencer l'activité | Énumération d'une collection de 20 objets - Aucun des objets n'a été énuméré une et une seule fois. → recommencer l'activité | Énumération d'une collection de 20 objets - Aucun des objets n'a été énuméré une et une seule fois. → recommencer l'activité |
| Échec | Aucun des objets n'a été énuméré une et une seule fois. → recommencer l'activité | - 5 erreurs consécutives → Activité de remédiation | - 3 erreurs consécutives → Activité de remédiation | Aucun des objets n'a été énuméré une et une seule fois. → recommencer l'activité | - 5 erreurs consécutives → Activité de remédiation | - 5 erreurs consécutives → recommencer l'activité | - 5 erreurs consécutives → Activité de remédiation | Aucun des objets n'a été énuméré une et une seule fois. → recommencer l'activité |

Tableau 14. Analyse didactique du jeu réalisée par Tom (Rousson, 2017, p. 417)

Les orchestrations envisagées par Tom portent les marques de sa gestion habituelle des situations didactiques: les élèves travaillent d'abord individuellement, puis en binômes avec différents rôles au sein du binôme : acteur et observateur, acteur et observateur-conseiller, ou première acteur et deuxième acteur. La séquence de Tom est purement numérique, sans autre support non-numérique.

Dès la phase de pré-appropriation, Tom envisage des adaptations du jeu à son propre usage. Il choisit les activités C, D et E, tout en conservant les activités A et B, considérées comme plus

simple, pour la remédiation. Ces choix sont possibles grâce à la connaissance approfondie de Tom des choix didactiques dans toutes les activités.

Il est intéressant de noter que, dans sa description du plan de la séquence, Tom utilise un vocabulaire spécifique à la didactique de mathématiques (variables didactiques, situation d'action et de formulation, dévolution). De plus, le projet de la mise en œuvre du jeu suit la mise en œuvre habituelle de situations didactiques (situation d'action, suivie de formulation et de validation), suggérée par exemple dans le livre ERMEL qui fait partie du système de ressources de Tom.

La connaissance approfondie du jeu par Tom est également attestée par le fait qu'il remarque qu'un tableau de résultats est généré à la fin de chaque activité, affichant les performances des élèves (succès ou échec, nombre d'animaux dénombrés avec succès, nombre d'essais, nombre de réinitialisations, nombre de fois où l'aide a été demandée...). Il envisage de consulter ces tableaux pour suivre le progrès de ces élèves (instrumentation).

En résumé, l'analyse de la phase de pré-appropriation du jeu est riche en renseignements sur la manière dont Tom a pris le jeu en main et révèle l'ampleur de son travail réalisé en amont de la mise en œuvre de la ressource en classe. Il s'interroge sur de nombreux aspects comme le niveau des élèves, la progression des activités, les fonctionnalités du jeu à utiliser, les modalités d'organisation... Les choix faits par Tom reflètent ses connaissances professionnelles, tant au niveau du contenu mathématique que des connaissances didactiques, technologiques ou pédagogiques, qui semblent faciliter la pré-appropriation du jeu par Tom.

Appropriation originelle de la ressource par Tom

Le jeu a été mis en œuvre dans la classe de Tom comprenant 25 élèves (8 élèves de moyenne section âgés de 4-5 ans et 17 élèves de grande section âgés de 5-6 ans). Les élèves ont été répartis en deux groupes, G1 et G2, de 12 et 13 élèves respectivement. Dans chaque groupe, un sous-groupe de 6-7 élèves a travaillé avec le jeu sur des tablettes tandis que l'autre sous-groupe a travaillé en autonomie. Les deux sous-groupes ont alterné dans la journée. L'autre groupe a été pris en charge par l'ATSEM. Il faut préciser que le choix de travailler avec 6-7 élèves sur des tablettes est dû aux contraintes matérielles ; en effet, seulement six tablettes ont été disponibles pour l'expérimentation.

La séquence a été découpée en neuf séances, à raison d'une séance par semaine. La première séance a été dédiée à la dévolution du jeu : Tom a introduit le contexte du jeu, la tâche et le but du jeu. Les élèves ont été invités à réaliser la pré-activité dont l'objectif a été d'introduire l'environnement du jeu sur tablettes : apprendre les gestes de cliquer pour nourrir les animaux, cliquer et déplacer pour faire bouger les animaux, comprendre les rétroactions etc. Pendant les séances 2 à 8, les élèves jouaient, d'abord individuellement, puis en binômes. La dernière séance a été dédiée à l'évaluation des acquis en faisant réaliser aux élèves une activité spécialement conçue à la demande de Tom.

Lors des séances 2 et 3, pendant que les élèves travaillaient sur les activités C et D (animaux identiques, marquage permanent dans l'activité C et aide à la demande dans l'activité D), Tom a observé que certains élèves rencontraient des difficultés à énumérer les objets de la collection, en particulier dans l'activité D où le marquage n'était plus permanent. Tom s'est

rendu compte que les élèves n'utilisaient pas la stratégie de déplacement consistant à créer deux sous-collections d'objets traités et d'objets à traiter respectivement. Afin de faire émerger cette stratégie, Tom a décidé de proposer l'activité D-bis. Les activités « bis » du jeu sont associées à toutes les activités A – E et ont été conçues comme une rétroaction envoyée aux élèves après cinq échecs successifs dans une activité donnée. En effet, les activités « bis » proposent des configurations dans lesquelles les objets à énumérer se chevauchent ; il faut donc les déplacer afin de les séparer et de permettre leur énumération. Ces activités favorisent donc les stratégies de déplacement. Ce choix est un exemple de l'instrumentalisation du jeu par Tom témoignant de sa capacité à exploiter le potentiel d'apprentissage des activités du jeu, qu'il comprend remarquablement bien, pour atteindre son objectif éducatif. Un autre exemple de l'instrumentalisation de la ressource par Tom est le développement de deux activités spécifiques à sa demande et selon ses spécifications. En effet, deux activités ont été ajoutées au prototype du jeu pendant sa mise en œuvre dans la classe de Tom : l'activité F dans laquelle trois tours sont proposés, chacun commençant par huit animaux identiques, et l'activité d'évaluation proposant d'énumérer, sans aucune aide disponible, 14 animaux identiques dans trois tours successifs, chacun avec des animaux d'espèces différentes.

Afin de suivre les progrès des élèves, Tom cherchait un moyen de recueil d'informations sur leurs performances. Il a commencé en relevant, à la fin de chaque séance, le numéro de la dernière page sur laquelle chaque élève est arrivé. Plus tard, il a réalisé que la tablette permettait de prendre des photos de l'écran, ce qui lui ouvrait une nouvelle façon de collecter des données liées à l'activité des élèves (instrumentation). Il l'a exploitée afin de pouvoir adapter les activités aux capacités des élèves.

