



HAL
open science

Evaluation formative et démarche d'investigation en mathématiques : une étude de cas

Céline Lepareur, Michèle Marie Renée Gandit, Michel Grangeat

► To cite this version:

Céline Lepareur, Michèle Marie Renée Gandit, Michel Grangeat. Evaluation formative et démarche d'investigation en mathématiques : une étude de cas. *Éducation & Didactique*, 2018, Education & didactique, volume 11 (n°3), pp.101. 10.4000/educationdidactique.2857 . halshs-02021829

HAL Id: halshs-02021829

<https://shs.hal.science/halshs-02021829v1>

Submitted on 16 Feb 2019

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

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

Evaluation formative et démarche d'investigation en mathématiques : une étude de cas

Céline Lepareur ⁽¹⁾, Michèle Gandit ⁽²⁾ & Michel Grangeat ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Univ. Grenoble Alpes
Laboratoire des Sciences de l'Éducation
⁽²⁾ Univ. Grenoble Alpes

Résumé :

Notre recherche vise à comprendre les effets d'une formation de type collaboratif sur la transformation des pratiques d'une enseignante et l'activité des élèves. Plus spécifiquement, nous analysons les effets de cette formation sur la mise en œuvre d'une évaluation formative dispensée dans le cadre d'un enseignement de mathématiques fondé sur l'investigation (EMI) ainsi que sur l'autorégulation des apprentissages des élèves. En nous appuyant sur une classification des pratiques d'évaluation formative et un modèle EMI, nous proposons un cadre méthodologique pour identifier et analyser ces effets sur l'évolution des pratiques et des conceptions d'une enseignante. L'étude met en évidence des effets sur ces deux éléments et montre aussi que ces changements s'inscrivent dans des temps longs, supérieurs à deux ans, et dans des dispositifs collectifs de formation.

Mots-clés : Evaluation formative, autorégulation, travail collaboratif, Enseignement de Mathématiques fondé sur l'Investigation (EMI)

Formative assessment and inquiry-based in mathematics: a case study

Abstract:

Our research aims at understanding the effects of a collaborative training on the transformation of practices of a teacher and students activity. More specifically, we analyze the effects of the implementation of formative assessment provided as part of inquiry-based teaching of mathematics (EMI) and self-regulated learning. Based on a classification of practices specific to formative assessment and on an EMI model, we propose a methodological framework to identify and analyze these effects on the evolution of practices and conceptions of a teacher. The study highlights the long-lasting effects of these two elements (over two years) and also shows their involvement in collective training plan.

Keywords: Formative assessment, self-regulation, collaborative work, inquiry-based teaching of mathematics

Contexte de la recherche

En France, l'Enseignement des Sciences Fondé sur l'Investigation (ESFI) fait directement l'objet de prescriptions officielles dans les programmes de collège depuis 2005. Des études se succèdent pour tenter de caractériser la façon dont les enseignants de sciences et de mathématiques s'approprient cette démarche et la mettent effectivement en œuvre dans leurs classes (cf. Scientix¹). Calmettes (2009) souligne la variabilité des pratiques d'enseignement dans la mise en œuvre de ces démarches, ainsi que les écarts existant entre la demande institutionnelle et son implémentation dans les classes. Il s'ensuit un besoin de formation des enseignants qui conduit à des recherches sur la conception et la mise en œuvre de formations ainsi qu'à l'évaluation de leurs effets (Mathé, Méheut, & De Hosson, 2008).

Dans cette perspective, le projet de recherche européen ASSIST-ME (Assess Inquiry in Science, Technology & Mathematics Education) (2012-2016) enquête sur la combinaison des méthodes d'évaluation formative et sommative afin de soutenir et d'améliorer les approches fondées sur l'investigation dans l'enseignement des sciences expérimentales, de la technologie et des mathématiques. Ce projet vise la conception et la validation d'une gamme de méthodes d'évaluation pour les enseignants de sciences et les élèves. En France, ces méthodes sont testées dans le cadre d'un Lieu d'Education Associé (LéA) mis en place avec l'Institut Français d'Education (IFé). Ce LéA vise une coopération entre les chercheurs et les acteurs de terrain, il comprend des enseignants du cycle 3 (élèves de 9-13 ans, en école ou au collège) ainsi que des formateurs et chercheurs en sciences de l'éducation et en didactique des disciplines scientifiques.

