

RESSOURCES NUMERIQUES POUR L'ÉDUCATION MATHÉMATIQUE : ÉVALUATION, QUALITÉ ET APPROPRIATION

Jana TRGALOVÁ

Haute école Pédagogique du canton de Vaud

jana.trgalova@hepl.ch

Résumé

Ce texte présente notre travail de synthèse HDR qui porte sur les questions relatives aux ressources numériques pour l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques. Il s'agit dans un premier temps de faire un tour d'horizon des travaux de recherche nationaux et internationaux pour dégager les différentes conceptualisations de la notion de ressource numérique. Nous abordons ensuite deux problématiques : celle de l'évaluation de la qualité de ressources numériques, en appui notamment sur nos travaux menés sur des ressources de géométrie dynamique, et celle d'appropriation de ressources numériques par des enseignants, appuyée sur la perspective instrumentale.

Mots clés

Ressources numériques, enseignement et apprentissage des mathématiques, qualité des ressources, appropriation

I. INTRODUCTION : RESSOURCES EDUCATIVES

Depuis une vingtaine d'années, 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)sources 2018 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.

Dans cette section introductive, nous proposons un tour d'horizon de la notion de « ressource » et de celle de « ressource numérique » pour dégager des problématiques spécifiques liées à ces dernières. Certaines de ces problématiques sont abordées dans les sections suivantes : la question de la qualité de ressources numériques (section II) et celle de l'appropriation de ressources numériques par des enseignants de mathématiques (section III). La dernière section IV propose quelques conclusions et perspectives de recherche.

1. Ressources éducatives

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 » (Reverdy, 2014, 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, etc.) ou encore l'usage qui en est fait (pour la formation, pour la classe, etc.).

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 :

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 apprendre²⁸

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.²⁹

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).

²⁸<https://www.epi.asso.fr/revue/articles/a0511a.htm>

²⁹Ibid.

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).

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 »³⁰ et qu'elles sont devenues quasiment incontournables aujourd'hui. La section suivante est consacrée à ce type de ressources.

2. Ressources numériques

Dans le milieu éducatif en lien 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 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"³¹. 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. L'expression *ressource numérique* (digital resource) 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.

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

³⁰<https://eduscol.education.fr/cid119187/presentation-acquerir-des-ressources-numeriques-pour-l-ecole.html>

³¹<https://www.ieeeeltsc.org/working-groups/wg12LOM/lomDescription/>

avec d'autres enseignants, etc. Il est cependant difficile de trouver une définition opérationnelle de ressource numérique. Le Centre collégial de développement de matériel didactique³² 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**³³.*

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 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.

3. 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 (Figure 1) :

³²Centre 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/>

³³<https://www.epi.asso.fr/revue/articles/a0511a.htm>. C'est l'auteur qui souligne.

- 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 ;
- celui 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.

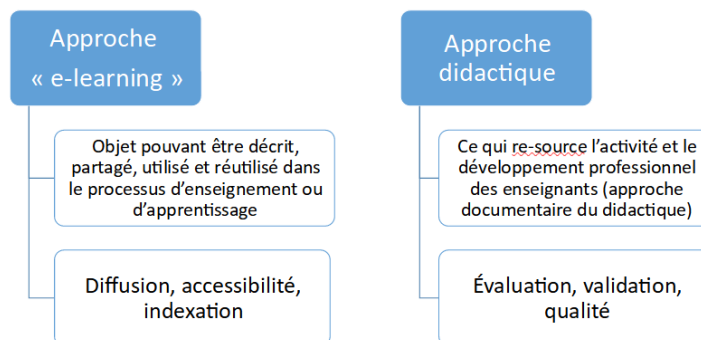


Figure 1. Deux conceptualisations de ressources numériques et problématiques associées

Les travaux de recherche ont 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 »³⁴ 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 la section suivante.

³⁴https://wikieducator.org/Les_enjeux_des_Normes_et_Standard_en_FOAD

II. QUALITE DE RESSOURCES NUMERIQUES

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).

Dans cette section, nous présentons 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 pour pouvoir situer notre approche qui porte essentiellement sur la qualité de ressources de géométrie dynamique par rapport aux recherches existantes. Nous concluons cette section en ouvrant des perspectives de ces travaux pour la formation des enseignants de mathématiques.

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, dont certaines pourront s'appliquer aux ressources éducatives. Nous mettons ensuite en évidence les dimensions de qualité de ressources éducatives émergées des travaux de recherche, ainsi que des banques de ressources éducatives.