Les connaissances professionnelles de Tom sous-tendent certainement ces choix, en particulier sa connaissance du savoir mathématique en jeu (énumération) et ses connaissances didactiques liées à ce savoir (stratégies en lien avec les valeurs des variables didactiques, difficultés des élèves). Ses connaissances didactiques semblent avoir joué un rôle important dans l'appropriation de la ressource, l'aidant à en faire une analyse approfondie, comprendre son potentiel d'apprentissage et faire des choix pertinents lors de sa mise en œuvre en classe.

Concernant les orchestrations instrumentales, une alternance des suivantes a pu être observée lors des cinq premières et les deux dernières séances :

- Orchestrations collectives de types « démonstration technique », « discuter l'écran » ou « expliquer l'écran » (en référence aux types d'orchestrations décrites par Drijvers et al. (2010)) qui avaient pour but de rappeler le travail fait lors des séances précédentes et lancer l'activité de la séance en question ;
- Orchestrations individuelles du type « assistance selon les besoins », « utilisation guidée » ou « utilisation en autonomie » (types définies par Rousson (2017)) pour accompagner le travail individuel des élèves ;
- Orchestrations collectives de types « discuter l'écran » et « élève-sherpa » (Drijvers et al., 2010) pour mener des phases de mise en commun lors desquelles les productions d'élèves ont été présentées, discutées et validées collectivement.

Lors de séances 6 et 7, les élèves ont travaillé en binômes avec des rôles différents : un des élèves réalisait l'activité tandis que l'autre jouait le rôle d'observateur-conseiller.

Il est à noter que ces orchestrations correspondent aux pratiques de Tom, témoignant de l'importance qu'il accorde au travail collectif (partage et discussion des stratégies des élèves en utilisant des orchestrations « élève-sherpa »), ainsi qu'à une modalité spécifique de travail en binôme où les élèves jouent différents rôles (ex. acteur et observateur-conseiller), cette dernière utilisée par Tom pour gérer l'hétérogénéité des classes en organisant l'entraide entre élèves. On peut considérer que ces pratiques sont étayées par les connaissances professionnelles de Tom liées à l'organisation du travail de groupe : alternance du travail collectif et individuel ou travail de groupe avec des rôles spécifiques assignés aux élèves.

D'un autre côté, les orchestrations observées dans la séquence intégrant le jeu présentaient une différence dans la configuration didactique par rapport aux orchestrations que Tom avait mises en place auparavant. En effet, avant l'expérimentation, Tom utilisait régulièrement des tablettes dans des moments d'entraînement de connaissances nouvellement acquises. Les élèves étaient alors dispersés dans la classe et travaillaient individuellement. Comme le jeu a été utilisé pour apprendre une nouvelle connaissance, Tom souhaitait avoir tous les élèves près de lui pour pouvoir suivre leur travail. Pour cette raison, il a essayé différentes configurations avant d'adopter celle qui permettait le travail individuel des élèves et une observation aisée pour une intervention rapide. Ceci est un exemple du développement de schème d'utilisation chez Tom lors de l'utilisation de la ressource (instrumentation).

3.3. Discussion et conclusion

L'analyse du cas de l'appropriation de la ressource par Tom en utilisant le modèle proposé (Figure 17) montre la pertinence de considérer différentes phases dans le processus d'appropriation, en particulier la pré-appropriation et l'appropriation originelle. Rousson (2017) a situé la phase de pré-appropriation en amont de l'utilisation de la ressource, en suivant Carroll et al. (2002) ou De Vaujany (2006). Il s'agit d'une première rencontre de l'enseignant avec la ressource où les premières perceptions émergent. Chez Tom, cette phase a enclenché le processus d'appropriation (appropriation originelle) de la ressource. Il a pu alors l'évaluer de manière plus approfondie à travers sa mise en œuvre en classe.

L'appropriation nécessite une flexibilité de la ressource permettant les processus d'instrumentalisation. En effet, dans le cas de Tom, la possibilité de décider de l'ordre des activités et surtout la possibilité de proposer une activité spécifique qui favorise la stratégie correspondant à l'objectif d'apprentissage de Tom ont été décisives pour l'appropriation de la ressource par Tom. D'autre part, l'appropriation des ressources contribue au développement professionnel de l'enseignant. Dans le cas de Tom, la nature de la ressource (un jeu avec des activités de difficulté croissante nécessitant une mise en œuvre en plusieurs séances) a conduit l'enseignant à penser à une évaluation formative continue pour suivre les progrès des élèves, à chercher les orchestrations instrumentales les plus appropriées et à adapter ses interventions pédagogiques.

Il semble que des connaissances mathématiques et didactiques solides liées au savoir en jeu dans la ressource jouent un rôle important dans le processus d'appropriation des enseignants. Dans le cas de Tom, ces connaissances sont apparues comme clés, lors de la phase de pré-

appropriation, pour la compréhension des choix de conception de la ressource et du potentiel d'apprentissage qui en résulte, ce qui lui a permis de prendre des décisions appropriées.

La thèse de Rousson (2017) ouvre de nombreuses perspectives pour des recherches ultérieures dans plusieurs directions qui concernent en particulier :

- l'analyse de ressources numériques pour identifier des éléments ou des caractéristiques facilitant leur appropriation. La flexibilité permettant une instrumentalisation de la ressource semble être une telle caractéristique. La dimension didactique proposant une « analyse a priori » de la ressource (explicitation de l'objectif d'apprentissage, des intentions des concepteurs, des choix didactiques avec leur justification...) pourrait également aider les enseignants à se l'approprier ;
- les facteurs relatifs aux enseignants. Dans sa thèse, Rousson (2017) a interrogé les connaissances professionnelles des enseignants en se référant au modèle TPACK (Mishra & Koehler, 2006) et leur influence sur les processus d'appropriation. Néanmoins, ses résultats mettent en évidence d'autres facteurs tels que le rapport de l'enseignant aux technologies numériques incluant des croyances, des valeurs ou des attitudes qui vont au-delà des éléments de nature cognitive ;
- la possibilité d'identifier et décrire des niveaux d'appropriation. En effet, les études de cas réalisées par Rousson (2017) montrent des processus d'appropriation différents et la question se pose si ces diverses manières de s'approprier une ressource peuvent être conceptualisées sous forme de niveaux d'appropriation. La notion de degré de fidélité (*degree of fidelity*) de la mise en œuvre de la ressource introduite par Clark-Wilson, Hoyles et Noss (2015) semble faire écho à ce questionnement.

-

Conclusion et perspectives

Cette note de synthèse a été construite autour de deux problématiques qui sont au cœur de nos travaux de recherche : l'une liée aux ressources et à leur qualité et l'autre concernant les pratiques des enseignants de mathématiques en lien avec des ressources et notamment leur appropriation. Nous présentons dans cette dernière section quelques perspectives que nos travaux ouvrent et montrons comment ces problématiques convergent vers une nouvelle direction de recherche qui se propose d'étudier les compétences numériques des enseignants de mathématiques.