L'équipe du LéA collabore durant trois ans (2012-2015) sur le thème de « l'Evaluation par Compétences dans les Démarches d'Investigation au Collège et à l'Ecole » (EvaCoDICE)². Les enseignants participent à la conception et à l'expérimentation de séances intégrant des outils d'évaluation formative selon une approche de type *DI-Formation* (Gueudet & Lebaud, 2013). Dans cette approche, les situations sont construites autour d'une question professionnelle que les participants doivent résoudre de façon collaborative. L'accent est mis sur l'évaluation par compétences dans l'objectif de modifier les conceptions des élèves sur la place de l'erreur et de valoriser les réussites de chacun. L'évolution de l'activité enseignante est étudiée dans ce contexte de démarche d'investigation, conçu comme étant favorable à l'évaluation par compétences. Dans cet article, est analysé le cas d'une enseignante de mathématiques impliquée dans ce LéA.

Ancrage théorique

Deux grandes orientations théoriques sont mobilisées : en premier lieu, l'évaluation formative en tant que levier pour favoriser l'autorégulation des apprentissages ; en second lieu, l'utilisation d'un modèle d'enseignement des mathématiques fondé sur l'investigation (EMI), lui-même référé à la théorie de l'action conjointe en didactique (Sensevy & Mercier, 2007).

¹ SCIENTIX - The community for science education in Europe. <http://www.scientix.eu>

² LéA EvaCoDICE - Académie de Grenoble <http://webcom.upmf-grenoble.fr/sciedu/evacodice>

Relations entre autorégulation des apprentissages et évaluation formative

Nous nous intéressons à la pratique de l'évaluation formative en classe de mathématiques et aux effets qu'elle est susceptible de produire sur l'autorégulation des apprentissages. Nous considérons que l'évaluation est formative si les informations qu'elle produit sont utilisées par les enseignants et les élèves pour modifier leur activité (Bell & Cowie, 2001 ; Black & Wiliam, 2009). Cette approche implique un questionnement, d'une part, sur l'élève à travers l'étude du fonctionnement de ses processus d'autorégulation mis à l'œuvre lors de l'exécution d'une tâche et, d'autre part, sur les situations d'enseignement et d'apprentissage.

Identifier l'autorégulation des apprentissages

L'autorégulation des apprentissages apparaît être un facteur prédictif de l'amélioration des résultats scolaires et de la motivation (Cosnefroy, 2011 ; Efklides, 2006 ; Laveault, 2007). En tant que composante de la métacognition, l'autorégulation des apprentissages est un processus complexe mettant en jeu de nombreux paramètres de l'activité scolaire (Grangeat, 1999). Afin d'étudier ce processus, nous prenons appui sur le modèle proposé par Carver et Scheier (1999) qui explique l'autorégulation des conduites en focalisant sur le rôle des rétroactions.

Dans ce modèle, l'autorégulation des conduites s'opère à partir des comparaisons réalisées entre un but à atteindre (standard, valeur de référence) et le résultat des actions mises en place pour l'atteindre. Les informations rétroactives (ou feedback), correspondant à des retours de l'environnement, vont guider l'autorégulation du sujet en le renseignant sur l'écart au but, l'efficacité des actions mises en place et le chemin qui lui reste à parcourir. L'autorégulation s'articule donc autour de trois composantes qui forment la boucle de feedback : (1) un objectif ou un standard à atteindre ; (2) une rétroaction permettant de rendre compte de l'écart entre l'état atteint à un moment donné et l'objectif visé ; (3) une action ou un comportement visant à réduire cet écart.

Malgré les limites qui peuvent être adressées au modèle cybernétique, pour son caractère trop systématique et réducteur en donnant la priorité aux procédures (Vial, 1997), il autorise néanmoins une première exploration des phénomènes complexes qui sont l'objet de cette étude. En le transposant aux situations de classe, notamment à des situations d'enseignement fondées sur l'investigation, il est possible d'identifier, dans les verbalisations et les comportements des élèves, les processus d'autorégulation suivants : (1) la perception du but à atteindre et les sous-buts, (2) la perception de leur état actuel lorsqu'ils s'expriment sur leur niveau de compréhension, de connaissances, d'avancée dans la tâche ou d'atteinte des critères donnés, (3) les actions visant à réduire l'écart qui se manifestent par la mise en œuvre de stratégies pour atteindre les buts.