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.)³⁵

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

³⁵<https://journals.openedition.org/pyramides/480>

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.

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.

Qualité de ressources éducatives

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

- *Efficacité*, i.e. 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 :

- *Évaluation 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 (ex. ClasseTICE³⁶, portail des usages du numérique pour le primaire), la sélection renvoie implicitement à cette thématique.
- *Évaluation par un comité scientifique (peer-review)* qui est effectué généralement avant le dépôt par un ou plusieurs experts. La banque de ressources MERLOT³⁷ utilise ce type d'évaluation et a même mis en place une formation pour des évaluateurs³⁸ afin de s'assurer que ceux-ci s'approprient les processus et les politiques de MERLOT en matière de l'évaluation par les pairs.
- *Évaluation par des utilisateurs* qui ont la possibilité d'évaluer les ressources par une note (ex., on peut voter pour les ressources sur ClasseTICE de 1 à 5) ou par un commentaire libre (ex., sur Edupass³⁹ on peut laisser un commentaire sur une ressource en s'identifiant avec un nom et une adresse de messagerie).
- *Évaluation croisée* qui combine deux scénarios, 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.

³⁶<https://classetice.fr/>

³⁷<https://www.merlot.org/merlot/index.htm>

³⁸http://info.merlot.org/merlothelp/topic.htm#t=MERLOT_Peer_Review_Information.htm

³⁹<https://edupass.hypotheses.org/>

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).

Selon les auteurs, ces évaluations s'appuient sur des critères « documentaires », i. e., 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, 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).

MERLOT⁴⁰ 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, efficacité potentielle de la ressource comme un outil d'enseignement et facilité d'utilisation. Chaque critère requiert une évaluation globale (ex., "Overall, the quality of content is very high"⁴¹) ainsi qu'une évaluation plus détaillée en répondant à des items associés (avec positionnement de 5 – excellent à 1 – faible) :

- 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 (Figure 2) : une approche 'qualité produit' qui porte sur 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).

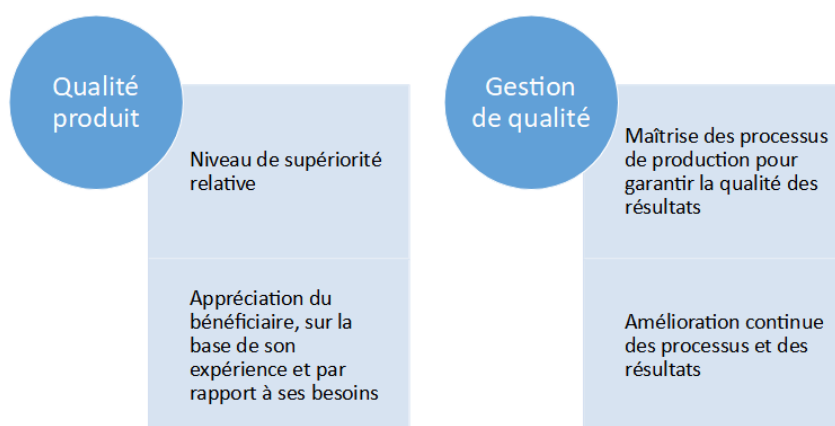


Figure 2. Deux approches du concept de qualité

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 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

⁴⁰<https://www.merlot.org/merlot/>

⁴¹http://info.merlot.org/merlohelp/assets/docs/Peer_Review_form_CC_0519.pdf

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. 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).

Le projet Intergeo 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.

Dans ce qui suit, nous présentons le dispositif de démarche qualité que nous avons élaboré et mis en place. 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 qui sont également présentés dans cette section.

Démarche qualité, le cas de la plateforme i2geo.net

Nos réflexions sur la question de qualité de ressources au sein du projet Intergeo portaient 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 (ex. proposer un scénario pédagogique précis) et « moins bonne » selon d'autres (ex. 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, le dispositif propose une évaluation croisée combinant des évaluations par des experts avec celles des utilisateurs. Les différentes évaluations d'une même ressource sont agrégées selon un algorithme⁴² pour donner lieu à une « note » sous forme d'un nombre d'étoiles (de 1 à 4) (Figure 3). 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.