Ressources numériques : conception et qualité

Les travaux autour de la qualité de ressources de géométrie dynamique, exposés dans le chapitre 2 de cette note de synthèse, ont nourri et continuent d'alimenter nos projets de recherche. La problématique de la qualité de ressources est toujours, bien qu'implicitement, au centre des projets qui comportent une dimension de conception ou co-conception de ressources. Elle conduit à la proposition d'un modèle de ressources qui joue le rôle d'un outil conceptuel pour à la fois guider le processus de conception de ressources et permettre leur partage au sein de la communauté du projet en question, voire au-delà.

Ainsi, par exemple dans le cadre du projet Tactiléo, le modèle de ressources numériques, destiné à servir de guide pour la conception de situations d'apprentissage instrumentées avec des interfaces tactiles, comprend quatre dimensions : savoir, enseignant, élève et interface tactile (Bécu-Robinault et al., 2016). La dimension « savoir » décrit le savoir en jeu qui constitue l'objectif d'apprentissage et analyse la manière dont ce savoir est supposé être acquis à travers les activités proposées dans la ressource. Ce volet du modèle est inspiré des dimensions « contenu » et « didactique » de la qualité de ressources (cf. section 2.2.2). La dimension « enseignant » fournit une analyse didactique de la situation d'apprentissage en termes de variables didactiques pour aider les enseignants à saisir les enjeux et le potentiel d'apprentissage de la situation. Ce volet s'appuie sur les dimensions « instrumentale » et « didactique » de la qualité de ressources. La dimension « élève » aide à construire la situation d'apprentissage en tenant compte des différents niveaux d'appropriation des artefacts numériques par les élèves (Gonçalves, 2013). Ici, on retrouve également l'influence des dimensions « instrumentale », « didactique » et « pédagogique » de la qualité de ressources. Enfin, la dimension « interface tactile » décrit les fonctionnalités des interfaces tactiles qui peuvent être mobilisées dans la conception de situations d'apprentissage et leurs potentialités pour les apprentissages visés. Ce volet puise dans les dimensions « technique », « instrumentale » et « valeur ajoutée de la technologie ».

Dans le projet PREMaTT³³, un modèle de ressources est né à partir d'un travail collaboratif entre enseignants et chercheurs dans le but de décrire une situation d'apprentissage, mais également de rendre compte « comment ça a marché » dans des classes (Alturkmani, 2019, p. 32). Ce modèle intègre une « carte d'identité » de la ressource qui décrit brièvement la

33 Penser les Ressources de l'Enseignement des Mathématiques dans un Temps de Transitions, <http://ife.ens-lyon.fr/ife/recherche/groupe-de-travail/prematt>

ressource (dimension « métadonnées »), un « scénario » comportant un volet élève et un volet enseignant, qui présente de manière détaillée les activités mathématiques proposées et leur analyse a priori, et un « retour d'expérience » qui propose des éléments d'une analyse a posteriori appuyée éventuellement sur des extraits de productions d'élèves. Ce dernier élément est apparu comme ayant une importance particulière pour soutenir l'appropriation de la ressource par des enseignants non concepteurs.

Ces deux exemples de modèles de ressources s'inspirent des dimensions de qualité que nous avons définies pour les ressources de géométrie dynamique. Cependant, ils comportent des spécificités dans la mesure où ils répondent à des besoins particuliers des projets de recherche au sein desquels ils ont été conçus. Se pose alors naturellement la question des dimensions partagées par les différents types de ressources afin de proposer un modèle qui comporterait un « tronc commun » pertinent pour tout type de ressource auquel s'ajouteraient éventuellement d'autres dimensions plus spécifiques soit de la technologie numérique mobilisée ou de la finalité de la ressource par exemple.

Des travaux récents portant sur l'analyse de manuels numériques proposent de nouveaux outils conceptuels pour aborder la notion de qualité, par exemple la notion de *connectivité* (Pepin et al., 2016). Les auteurs distinguent la connectivité au niveau macro (ex. liens entre des parties du manuel et des pages web) et au niveau micro (ex. liens entre différentes représentations d'un concept mathématique établis par les auteurs du manuel). Ces travaux ont conduit à la proposition de caractérisation de la qualité de ressources numériques par les six attributs suivants (Pepin, 2020, p. 25) :

- Pertinence (*relevance*) par rapport à l'objectif et à la situation dans laquelle l'utilisation de la ressource s'inscrit ;
- Cohérence (*coherence*) évaluée par le nombre et la nature des liens avec les programmes ou la progression ;
- Praticité (*practicality*) en termes de facilité d'utilisation dans la situation donnée. Cet aspect rejoint la notion d'utilisabilité de Tricot et al. (2003) ;
- Efficacité (*effectiveness*), c'est-à-dire est-ce que la ressource produit les effets escomptés. Cet aspect se rapproche de la notion d'utilité de Tricot et al. (2003) ;
- Evolutivité (*scalability*), c'est-à-dire la possibilité d'adapter la ressource à des usages dans divers contextes ;
- Pérennité (*sustainability in context*) de la ressource dans le temps.

Ces travaux proposent des approches complémentaires de la qualité de ressources dont l'articulation avec nos propres approches, plus fines aux niveaux didactique et instrumental notamment, constituent des pistes prometteuses pour repenser la conceptualisation de la notion de qualité de ressources numériques.

Pratiques des enseignants avec des ressources : appropriation et usages

Une enquête sur les pratiques numériques des enseignants de mathématiques que nous avons menée récemment a montré un décalage dans leur utilisation fréquente de ressources numériques pour préparer les enseignements (en dehors de la classe) et leur utilisation épisodique, voire inexistante du numérique en classe (Trgalová & Tabach, 2020). Dans la période marquée par une grande disponibilité de ressources numériques et un accès facile à ces ressources, une hypothèse explicative de leur utilisation peu fréquente peut résider dans la complexité des processus d'appropriation. Comme nous avons évoqué dans le chapitre 3, selon Carroll et al. (2002), le premier niveau d'appropriation d'une ressource (première rencontre) peut conduire à sa non appropriation lorsque le sujet n'y trouve pas d'intérêt ou qu'elle ne répond pas à ses besoins. Le deuxième niveau d'appropriation (première utilisation) peut conduire à la désappropriation si le sujet décide d'abandonner la ressource, par exemple peu convaincu de son apport. Ces observations ouvrent des pistes de recherche focalisées sur des enseignants qui utilisent peu ou pas les ressources numériques en classe et qui interrogeraient les raisons de non appropriation ou désappropriation de ces ressources par ces enseignants.