Analyser l'évaluation formative

Ces dernières années de recherche ont été marquées par un ensemble de réflexions théoriques sur les apports de l'évaluation formative pour soutenir l'autorégulation des apprentissages (Clark, 2012 ; Hadji, 2012 ; Mottier Lopez, 2012 ; Nicol & Macfarlane-Dick, 2006 ; Wiliam, 2010). Développer une pratique d'évaluation formative revient à questionner les buts fixés aux apprenants, à recueillir des informations sur leur état initial et/ou atteint, puis à recourir à des ajustements pour qu'ils atteignent leurs objectifs (Black & Wiliam, 2009 ; Nicol &

Macfarlane-Dick, 2006 ; Laveault, 2007 ; Sadler, 1998). Les rétroactions formatives interviennent ainsi dans un processus mutuel de réajustement qui permet aux élèves de progresser à un rythme suffisant pour les motiver à autoréguler l'effort nécessaire pour progresser (Butler & Winne, 1995). Les trois composantes de l'autorégulation énoncées dans la section précédente apparaissent alors cohérentes avec la pratique d'évaluation formative.

Wiliam et Thompson (2007) conceptualisent l'évaluation formative en différentes stratégies génériques qui résultent des trois processus centraux en lien avec les visées du feedback développés par Hattie et Timperley (2007). Il s'agit d'identifier : où vont les élèves ; où en sont-ils dans leurs apprentissages ; comment peuvent-ils atteindre les buts visés. Considérant à la fois le rôle de l'enseignant, des apprenants et de leurs pairs dans ces processus, les auteurs aboutissent à cinq « stratégies clés » qui permettent de synthétiser dans un modèle unique les différentes dimensions de l'évaluation formative développées dans la littérature. Nous présentons une traduction de ce modèle dans le tableau 1.

Tableau 1. Aspects de l'évaluation formative d'après Wiliam & Thompson (2007)

	<i>Où les élèves vont-ils ?</i>	<i>Où en sont-ils dans leurs apprentissages ?</i>	<i>Comment, et par quelles étapes, peuvent-ils atteindre les buts visés ?</i>
Enseignant	Clarifier, partager, et faire comprendre les intentions d'apprentissage et les critères de réussite (1)	Organiser de véritables discussions, activités et tâches qui produisent des preuves sur les apprentissages (2)	Donner un feedback qui fait progresser les élèves (3)
Pairs		Inciter les élèves à être des ressources pour leurs pairs (4)	
Apprenants		Inciter les élèves à être responsables de leurs apprentissages (5)	

Note. Les nombres entre parenthèses indiquent à quelle stratégie réfère chacun des aspects.

Ces stratégies, qui peuvent être instanciées à travers une diversité de mises en œuvre, permettent l'identification et l'analyse des pratiques évaluatives en situation d'enseignement.

L'évaluation formative dans le cadre des ESFI

Le concept d'évaluation *pour* les apprentissages (*Assessment for Learning*) a été développé dans les travaux anglo-saxons en vue de distinguer ses fonctions de celles de l'évaluation *des* apprentissages (*Assessment of Learning*) qui vise à porter un jugement sur les résultats (Earl, 2003 ; Stobart, 2008). Ce concept permet d'élargir la notion d'évaluation formative, notamment en intégrant les démarches d'évaluation sommatives susceptibles de soutenir les apprentissages des élèves. Les pratiques évaluatives, tout comme les processus d'autorégulation, ne peuvent cependant être désincarnés, ils s'appliquent toujours dans un contexte particulier propre aux disciplines et aux classes. Dans la perspective d'une évaluation *pour* les apprentissages, des stratégies génériques d'évaluation ne sauraient donc être suffisantes (Cowie, Moreland, & Otrrel-Cass, 2013). Ce texte se centre ainsi spécifiquement

sur la pratique de l'évaluation formative dans le cadre d'un enseignement de mathématiques fondé sur l'investigation.

Pour Harlen (2013) l'évaluation formative et les enseignements scientifiques fondés sur l'investigation (ESFI) partagent les mêmes finalités car tous deux visent la compréhension et l'acquisition des compétences nécessaires à l'apprentissage. L'auteure distingue dans un modèle circulaire, où l'élève est situé au centre, à la fois en tant qu'acteur de son apprentissage et objet des actions de l'enseignant, les étapes centrales du processus évaluatif lors d'un ESFI : (1) La collecte d'indices liée aux buts et aux critères de réussite de l'investigation ; (2) L'interprétation de ces indices qui conduit à un jugement sur leur progression ; (3) Les choix concernant les prochaines étapes de l'investigation.