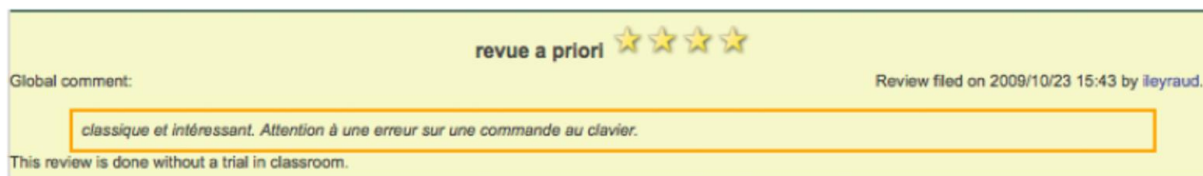


Figure 3. Exemple du résultat de l'évaluation d'une ressource sur la plateforme i2geo.net (Mercat et al., 2009, p. 48)

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

Critères de qualité de ressources de géométrie dynamique

Précisons tout d'abord que les critères présentés 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 et 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.

⁴²Cet 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).

Le questionnaire prend en considération neuf dimensions d'une ressource (Figure 4) 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).

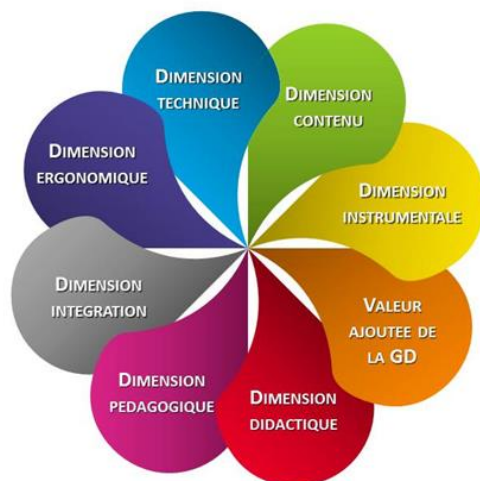


Figure 4. Dimensions d'une ressource de géométrie dynamique (hormis la dimension métadonnées liée à la plateforme i2geo.net)

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 aux dimensions instrumentale, valeur ajoutée de la GD, didactique et pédagogique, ainsi que les fondements théoriques qui nous ont conduites à proposer ces critères.

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.

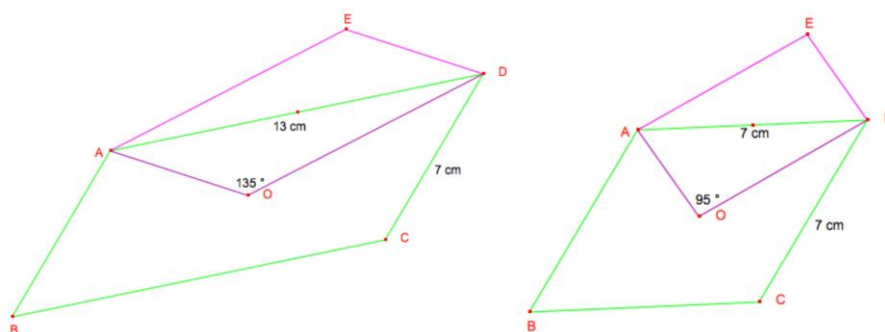


Figure 5. Deux parallélogrammes dynamiques, ABCD et AODE, O étant l'intersection des diagonales de ABCD

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 1 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 1. Critères de qualité relatifs à la dimension instrumentale de la ressource

Dimension 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 rôles 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 de 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 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 nécessaires pour pouvoir les appréhender (Duval, 1993). Selon l'auteur, l'intérêt de pouvoir disposer de multiples représentations d'un même objet permet notamment d'éviter de le confondre avec sa représentation. De plus, « la coordination de plusieurs registres de représentation sémiotique apparaît fondamentale pour une appréhension conceptuelle des objets » (ibid., p. 40). L'une des potentialités des technologies numériques réside dans la possibilité d'utiliser diverses représentations reliées de manière dynamique. C'est le cas des environnements de GD qui proposent, en plus de la représentation géométrique/graphique des objets mathématiques, leur représentation algébrique. Les changements opérés sur l'une des représentations se répercutent sur l'autre. Le critère « multi-représentations » interroge l'exploitation (ou non) de cette potentialité dans la ressource. Le critère « utilité » questionne de manière générale l'apport de la GD pour atteindre les objectifs d'apprentissage visés. Le Tableau 2 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 2. Critères de qualité relatifs à la dimension valeur ajoutée de la GD

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 ex. 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 (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 »).

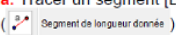
Du point de vue de l'enseignant, nous proposons de questionner la présence d'éléments destinés à soutenir une utilisation efficace et efficiente de la ressource en classe :

- 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 »).