Il nous semble important aussi de penser de nouvelles formes de formation des enseignants de mathématiques dans le but de soutenir des processus d'appropriation de ressources, numériques ou non. Courbon (2020) propose d'approcher l'étude de l'appropriation de ressources en questionnant leur utilité et utilisabilité (efficacité et praticité en termes de (Pepin, 2020). L'auteur affirme que le sujet ne peut transformer une ressource (artefact) en instrument que s'il la perçoit comme utile, c'est-à-dire qu'elle répond à un besoin. Elle doit également être perçue comme utilisable, c'est-à-dire adaptable et facile à utiliser dans le contexte du sujet. L'articulation de ces outils conceptuels empruntés de l'ergonomie cognitive avec le modèle d'appropriation proposé par Rousson (2017) constitue une autre piste de recherche que nous souhaitons poursuivre, en particulier au sein de deux projets internationaux³⁴ soumis récemment. Ces projets visent³⁴ à concevoir des ressources pour le développement de la pensée algébrique et à les diffuser auprès de référents mathématiques de circonscription³⁵ tout en observant finement les processus d'appropriation de ces ressources.

Les travaux de Rousson (2017) ont mis en évidence que d'autres facteurs en plus des connaissances professionnelles des enseignants ont un impact sur les processus d'appropriation de ressources. Ceci nous conduit à interroger les compétences numériques des enseignants de mathématiques qui intègrent des connaissances, des savoir-faire et des attitudes (voir par exemple Ala-Mutka, 2011). Dans le paragraphe suivant, nous présentons les grandes lignes de cette problématique qui articule le questionnement de qualité des ressources avec celui de leur appropriation.

34 Projet PRePA-Maths (Pratiques et Ressources pour développer la Pensée Algébrique en Mathématiques), appel à projets UdL-FAPESP 2020.

Projet APATh (Approved Practices in Algebraic Thinking), appel à projets ANR-FACEPE 2020.

35 <https://eduscol.education.fr/cid146719/referents-mathematiques-de-circonscription.html>

Compétences numériques des enseignants de mathématiques

Les recherches s'accordent sur le fait que des connaissances et des savoir-faire spécifiques sont nécessaires pour l'enseignement des mathématiques avec la technologie numérique. Pourtant, ces connaissances et savoir-faire ne sont pas définis suffisamment clairement pour aider à concevoir des formations efficaces autour du numérique. En effet, la plupart des recherches se rapportant à ce genre de formations, initiales ou continues, concluent par des résultats insatisfaisants en termes d'écart entre les attentes et les besoins des enseignants et le contenu des formations (voir par exemple Hegedus et al., 2016). Abboud-Blanchard et Emprin (2009) constatent également que « l'absence de pratiques régulières des TICE est soulignée comme étant directement liée à un problème de formation » (p. 125).

Dans notre quête de référentiels de compétences numériques des enseignants, nous avons étudié des documents officiels nationaux et internationaux dans le but de dégager des éléments définissant des connaissances spécifiques de l'utilisation du numérique dans des classes. Nous avons mis en évidence une multitude de termes utilisés dans ces documents, dont certains n'ont pas été clairement circonscrits (Tableau 15).

| | Australia | Ireland | Norway | EU | UNESCO |
|---|-----------|---------|--------|----|--------|
| Knowledge | + | + | + | | |
| Understanding | + | | | | |
| Skills | + | + | + | | |
| Competence/ competency | | | + | + | + |
| Activity as an expression of a competence | | | | + | |
| Capabilities | + | | | | |
| Practice | | + | | | |
| Confidence | | + | | | |
| Values | + | | | | |

Tableau 15. Termes utilisés dans des documents officiels pour désigner ce dont les enseignants ont besoin pour intégrer le numérique dans leurs pratiques (Tabach & Trgalová, 2020, p. 237). [NOTE. Les cellules grisées indiquent que le terme n'est pas défini dans le document]

De cette variété des termes, la notion de compétence semble être celle qui est privilégiée, en particulier dans des textes de références français relatifs aux métiers du professorat et de l'éducation³⁶.

Les compétences numériques des éducateurs (enseignants, formateurs) sont définies de manière la plus détaillée dans le cadre européen DigCompEdu (Redecker, 2017). Les 22 compétences élémentaires proposées par ce cadre sont organisées en six domaines : (1) engagement professionnel, (2) ressources numériques, (3) enseignement et apprentissage, (4) évaluation, (5) responsabilisation des apprenants (*empowering learners*), et (6) accompagnement du développement de compétences numériques des apprenants (*facilitating learners' digital competence*) (Figure 18).

36 <https://www.education.gouv.fr/le-referentiel-de-competences-des-metiers-du-professorat-et-de-l-education-5753>

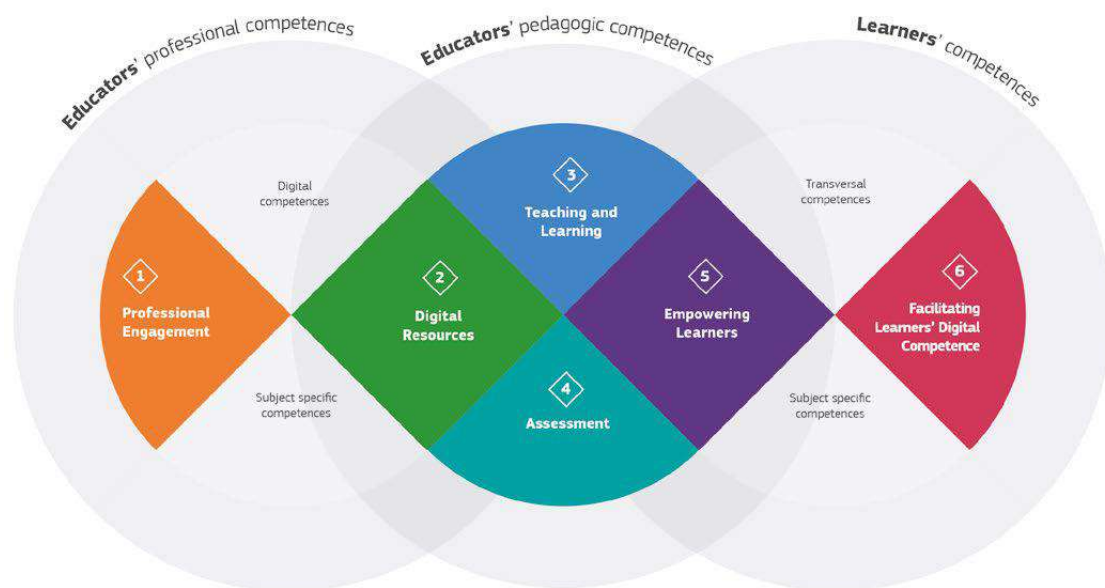


Figure 18. Cadre européen DigCompEdu définissant les compétences numériques des éducateurs (Redecker, 2017, p. 15)

Le domaine des ressources numériques apparaît au cœur des compétences numériques pédagogiques des éducateurs. Il s'agit plus particulièrement d'être capable de :

- *sélectionner des ressources numériques*. Cette compétence suppose la capacité à identifier, évaluer et sélectionner des ressources numériques pour soutenir et améliorer l'enseignement et l'apprentissage et à considérer l'objectif spécifique d'apprentissage, le contexte, l'approche pédagogique et le groupe d'apprenants lors de la sélection de ressources numériques et de la planification de leur utilisation » (p. 44, notre traduction libre) ;
- *créer et modifier les ressources numériques*. Cette compétence requiert la capacité à modifier et transformer les ressources numériques existantes ou en créer de nouvelles, tout en tenant compte de l'objectif spécifique d'apprentissage, du contexte, de l'approche pédagogique et du groupe d'apprenants (p. 46, notre traduction libre) ;

Ainsi la compétence liée à l'analyse et l'évaluation de ressources numériques, permettant aux enseignants de sélectionner les ressources les plus pertinentes et y apporter des modifications et adaptations judicieuses en vue de leur appropriation est une des compétences numériques clés des enseignants.