De la même façon, pour étudier l'autorégulation des apprentissages en contexte scolaire, nous appréhendons l'apprentissage en tant que processus « situé » où l'élève construit des significations localement sur ce qu'il est important d'apprendre et la façon de l'apprendre (Cowie et al., 2013 ; Mottier Lopez, 2012). Dans le contexte spécifique des ESFI, il est important de considérer les « régulations interactives » (Allal, 2007) qui interviennent au cœur de l'activité de l'apprenant. Celles-ci correspondent à toutes les formes d'« interaction entre l'élève et les ressources sociales et matérielles de l'environnement d'enseignement et d'apprentissage » (Mottier Lopez, 2012, p.27) qui sont susceptibles de contribuer à son autorégulation. Trois modalités d'autorégulation peuvent être distinguées selon que l'interaction se situe :

- entre l'élève et l'enseignant ;
- entre l'élève et un autre élève ou groupe d'élèves ;
- entre l'élève et les outils matériels de la situation (dite régulation instrumentée).

Les pratiques d'évaluation formative et les processus d'autorégulation des apprentissages ne sauraient être étudiés en dehors de leur contexte d'utilisation. La section suivante inscrit ces éléments théoriques dans le cadre d'un enseignement de mathématiques fondé sur l'investigation.

Un Enseignement de Mathématiques fondé sur l'Investigation (EMI)

Notre cadre conceptuel prend appui sur les travaux de recherche portant sur la démarche expérimentale en classe de mathématiques, notamment ceux de l'équipe Maths à Modeler (Grenier & Payan, 2003 ; Gandit, 2011 ; Gandit, Giroud, & Godot, 2011), ainsi que sur le débat scientifique (Legrand, 1990). Il s'appuie également sur le cadre général des ESFI développé par Grangeat (2013), notamment sur le positionnement des pratiques enseignantes définies selon quatre modalités pour chacune des dimensions critiques de l'activité. Nous définissons alors un EMI (Gandit, 2015), dont la fonction est de développer l'action scientifique de l'élève en classe de mathématiques, selon deux composantes, côté élève et côté professeur, qui prennent appui sur le couple contrat-milieu (Sensevy, 2007).

Un modèle d'action scientifique de l'élève en classe de mathématiques

Le modèle d'action scientifique de l'élève que nous proposons dans le cadre d'un EMI est constitué de quatre catégories d'actions, que nous différencions pour la description, mais qui restent imbriquées dans la pratique réelle.

Tableau 2. Un modèle d'action scientifique de l'élève en classe de mathématiques

Nom de la catégorie d'actions	Description des actions
<i>Expérimenter</i>	Choisir des cas particuliers, ni trop simples, ni trop complexes pour comprendre le problème, observer ces exemples au regard du problème, formuler des conjectures concernant ces cas particuliers, valider ou invalider ces conjectures, reconnaître les résultats établis concernant ces cas particuliers.
<i>Généraliser</i>	Dégager le généralisable du particulier en formulant une conjecture de portée générale, la prouver ou l'invalider par un contre-exemple, définir des objets nouveaux utiles à l'étude.
<i>Questionner</i>	Dégager un questionnement dans une situation donnée, proposer de nouveaux problèmes ou questions, induits par les actions précédentes.
<i>Communiquer</i>	Débattre scientifiquement de ses résultats, de ses conjectures, donner (par écrit ou oralement) une preuve acceptable par la communauté à laquelle elle s'adresse, expliciter sa démarche de recherche et sa démarche de preuve, présenter un problème et les résultats obtenus sur celui-ci.

Cette action scientifique s'inscrit dans ce que Sensevy (2007, p. 23) nomme les « milieux » de l'élève : d'une part, « le milieu comme contexte cognitif de l'action », d'autre part, « le milieu comme système antagoniste » au sens d'un « ensemble, propre à la situation [considérée], de possibles et de nécessaires, qui oriente l'action ». Ces milieux vont de pair avec un contrat didactique qui résulte de l'action du professeur dans le jeu didactique. Dans le cadre de cette étude, les jeux didactiques portent sur deux types de connaissances : les connaissances d'ordre I portent sur les notions mathématiques (principalement les notions de polygone et de diagonale dans notre étude) ; les connaissances d'ordre II relèvent de la représentation des objets mathématiques et de leurs relations, dans différents registres, du raisonnement et de sa validité (Sackur, Assude, Maurel, Drouhard, & Paquelier, 2005).

Un modèle de conception et de mise en œuvre par le professeur

La conception et la mise en œuvre par le professeur d'un enseignement fondé sur l'investigation peuvent être caractérisées suivant quatre variables (Gandit, 2015) :

- la *problématisation des savoirs* : dans quelle mesure, donnée par des indicateurs relatifs au type de tâche et au contrat didactique, le questionnement proposé aux élèves est-il épistémologiquement pertinent par rapport aux savoirs visés et les place-t-il dans une posture d'incertitude ?