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
.
- Tracer un carré ABCD (utiliser .
- Créer un curseur r allant de 0 à 20 avec pour incrément 0,01 (utiliser .
- Tracer le cercle de centre D et de rayon r
.
- Nommer E et F ses points d'intersection avec les côtés du carré.
- Créer le quart de disque à l'intérieur du carré
.

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.

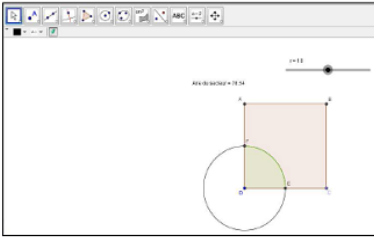


Figure 6. Activité extraite du manuel Transmath 5e (Nathan, édition 2014, p. 248)

Le Tableau 3 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 3. Critères de qualité relatifs à la dimension didactique

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 4 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 4. Critères de qualité relatifs à la dimension pédagogique

L'ensemble des critères de qualité ont donné lieu à un formulaire qui a été implémenté sur la plateforme i2geo.net. Chacune des neuf dimensions d'une ressource de géométrie dynamique peut être évaluée soit globalement, en évaluant l'item général, ou bien de manière détaillée, en évaluant plusieurs, voire tous les critères. Dans ce cas, l'évaluation de la dimension est calculée à partir de celle des critères. Les évaluateurs ont également la possibilité de donner un commentaire textuel pour argumenter ou préciser leur évaluation.

Dans la suite, nous rapportons brièvement quelques résultats saillants des expérimentations que nous avons menées auprès des enseignants avec des objectifs de recherche variés.

Évaluation de la qualité de ressources de géométrie dynamique par des enseignants : quelques résultats

Nos études empiriques ont montré des usages différents du formulaire d'évaluation de ressources 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 les dimensions de ressources qui sont rarement interrogées. Le formulaire a ainsi été perçu comme une aide à l'analyse de ressources dans une perspective de leur utilisation en classe ; autrement dit comme une aide à l'appropriation de ressources analysées (la section suivante est dédiée à cette problématique).

En revanche, les observations des traces des comportements des 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 permettent d'expliquer 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 de la communauté i2geo 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 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 de la communauté partenaires du projet Intergeo, qui ont réalisé ces évaluations dans le cadre du projet. 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., 2002⁴³)

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 de 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.

⁴³Page 7 dans la version en ligne, https://www.cs.cmu.edu/~kiesler/publications/2008pdfs/2008_Community-effort-groups.pdf

III. APPROPRIATION DE RESSOURCES NUMERIQUES

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, 2018). 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 qui suit, nous revenons sur ces travaux, après avoir relaté comment le concept d'appropriation est abordé notamment en sciences sociales et en sciences de gestion.

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 technocentrée 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 considérée 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'usager. (p. 182)

Carroll et al. (2002), proposent un modèle de l'appropriation de la technologie à trois niveaux 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.

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. Dans la suite, nous présentons un cadre proposé par Rousson dans sa thèse pour étudier ces processus et des principaux résultats obtenus dans une étude de cas.

2. Appropriation de ressources numériques par des enseignants

Comme nous l'avons plus haut, 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) développée pour mieux comprendre les interactions entre un sujet et un outil. Cette approche 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 dirigée 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, 2005). L'auteur introduit alors 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 (2005) est

l'agencement systématique 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 7 présente le modèle d'appropriation d'une ressource par un enseignant dans la perspective d'une mise en œuvre dans la classe :