Par ailleurs, dans le domaine du numérique, le Référentiel des compétences professionnelles des métiers du professorat et de l'éducation (MEN, 2013) décline la compétence « Intégrer les éléments de la culture numérique nécessaires à l'exercice de son métier » comme suit :

- Tirer le meilleur parti des outils, des ressources et des usages numériques, en particulier pour permettre l'individualisation des apprentissages et développer les apprentissages collaboratifs.
- Aider les élèves à s'approprier les outils et les usages numériques de manière critique et créative.
- Participer à l'éducation des élèves à un usage responsable d'internet.
- Utiliser efficacement les technologies pour échanger et se former (MEN, 2013).

Le premier aspect de la compétence suppose la capacité à évaluer les potentialités et les limites des ressources et des outils numériques, ce qui entre en résonance avec la dimension « valeur ajoutée » de la technologie numérique. Le deuxième élément se rapproche de la dimension « didactique » qui concerne l'accompagnement des apprentissages disciplinaires et instrumentaux des élèves.

Notre projet de recherche dans cette direction cherche à proposer un cadre conceptuel permettant d'une part de définir, a priori, des compétences numériques des enseignants de mathématiques, et d'autre part, de permettre de les observer dans des pratiques de ces enseignants. Les travaux que nous avons déjà conduits à ce sujet (ex. Tabach & Trgalová, 2020, 2018 ; Trgalová & Tabach, 2018) nous amènent à faire l'hypothèse de l'importance de la *double genèse instrumentale* (Haspekian, 2011) des technologies numériques et de la nécessité à prendre en compte les *orientations* personnelles des enseignants qui, selon Schoenfeld (2011) déterminent leur prise de décisions, y compris donc concernant l'utilisation ou non du numérique dans leur enseignement. Le modèle MKT (*mathematical knowledge for teaching*) proposé par Ball et ses collaborateurs (Ball et al., 2008), que nous avons adapté à l'intégration de la technologie, est choisi pour prendre en compte de la spécificité des connaissances professionnelles des enseignants de mathématiques.

Références

- Abboud-Blanchard, M. (2013). *Les technologies dans l'enseignement des mathématiques. Etudes des pratiques et de la formation des enseignants. Synthèses et nouvelles perspectives*. Université Paris-Diderot - Paris VII. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-00846323/>
- Abboud-Blanchard, M., & Emprin, F. (2009). Pour mieux comprendre les pratiques des formateurs et de formations TICE. *Recherche et formation*, 62, 125-140.
- Adler, J. (2019). Foreword. In L. Trouche, G. Gueudet, & B. Pepin (Eds.), *The 'Resource' approach to mathematics education* (pp. v-viii). Cham: Springer.
- Adler, J. (2000). Conceptualising resources as a theme for teacher education. *Journal of Mathematics Teacher Education* 3, 205–224.
- Ainsworth, S., Bibby, P., & Wood, D. (2002). Examining the effects of different multiple representational systems in learning primary mathematics. *Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 25-61.
- Agostinho, S., Bennett, S., Lockyer, L., & Harper, B. (2004). Developing a learning object metadata application profile based on LOM suitable for Australian higher education context. *Australasian Journal of Educational Technology*, 20(2), 191–208.
- Ala-Mutka, K. (2011). *Mapping digital competence: Towards a conceptual understanding*. JRC Technical Note. Luxembourg: European Union.
- Alturkmai, M. D. (Coord., 2019). *Penser les ressources de l'enseignement des mathématiques dans un temps de transitions, 2016-2019*. Projet d'action éducative et de recherche de l'institut Carnot de l'éducation. Rapport scientifique des composantes PAE et PR.
- Argaud, H.-C., Maillard, M., Castry, N., Valesa, M.-H., Porte, E., Charras, M., & Castry, A. (1999). Placer des jetons: Utiliser la structure en lignes et colonnes pour résoudre un problème d'énumération. *Grand N*, 63, 9–23.
- 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 Mathematics Learning* 7, 245-274.
- Aslan, A. & Zhu, C. (2016). Influencing factors and integration of ICT into teaching practices of pre-service and starting teachers. *International Journal of Research in Education and Science (IJRES)*, 2(2), 359–370.
- Balacheff, N. (1993). La transposition informatique, un nouveau problème pour la didactique. In *Vingt ans de didactique des mathématiques en France – Hommage à Guy Brousseau et Gérard Vergnaud. Actes du colloque* (pp. 364-370). Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Ball, L.D., Thames, M. H., & Phelps, G. (2008). Content knowledge for teaching: what makes it special? *Journal of teacher education*, 59(5), 389-407.

- Bartolini Bussi, M. G., & Mariotti, M. A. (2008). Semiotic Mediation in the Mathematics Classroom: Artefacts and Signs after a Vygotskian Perspective. In L. English et al. (Eds.), *Handbook of International Research in Mathematics Education*. Abingdon: Routledge.
- Baudoin, J.-M. (2009). *Une proposition de grille d'analyse pour l'évaluation de la qualité des ressources de géométrie dynamique*. Mémoire de Master 2 « Ingénierie de la Cognition, de la Création et des Apprentissages : spécialité Didactique des Sciences », Université Joseph Fourier Grenoble 1.
- Bécu-Robinault, K., Daubias, P., Jolivet, S., Knibbe, C., Mégard, C., Monod-Ansaldi, R., Prieur, M., Perez, T., Sanchez, E., & Trgalová, J. (2016). *Rapport décrivant le modèle de ressources à partir des expérimentations dans les classes - novembre 2015*. Livrable D2-B, Tactiléo.
- Bennett, S. J., Lockyer, L. & Brown, I. M. (2005). Investigating the factors that influence the use of digital learning resources in the K-12 educational context. In P. Kommers & G. Richards (Eds.), *Proceedings of EDMEDIA 2005 World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications* (pp. 2391–2397). Norfolk: Association for the Advancement of Computing in Education.
- Besnier, S. (2016). *Le travail documentaire des professeurs à l'épreuve des ressources technologiques: Le cas de l'enseignement du nombre à l'école maternelle*. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale.
- Bibeau, R. (2005), Les TIC à l'école : proposition de taxonomie et analyse des obstacles à leur intégration. *EpiNet* 81. En ligne <http://www.epi.asso.fr/revue/articles/a0511a.htm>
- Bosc-Miné, C. (2014). Caractéristiques et fonctions des feed-back dans les apprentissages. *L'Année Psychologique*, 2(114), 315-353. <https://www.cairn.info/revue-l-annee-psychologique1-2014-2-page-315.htm>
- Bonnat, C., Marzin, P., Luengo, V., Trgalová, J., Chaachoua, H., & Bessot, A. (à paraître). Proposition d'un modèle pour la compréhension des décisions didactiques d'un enseignant. *Education & Didactique*.
- Briand, J. (1999). Contribution à la réorganisation des savoirs pré-numériques et numériques. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 19(1), 41–76..
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques* (Textes rassemblés et préparés par Nicolas Balacheff, Martin Cooper, Rosamund Sutherland, Virginia Warfield). Grenoble : La pensée sauvage.
- Butler, B., Sproull, L., Kiesler, S., & Kraut, R. (2002). Community effort in online groups: who does the work and why? In S. Weisband & L. Atwater (Eds.), *Leadership at a distance*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Camilleri, A. F., Ehlers, U. D., & Pawlowski, J. (2014). *State of the Art Review of Quality Issues Related to Open Educational Resources (OER)*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