- la *richesse du milieu de l'élève, en tant que contexte cognitif de l'action scientifique* : dans quelle mesure le milieu de l'élève s'enrichit-il, à chaque résolution de problème, des connaissances d'ordre II nécessaires pour agir scientifiquement, suivant les différentes catégories proposées dans le tableau 2 ?

- la *responsabilité scientifique de la classe sur le plan de la démarche et de la communication des résultats* : dans quelle mesure, donnée par des indicateurs relatifs au contrat didactique, le professeur permet-il à l'élève d'exprimer librement ses idées scientifiques, fait-il la dévolution à la classe d'une responsabilité scientifique, instaure-t-il un climat favorable au débat scientifique ? Le professeur donne-t-il l'occasion aux élèves de faire de la communication scientifique ?

- l'*explicitation des apprentissages* : dans quelle mesure le professeur explicite-t-il à l'élève des indicateurs relatifs aux connaissances d'ordre II et le forme-t-il à l'autoévaluation de ces apprentissages ? Les connaissances d'ordre II sont-elles systématiquement institutionnalisées ?

Ces variables ne sont pas indépendantes. Elles reflètent la dynamique des interactions didactiques professeur-élèves. Par exemple, une explicitation systématique des apprentissages, relative aux ordres I et II, agit directement sur la richesse du milieu de l'élève, en tant que contexte cognitif de l'action scientifique, même s'il ne suffit pas que le professeur institutionnalise les savoirs de différents ordres pour que ceux-ci deviennent des connaissances disponibles, présentes dans le milieu de l'élève.

Dans la suite de ce texte, nous ne pouvons, faute de place, développer une analyse mettant en jeu toutes ces variables. Nous nous centrons sur la variable *Responsabilité scientifique de la classe sur le plan de la démarche et de la communication des résultats*, qui se situe au croisement de nos cadres, d'un côté, un enseignement de mathématiques favorisant l'action scientifique de l'élève, d'un autre côté, un enseignement aidant au développement de stratégies d'autorégulation des apprentissages, donc accordant une certaine responsabilité à l'élève par rapport à ses apprentissages.

Problématique, hypothèses de recherche et choix méthodologiques

A la lumière des cadres théoriques et épistémologiques exposés, nous analysons le cas d'une enseignante qui a suivi le dispositif de type *DI-Formation* dans le cadre du LéA EvaCoDICE. Plus précisément, nous observons les changements de pratique de cette enseignante d'une année à l'autre concernant la mise en œuvre de l'évaluation formative et, concernant les élèves, les processus d'autorégulation des apprentissages qui les accompagnent, dans le cadre d'un EMI.

Nous faisons tout d'abord l'hypothèse que le travail collaboratif issu d'un dispositif de type *DI-Formation* conduit l'enseignante à un retour réflexif sur sa pratique et à un changement effectif de celle-ci. Nous formulons une deuxième hypothèse selon laquelle la pratique de l'évaluation formative, située dans le contexte d'un EMI, peut favoriser la mise en place de processus d'autorégulation. Nous suggérons, en effet, que les pratiques d'évaluation offrant des possibilités d'identifier et de combler l'écart entre la performance actuelle et celle désirée (à travers la conception des ressources disponibles, à la fois sociales et matérielles) favoriseront le développement des stratégies d'autorégulation des élèves.

L'étude de cas

Nous présentons l'analyse réalisée au début du projet avec une enseignante de mathématiques impliquée dans le LéA EvaCoDICE et des élèves de 6^{ème} (11-12 ans). L'établissement, classé en Réseau d'Education Prioritaire (REP), expérimente depuis quelques années des classes « sans note ». Ainsi, l'étude de cas que nous présentons porte sur les pratiques de classe d'une enseignante sensibilisée aux questions d'évaluation.

Nous étudions deux séances, mises en œuvre à un an d'intervalle par cette enseignante, portant sur un même contenu mais convoquant des pratiques d'investigation et d'évaluation différentes. L'une se situe avant, l'autre après, la réflexion collective sur les pratiques d'enseignement et d'évaluation qui a eu lieu au cours de la *DI-Formation*.