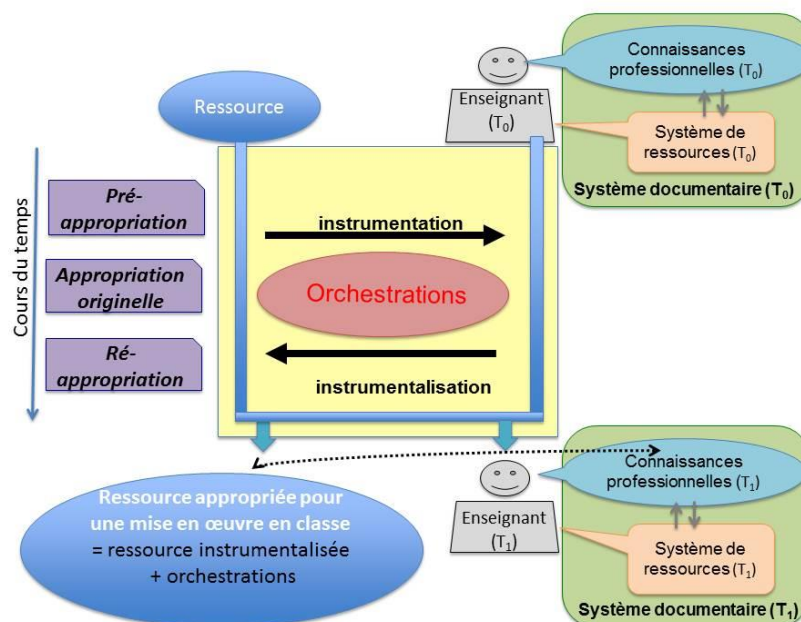


Figure 7. Schéma du processus d'appropriation d'une ressource par un enseignant (adapté de (Rousson, 2017, p. 212))

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 étaient impliqués dans 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. Dans la suite, nous présentons quelques résultats de cette étude.

L'analyse du cas de l'appropriation de la ressource par un des enseignants, Tom, n'ayant pas participé à la conception du jeu en utilisant le modèle proposé (Figure 7) 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. Dans le cas de Tom, la possibilité de décider de l'ordre des activités et de proposer une activité spécifique qui favorise la stratégie correspondant à son objectif d'apprentissage 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.

IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Notre note de synthèse a été construite autour de deux problématiques 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. Dans cette section nous évoquons quelques perspectives que nos travaux ouvrent.

1. Ressources numériques : conception et qualité

Les travaux autour de la qualité de ressources de géométrie dynamique (section II), 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. 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 PREMaTT1, 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 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 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.

2. 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 évoqué dans la section III, 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. 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.

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 (ex. Ala-Mutka, 2011). Le paragraphe suivant présente les grandes lignes de cette problématique articulant le questionnement de qualité des ressources et de leur appropriation.

3. 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). 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 ; 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.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 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.

- 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.
- 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.
- 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.
- BIBEAU, R. (2005). Les TIC à l'école : proposition de taxonomie et analyse des obstacles à leur intégration. *EpiNet* 81. <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>
- 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 (Ed.), *Leadership at a distance: research in technologically-supported work* (pp. 171–194). NYJ: Lawrence Erlbaum Associates/Taylor Francis.
- 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.
- CARROLL, J., HOWARD, S., PECK, J., & MURPHY, J. (2002). A Field Study of Perceptions and Use of Mobile Telephones by 16 to 22 Year Olds. *The Journal of Information Technology Theory and Application (JITTA)*, 4(2), 49–61.
- CCDMD (2003). *Réaliser des ressources d'enseignement et d'apprentissage informatisées*. <https://www.ccdmd.qc.ca/system/files/rea-guide.pdf>
- 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.
- 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.
- 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.
- DELVOSALLE, C. (2002). La qualité : des concepts à la pratique. *Pyramides*, 5, 137–154. <http://journals.openedition.org/pyramides/480>
- 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.
- DUVAL, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 5, 37–65.
- 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.
- 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.
- HOYLES, C., NOSS, R., VAHEY, P. et al. (2013). Cornerstone Mathematics: designing digital technology for teacher adaptation and scaling. *ZDM Mathematics Education* 45, 1057–1070.
- JOLIVET, S. (2018). *Modèle de description didactique de ressources d'apprentissage en mathématiques, pour l'indexation et des services ELAH*. Thèse de doctorat, Université Grenoble – Alpes.
- 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.
- 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.
- MAGNIANTE-ORSOLA, C. (2011). Étude du processus d'appropriation de ressources par des professeurs des écoles enseignant les mathématiques : entre travail au quotidien et développement des pratiques. *Le travail enseignant au XXI^e siècle Perspectives croisées : didactiques et didactique professionnelle*. Colloque international INRP.
- MAHE, A., & NOËL, E. (2006). Description et évaluation des ressources pédagogiques : Quels modèles? *Colloque TICE Méditerranée*, Gênes. <https://www.researchgate.net/publication/237530555>
- MAR, A. (2013). 7 definitions of quality. *Simplicable*. <https://business.simplicable.com/business/new/7-definitions-of-quality>
- MERCAT, C., HAŠEK, R., LEISTENSCHNEIDER, M., PECH, P., RECIO, T., SOURY-LAVERGNE, S., & TRGALOVÁ, J. (2009). *Report on best practices for the use of DGS content*. Deliverable n°6.2, Intergeo European project.
- MISHRA, P., & KOEHLER, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A new framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054.
- 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.
- 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.
- 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. <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 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.
- 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.
- 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., & 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.
- TROUCHE, L. (2005). 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.