- Clark-Wilson, A., Hoyles, C., & Noss, R. (2015). Scaling mathematics teachers' professional development in relation to technology –probing the fidelity of implementation through landmark activities. In Krainer, K. & Vondrová, N. (Eds.), *Proceedings of the Ninth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (pp. 2333-2339). Prague: Charles University, Faculty of Education & ERME.
- Chaachoua, H., Trgalová, J., Viudez, C., Nicaud, J.-F. (2010), Une nouvelle représentation en arbre des expressions algébriques dans le micromonde Aplusix. *Petit x*, 84, 27-45.
- Cobb, P., Confrey, J., DiSessa, A., Lehrer, R. & Schauble, L. (2003). Design experiments in educational research. *Educational Researcher*, v.32, 9-13.
- Contamines, J., George, S., & Hotte, R. (2003). Approche instrumentale des banques de ressources éducatives. *Sciences et Techniques Educatives*, 10 (Hors série), 157-178.
- Courbon, L. (2020). *À quelles conditions les apports de la recherche proposés en formation de formateurs sont-ils appropriables ?* Mémoire de Master 2, INSPE et Université Claude Bernard Lyon 1.
- DBRC (Design-Based Research Collective) (2003). Design-based research: an emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8.
- De Vaujany, F. X. (2006). Pour une théorie de l'appropriation des outils de gestion : Vers un dépassement de l'opposition conception-usage. *Management & Avenir*, 9(3), 109-126.
- Del Moral, M.E., & Cernea, D. A. (2005). Design and evaluate learning objects in the new framework of the semantic web. In A. Mendez-Vila et al. (Eds.) *Recent research developments in learning technologies*. Badajoz: FORMATEX. En ligne https://static.aminer.org/pdf/PDF/000/270/611/adding_semantics_and_context_to_media_resources_to_enable_efficient.pdf
- Delvosalle, C. (2002). La qualité : des concepts à la pratique. *Pyramides*, 5, 137-154. En ligne <http://journals.openedition.org/pyramides/480>
- Donevska-Todoova, A., Trgalová, J., Schreiber, C., & Rojano, T. (In press). Quality of task-design in technology-enhanced resources for teaching and learning mathematics. In A. Clark-Wilson, A. Donevska-Todorova, E. Faggiano, J. Trgalová and H-G. Weigand (Eds.), *Mathematics Education in the Digital Age: Learning Practice and Theory*. Abingdon, UK: Routledge.
- Drijvers, P., Doorman, M., Boon, P., & van Gisbergen, S. (2010). Instrumental orchestration: theory and practice. In V. Durrand-Guerrier et al. (Eds.), *Proceedings of the Sixth CERME Congress* (pp. 1349–58). Lyon: Claude Bernard University and ERME.
- Drijvers, P., Tacoma, S., Besamusca, A., Doorman, M., & Boon, P. (2013). Digital resources inviting changes in mid-adopting teachers' practices and orchestrations. *ZDM Mathematics Education*, 45(7), 987–1001.
- Duval, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 5, 37-65.

- Ehlers, U. (2004). Quality in e-learning from a learner's perspective. *European Journal of Open and Distance Learning*, 1. http://www.eurodl.org/materials/contrib/2004/Online_Master_COPs.pdf
- Ellis, R. A., Ginns, P., & Piggott, L. (2009). E-learning in higher education: some key aspects and their relationship to approaches to study. *Higher Education Research & Development*, 28(3), 303-318.
- Essonnier, N., Kynigos, C., & Trgalová J. (2019). Social creativity in the collaborative design of a digital resource embedding mathematics into a story. In U. T. Jankvist, M. van den Heuvel-Panhuizen, & M. Veldhuis (Eds.), *Proceedings of the Eleventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (pp. 4218-4225). Utrecht: Freudenthal Group & Freudenthal Institute, Utrecht University and ERME.
- Essonnier, N., & Trgalová, J. (2018). Design principles supported by the collaborative design of mathematical digital resources within a CoI. In A. Clark-Wilson et al. (Eds., 2018). *Proceedings of The Fifth ERME Topic Conference (ETC 5) on Mathematics Education in the Digital Age (MEDA)* (pp. 75-82), Copenhagen: University of Copenhagen and ERME.
- Georget J.-P. (2009). Apport de l'ergonomie des EIAH pour l'analyse et la conception de ressources. In A. Kuzniak & M. Sokhna (Eds.), *Enseignement des mathématiques et développement : enjeux de société et de formation – Actes du colloque EMF2009* (GT6, pp. 843–852). Dakar : Université Cheikh Anta Diop et Espace Mathématique Francophone.
- Gonçalves, C. (2013). *Appropriation & Authenticity - A didactical study on students' learning experience while playing a serious game in epidemiology*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- Grimand, A. (2012). L'appropriation des outils de gestion et ses effets sur les dynamiques organisationnelles: Le cas du déploiement d'un référentiel des emplois et des compétences. *Management & Avenir*, 4(54), 237–257. <https://www.cairn.info/revue-management-et-avenir-2012-4-page-237.htm>
- Guerrero, S. (2005). Teacher knowledge and a new domain of expertise : pedagogical technology knowledge. *Journal of educational computing research*, 33(3), 249-267.
- Gueudet, G., Pepin, B., Courtney, S., Kock, Zggr-Jan, Misfeldt, M., & Lindenskov Tamborg, A. (In press). Digital platforms for mathematics teacher curriculum design: affordances and constraints. In A. Clark-Wilson, A. Donevska-Todorova, E. Faggiano, J. Trgalová and H-G. Weigand (Eds.), *Mathematics Education in the Digital Age: Learning Practice and Theory*. Abingdon, UK: Routledge.
- Gueudet, G., & Trouche, L. (2011), Développement de l'Internet dans l'enseignement : vers un essor du collectif ? In C. Develotte, & F. Poyet (Dir.), *L'éducation à l'heure du numérique, état des lieux, enjeux et perspectives* (pp. 145-165). Lyon : IFÉ-ENSL.
- Gueudet, G., & Trouche, L. (2008). Du travail documentaire des enseignants : genèses, collectifs, communautés. Le cas des mathématiques. *Education et didactique*, 2(3), 7-33.
- Haspekian, M. (2011). The co-construction of a mathematical and a didactical instrument. In M. Pytlak, T. Rowland, & E. Swoboda (Eds.), *Proceedings of the 7th congress of the*