Procédures de recueil et analyse des données

Nous avons procédé à des enregistrements audio et vidéo pour chaque séance de classe ; une caméra, située au fond de la classe et centrée sur l'enseignante, suit ses déplacements et la conduite de l'activité, une autre caméra fixe est centrée sur un groupe d'élèves. Ce groupe est sélectionné avec l'aide de l'enseignante de sorte que ce dernier comprenne des élèves n'ayant ni trop de facilités – afin que ne soient pas biaisés les résultats concernant leurs prédispositions à s'autoréguler – ni trop de difficultés, et s'exprimant facilement à l'oral afin que puisse être capté un maximum d'interactions entre les élèves. Le groupe de la première séance, composé de quatre élèves, est nommé G1. Le groupe de la deuxième séance, composé du même nombre d'élèves, est nommé G2.

Les verbalisations et les comportements des groupes d'élèves sont intégralement transcrits puis catégorisés, à l'aide du logiciel d'analyse vidéo *Transana*, selon qu'ils renvoient au but à atteindre, à l'évaluation de leur état actuel ou aux stratégies de résolution mises en œuvre pour réduire l'écart. Nous précisons, pour chaque indicateur d'autorégulation, sa modalité, c'est à dire par qui ou quoi est impulsée le processus d'autorégulation : l'enseignant, les pairs ou les outils matériels disponibles dans la situation. Du côté de l'enseignant, les verbalisations et comportements sont catégorisés selon la classification des stratégies d'évaluation formative développée par William et Thompson (2007). Le logiciel d'analyse nous permet d'aboutir à une représentation graphique intégrant nos différents indicateurs (mots-clés) selon leur moment d'apparition pour chacune des séances (*cf.* annexe 1).

Tel que l'a souligné Rogalski (2003), la tâche effective qui correspond à celle réellement effectuée par le sujet se trouve parfois éloignée de ce que le sujet pense s'être fixé. Pour pouvoir y accéder, une activité réflexive de la part de l'enseignant est nécessaire (Grangeat, 2010). Cette réflexivité peut être permise par l'entretien d'autoconfrontation, méthode classique de l'ergonomie, durant lequel l'enseignant(e) commente son activité au regard des traces vidéo, audio, notes personnelles etc. C'est dans cette visée que nous conduisons, après la mise en œuvre de la deuxième séance, un entretien d'autoconfrontation avec l'enseignante à partir de quatre extraits vidéo préalablement sélectionnés. Ces derniers sont issus d'une première analyse réalisée par les auteurs visant à repérer les moments comportant des incohérences par rapport aux objectifs définis pour la séance (nous les précisons plus loin). Cet entretien nous permet d'accéder aux buts et sous-buts poursuivis par l'enseignante, aux choix réalisés et à leurs justifications. L'entretien dure une cinquantaine de minutes et a eu lieu quelques mois après la séance. L'enseignante est amenée à commenter librement ses

actions à partir d'une question ouverte sur l'extrait proposé, les difficultés rencontrées et les moyens mis en œuvre pour y faire face. L'intégralité de l'entretien est ensuite transcrite.

La *DI-Formation* dans le cadre du LéA EvaCoDICE

Les enseignants de sciences impliqués dans le LéA ont participé à trois journées de formation en présence par an durant les trois ans du projet. Nous présentons ici le contenu des formations réalisées entre les deux séances analysées. Lors de la première, il s'agissait de caractériser les enseignements scientifiques fondés sur l'investigation (ESFI), puis de commencer à concevoir une séance réalisable dans le cadre des pratiques initiales des enseignants. Lors de la deuxième, il s'agissait de questionner les différentes modalités de l'évaluation formative, de sélectionner des outils et de proposer des moyens de mise en œuvre. Enfin, la troisième journée visait à interroger les facteurs de développement de l'autorégulation des apprentissages des élèves et les moyens de les identifier. Entre ces journées, des échanges ont eu lieu par l'intermédiaire d'une plateforme numérique et de réunions par discipline. Ce processus a abouti à la modification de la séance sélectionnée afin d'intégrer les différents contenus développés en formation. Ces aménagements ont visé une meilleure prise en compte des difficultés des élèves et une augmentation des moyens de prise d'information, d'une part, par l'enseignant sur la progression de ses élèves dans la tâche et leurs apprentissages (temps de débats, mises en commun, temps de travail individuel etc.) et, d'autre part, par les élèves eux-mêmes pour évaluer leur propre progression (explicitation des stratégies de résolution, grille d'autoévaluation etc.).

Au cours des journées de formation, il s'agit dans un premier temps d'intégrer un outil d'évaluation formative dans une séance relevant d'un EMI. Outre la construction d'une telle séance, nécessitant un travail sur ce qu'est la pratique de l'investigation, et l'élaboration d'un premier outil d'évaluation, de façon interdisciplinaire, les deux autres modalités de travail en *DI-formation* sont : (1) l'analyse critique des mises en œuvre de cette séance par les enseignants grâce aux vidéos réalisées, dont certains extraits sont visionnés de façon individuelle puis collective, ainsi que (2) la transmission disciplinaire des scénarios de la séance expérimentée, d'un enseignant à l'autre, cette transmission s'accompagnant de commentaires visant à son amélioration.

La séance d'investigation sélectionnée

La séance d'investigation retenue par l'équipe repose sur un problème déjà expérimenté par Balacheff (1988) qui porte sur le nombre de diagonales d'un polygone (Gandit, 2015). La présentation du problème aux élèves est décidée par l'équipe (voir figure 1). Les objectifs d'apprentissage portent sur les connaissances d'ordre II^3 sous-jacentes aux blocs *Expérimenter* et *Généraliser*, la principale étant de savoir choisir des cas particuliers, ni trop simples, ni trop complexes, de manière à pouvoir observer le généralisable derrière le particulier. Il ne s'agit donc pas de faire rechercher une réponse correcte unique, mais d'amener les élèves à interpréter le problème, identifier et évaluer les solutions possibles en faisant des essais et formuler des conclusions. Les élèves sont placés par groupes de trois à quatre et la durée prévue pour la séance est d'une heure. Un support d'évaluation formative,

³ Les enseignants ne les identifient pas sous cette forme.

que les enseignants nomment « grille d'autoévaluation » est intégré à la feuille d'énoncé afin que les élèves disposent des critères d'évaluation et puissent s'y référer en cours d'activité. Il est demandé aux élèves de s'autoévaluer en fin de séance.

Démarche de recherche.				
Je suis capable de comprendre le problème, de commencer des recherches				
Je suis capable d'émettre des hypothèses, des conjectures				
Je suis capable de mener un raisonnement cohérent, de faire une preuve				
Je sais communiquer ma démarche par écrit ou par oral				
Je fais preuve d'initiative, d'autonomie				
Je suis capable de rester concentré, de travailler dans le calme				
<p>Énoncé :</p> <p>Quel est le nombre de diagonales d'un polygone ? Autrement dit, donne un moyen qui permette, dès que l'on connaît le nombre de sommets d'un polygone, de trouver le nombre de ses diagonales. Explique ta démarche. (Tu laisseras toutes tes recherches).</p>				

Figure 1. Feuille de consigne distribuée aux élèves au début de la séance

Ce problème est discuté avec les enseignants par l'intermédiaire d'un document suffisamment court pour que les éléments d'analyse *a priori* qu'il contient ne le fassent pas apparaître comme difficile à intégrer dans les pratiques habituelles ; de ce fait une large part de mise en œuvre reste à leur initiative. Des productions d'élèves antérieures (voir figure 2) sont présentées à l'équipe afin de mettre en évidence que des polygones non convexes vont apparaître parmi ceux tracés par les élèves et qu'il n'y a pas lieu de les éliminer.

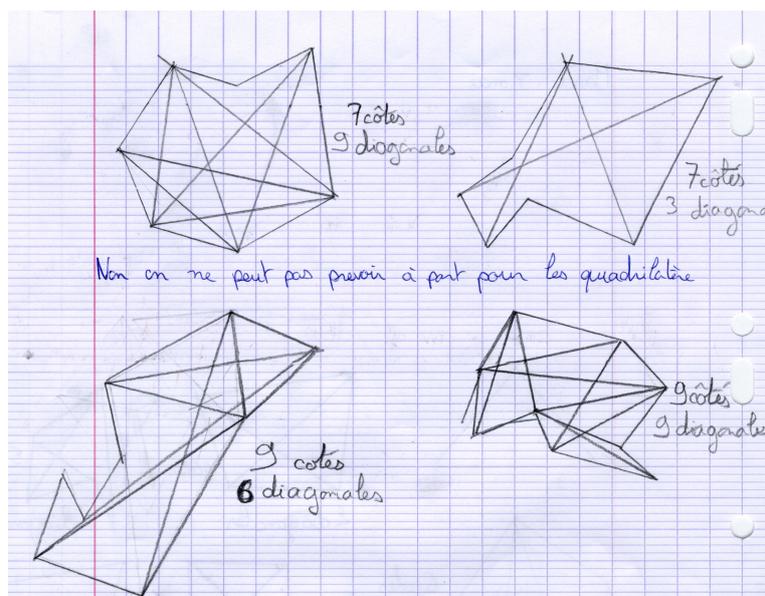


Figure 2. Des polygones concaves apparaissent nécessairement dans les cas choisis par les élèves