- European Society for Research in Mathematics Education (CERME7)* (pp. 2298–2307). Rzeszów, Poland: University of Rzeszów.
- Healy, L. (2000). Identifying and explaining geometrical relationship: Interactions with robust and soft Cabri constructions. In T. Nakahara & M. Koyama (Eds.), *Proceedings of the 24th PME Conference* (pp. 103-117), Hiroshima, Japan.
- Hegedus, S., Laborde, C., Brady, C., Dalton, S., Siller, H. S., Tabach, M., Trgalová, J., & Moreno-Armella, L. (2016). *Uses of technology in upper secondary mathematics education*. ICME-13 Topical Surveys. Cham: Springer.
- Hendriks, M., Ippersiel, M., Kortenkamp, U., Kreis, Y., Laborde, C., Pech, P., Recio, T., & Wasserman, A. (2008). *Status quo report on DGS usage*. Deliverable D5.1. ECP 2006 EDU 410016 Intergeo.
- Hoyles, C., Noss, R., Vahey, P., & Roschelle, J. (2013). Cornerstone Mathematics: designing digital technology for teacher adaptation and scaling. *ZDM – Mathematics Education*, 45, 1057-1070.
- Jahn, A. P., Trgalová, J., & Soury-Lavergne, S. (2008). Analyse de ressources pédagogiques et amélioration de leur qualité : le cas de la géométrie dynamique. In *Anais do 2e Simposio Internacional de Pesquisa em Educacao Matematica (SIPEMAT)* (Vol. 1, pp. 1-12). Recife (Brazil).
- Jolivet, S. (2018). *Modèle de description didactique de ressources d'apprentissage en mathématiques, pour l'indexation et des services EIAH*. Thèse de doctorat, Université Grenoble –Alpes.
- Kastens, K., & Tahirkheli, S. (2005). *The State of DLESE: Collections*. White Paper.
- Kawachi, P. (2014). *Quality Assurance Guidelines for Open Educational Resources: TIPS Framework*. Version 2.0. New Delhi: CEMCA.
- Kortenkamp, U., Blessing, A.M., Dohrmann, C., Kreis, Y., Libbrecht, P., & Mercat, C. (2009), Interoperable interactive geometry for Europe – First technological and educational results and future challenges of the Intergeo project. In V. Durrand-Guerrier et al. (Eds.), *Proceedings of the CERME6 conference* (pp. 1150-1160), Lyon, France.
- Kynigos, C., Essonnier, N., & Trgalová, J. (2020). Social creativity in the education sector: The case of collaborative design of digital resources in mathematics. *Creativity Research Journal*, 32(1), 17-29.
- Laborde, C. (2002). Integration of technology in the design of Geometry tasks with Cabri-Geometry. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 6, 283–317.
- Le Moigne, J.-L. (2006). *La théorie du système général. Théorie de la modélisation* (5e édition). Paris : Presses Universitaires de France.
<http://www.mcxapc.org/inserts/ouvrages/0609tsgtm.pdf>
- Loffredo, M. (2017). *Modes de circulation des ressources éducatives, et en particulier des REL : Choix et conception de ressources par les enseignants*. Rapport STEF dans le cadre de la convention DNE. En ligne

https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Numerique/98/2/LOFFREDA_Rapport_DNE_REL_et_ressources_educatives_STEF_mars17_750982.pdf

- Mahé, A., & Noël, E. (2006). Description et évaluation des ressources pédagogiques : Quels modèles? *Colloque TICE Méditerranée*, Gênes. <https://www.researchgate.net/publication/237530555>
- MEN – Ministère de l'éducation nationale (2013). *Le Bulletin officiel n°30 du 25 juillet 2013*. https://www.education.gouv.fr/bo/13/Hebdo30/MENE1315928A.htm?cid_bo=73066
- Metros, S. E. (2005). Learning Objects: A Rose by Any Other Name... *EDUCAUSE Review* 40(4), 12-13. <https://er.educause.edu/-/media/files/article-downloads/erm05410.pdf>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A new framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054.
- Nicaud, J.-F., Trgalová, J., Essonnier, N., & Viudez, C. (2016). TETRISQUIZ: games for learning mathematics. *13th International Conference on Mathematics Educations (ICME 13)*. Hamburg, Germany.
- Nicolas, X., & Trgalová J. (2019). A virtual environment dedicated to spatial geometry to support the development of vision in space. In U. T. Jankvist, M. van den Heuvel-Panhuizen, & M. Veldhuis (Eds.), *Proceedings of the Eleventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (pp. 2884-2891). Utrecht: Freudenthal Group & Freudenthal Institute, Utrecht University and ERME.
- Pepin, B. (2020). Quality of (digital) resources for curriculum innovation. In A. Donevska-Todorova et al. (Eds.), *Proceedings of the Tenth ERME Topic Conference (ETC 10) on Mathematics Education in the Digital Age (MEDA)* (pp. 19-26). Linz: Johannes Kepler University and ERME.
- Pepin, B., Gueudet, G., Yerushalmy, M., Trouche, L., & Chazan, D. (2016). E-textbooks in/for teaching and learning mathematics: A potentially transformative educational technology. In L. English & D. Kirshner (Eds.), *Handbook of international research in mathematics education* (pp. 636–661). New York: Taylor & Francis.
- Poisard, C., Bueno-Ravel, L., & Gueudet, G. (2011). Comprendre l'intégration de ressources technologiques en mathématiques par des professeurs des écoles. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 31(2), 151–189.
- Proulx, S. (2002). Trajectoires d'usages des technologies de communication: les formes d'appropriation d'une culture numérique comme enjeu d'une société du savoir. *Annales des télécommunications*, 57(3–4), 180–189.
- Puente dura, R.R. (2006). *Transformation, technology, and education*. <http://hippasus.com/resources/tte/>
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies; approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01017462>

- Remillard, J. T. (2018). Examining teachers' interactions with curriculum resource to uncover pedagogical design capacity. In L. Fan et al. (Eds.), *Research on mathematics textbooks and teachers' resources* (pp. 69-88). ICME-13 Monographs. Cham: Springer.
- Remillard, J. T. (2005). Examining key concepts in research on teachers' use of mathematics curricula. *Review of Educational Research*, 75 (2), 211-246.
- Remillard, J., & Heck, D. J. (2014). Conceptualizing the curriculum enactment process in mathematics education. *ZDM – Mathematics Education*, 46(5), 705–718.
- Reverdy, C. (2014). *Du programme vers la classe : des ressources pour enseigner*. Dossier de veille de l'IFE n°96. <http://veille-et-analyses.ens-lyon.fr/DA-Veille/96-novembre-2014.pdf>
- Robertson, A. (2006). *Introduction aux banques d'objets d'apprentissage en français au Canada*. Rapport pour le Réseau d'enseignement francophone à distance du Canada. En ligne <http://www.refad.ca>
- Rousson, L. (2017). *Conception d'un jeu-situation numérique et son appropriation par des professeurs : le cas de l'enseignement de l'énumération à l'école maternelle*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1.
- Schoenfeld, A. H. (2011). Toward professional development for teachers grounded in a theory of decision making. *ZDM Mathematics Education*, 43, 457-469.
- Serfaty-Garzon, P. (2003). L'appropriation. In M. Segaud, J. Brun, J.-C. Driant (Eds), *Dictionnaire de l'habitat et du logement* (pp. 27–30). Paris : Editions Armand Colin.
- Sierpinska, A., Trgalová, J., Hillel, J., & Dreyfus, T. (1999). Enseignement et apprentissage de l'algèbre linéaire avec Cabri. Document du Forum de recherche. In *The Proceedings of PME 23*, (Volume 1, pp. 119–134), Université de Haïfa, Israël.
- Soury-Lavergne, S., Jahn, A. P., & Trgalová, J. (2011), I2Geo quality assessment process: a tool for teacher professional development? *The Electronic Journal of Mathematics & Technology* 5(3), 261-275.
- Tabach M., & Trgalová J. (2020). Teaching Mathematics in the Digital Era: Standards and Beyond. In B.-D. Kolikant Y., Martinovic D., & Milner-Bolotin M. (Eds.), *STEM Teachers and Teaching in the Digital Era* (pp. 221-242). Cham: Springer.
- Tabach, M. & Trgalová, J. (2019). Knowledge and skills mathematics teachers need for ICT integration: The Issue of standards. In G. Aldon & J. Trgalová (Eds.), *Technology in Mathematics Teaching: Selected papers of the 13th ICTMT Conference* (pp. 183-203). Cham: Springer.
- Tabach, M., & Trgalová, J. (2018). ICT standards for teachers: Toward a frame defining mathematics teachers' digital knowledge. In A. Clark-Wilson et al. (Eds., 2018). *Proceedings of The Fifth ERME Topic Conference (ETC 5) on Mathematics Education in the Digital Age (MEDA)* (pp. 273-280), 5-7 September 2018, Copenhagen: University of Copenhagen and ERME.

- Theureau, J. (2011). Appropriation 1, 2, 3 ou Appropriation, Incorporation & Inculturation. *Conférence journée Ergo-Idf Appropriation & Ergonomie*. Paris : CNAM. <http://www.coursdaction.fr/02-Communications/2011-JT-C136.pdf>
- Trgalová, J. (2009). Pedagogical scenario involving Aplusix educational software. *Innovación Educativa*, 9(46), 51-63.
- Trgalová, J. (1995). *Étude historique et épistémologique des coniques et leur implémentation informatique dans le logiciel Cabri-géomètre*. Thèse de doctorat. Université Joseph Fourier, Grenoble.
- Trgalová, J., & Chaachoua H. (2009), Relationship between design and usage of educational software: the case of Aplusix. In V. Durrand- Guerrier et al. (Eds.), *Proceedings of the Sixth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (pp. 1429-1438). Lyon: Claude Bernard University and ERME.
- Trgalová, J., El-Demerdash, M., Labs, O., Nicaud, J.-F. (2016), Collaborative design of educational digital resources for promoting creative mathematical thinking. *13th International Conference on Mathematics Educations* (ICME 13). Hamburg, Germany.
- Trgalová, J., & Jahn, A. P. (2013), Quality issue in the design and use of resources by mathematics teachers. *ZDM – The International Journal on Mathematics Education*, 45(7), 973–986.
- Trgalová, J., Jahn, A. P., Soury-Lavergne, S. (2009). Quality process for dynamic geometry resources: the Intergeo project. In V. Durrand- Guerrier et al. (Eds.), *Proceedings of the Sixth CERME conference* (pp. 1161-1170). Lyon: Claude Bernard University and ERME.
- Trgalová, J., & Rousson, L. (2017). Model of Appropriation of a Curricular Resource: A Case of a Digital Game for the Teaching of Enumeration Skills in Kindergarten. *ZDM - Mathematics Education*, 49(5), 769-784.
- Trgalová, J., Soury-Lavergne, S., & Jahn, A. P. (2011), Quality assessment process for dynamic geometry resources in Intergeo project: rationale and experiments. *ZDM – The International Journal on Mathematics Education* 43(3), 337-351.
- Trgalová, J., & Tabach, M. (2020). Bi-national survey on mathematics teachers' digital competences. In A. Donevska-Todorova et al. (Eds.), *Proceedings of the 10th ERME Topic Conference on Mathematics Education in the Digital Age (MEDA)* (pp. 117-124). Linz: Johannes Kepler University and ERME.
- Trgalová, J., & Tabach, M. (2018). In search for standards: Teaching mathematics in technological environment. In L., Ball, P., Drijvers, S., Ladel, H.-S., Siller, M., Tabach, & C., Vale, (Eds.), *Uses of technology in primary and secondary mathematics education* (pp. 387-397). Cham: Springer.
- Tricot, A., Plé gat-Soutjis, F., Camps, J.-F., Amiel, A., Lutz, G., & Morcillo, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. In C. Desmoulins, P. Marquet & D. Bouhineau (Eds.), *Actes de la conférence EIAH 2003* (pp. 391-402). ATIEF, INRP.

- Trouche, L. (2005a). Des artefacts aux instruments, une approche pour guider et intégrer les usages des outils de calcul dans l'enseignement des mathématiques. In *Actes de l'Université d'été de Saint-Flour : Le calcul sous toutes ses formes* (pp. 265-276). http://profmath.uqam.ca/~maheuxjf/cours/doc865m/TroucheArtefactInstruments_partieB.pdf
- Trouche, L. (2005b). Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques : nécessité des orchestrations. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 25(1), 91-138.
- Trouche, L. (2004). Managing the complexity of human/machine interactions in computerized learning environments: Guiding students' command process through instrumental orchestrations. *International Journal of Computers for Mathematics Learning*, 9, 281–307.
- Wiley, D. A. (2002). Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy. In D. A. Wiley (Ed.), *The instructional use of learning objects* (pp. 3-23). Bloomington: Agency for Instructional Technology and Association for Educational Communications & Technology.