Résultats : modifications de l'activité de l'enseignante et des élèves

Nous présentons les résultats obtenus selon trois niveaux distincts afin de dégager les effets de la formation dans le cadre d'une approche de type *DI-Formation*. Le premier est celui de l'analyse des interactions qui permettent d'identifier les changements de pratiques d'évaluation formative et des effets produits sur l'autorégulation des apprentissages. Le deuxième s'intéresse à l'analyse des changements didactiques effectués entre la première et la deuxième mise en œuvre. Le troisième concerne l'analyse réflexive menée par l'enseignante sur sa pratique et les perspectives d'amélioration de la mise en œuvre qu'elle propose.

Analyse des pratiques d'évaluation formative et des processus d'autorégulation des apprentissages

Nous présentons les résultats obtenus à l'issue du codage des épisodes interactionnels relatifs aux indicateurs d'évaluation formative, d'une part, puis des processus d'autorégulation et de leurs modalités, d'autre part. Les représentations graphiques issues de ces codages sont disponibles en annexe 1.

Stratégies d'évaluation formative

Nous identifions, dès la première mise en œuvre de la séance, les cinq stratégies d'évaluation formative retenues pour cette étude. Ces stratégies sont réparties sous forme de « blocs » en début et fin de séance. Lors de la deuxième séance, les cinq stratégies sont mises en place de façon plus régulière sur toute la durée de l'activité. Leur nature a évolué vers un rappel des buts plus fréquent, des feedbacks visant à situer la progression des élèves plus nombreux ainsi que vers une plus grande valorisation des échanges à l'intérieur des groupes. Nous observons que la « grille d'autoévaluation » n'est pas explicitement introduite lors de la deuxième mise en œuvre contrairement à la première. En effet, l'enseignante projette cette « grille » au début de la séance sans que celle-ci ne fasse l'objet d'une présentation explicite des attentes.

La mise en œuvre des cinq stratégies d'évaluation formative dès la première séance peut s'expliquer par le fait que l'expérimentation de classe « sans note » a préparé l'enseignante aux pratiques d'évaluation formative. Le changement relatif à l'explicitation des attentes vis-à-vis de la « grille » sera abordé lors de l'autoconfrontation.

L'autorégulation des apprentissages des élèves

Lorsque nous mettons en correspondance les indicateurs d'autorégulation identifiés au sein des groupes d'élèves de la première année (G1) et de la deuxième (G2), plusieurs changements apparaissent. Tout d'abord, les questionnements de G1 portent principalement sur des connaissances, il s'agit de connaissances d'ordre I (notions de polygone, de diagonale) et les stratégies de résolution qu'ils mettent en œuvre sont destinées à faire une recherche documentaire sur les définitions de ces concepts. La représentation graphique obtenue à l'aide du logiciel *Transana* (annexe 1) fait apparaître une stagnation sur cet état durant la majorité du temps de recherche en groupe (soit environ 30 minutes). En revanche, G2 se questionne davantage sur la compréhension du problème (actions de la catégorie *Expérimenter*) et les stratégies de résolution identifiées sont plus nombreuses, mais surtout mises en œuvre de façon continue sur toute la durée du temps de recherche. Elles sont orientées vers la sélection des polygones à prendre en compte et vers le comptage de leurs diagonales.

Modalités d'autorégulation

Lors de la première séance, les processus d'autorégulation des élèves sont principalement médiatisés par l'enseignante et les ressources matérielles. Les modalités instrumentées sont à la fois plus représentées mais aussi plus diversifiées pour le groupe G1 qu'elles ne le seront pour G2. L'ensemble de ces ressources matérielles, composées de manuels scolaires, de dictionnaires, de classeurs de cours et d'agendas, sont destinées à collecter des informations sur les définitions des notions présentes dans l'énoncé (diagonales, polygones et sommets). Lors de la deuxième séance, les processus d'autorégulation de G2 sont très majoritairement impulsés par les pairs. Les élèves de G2 recherchent plus de feedbacks auprès de leurs camarades tandis que ceux de G1 sollicitent davantage l'enseignante. Par ailleurs, les élèves de G2 utilisent moins de ressources matérielles et celles-ci ne sont pas de même nature puisqu'elles sont destinées à la réalisation de leurs essais et figures (règle, calculatrice, crayons de couleur). Cette modification des ressources est concomitante des stratégies d'évaluation formative mises en œuvre par l'enseignante qui insiste plus particulièrement sur la communication à l'intérieur des groupes.

Effets de la *DI-Formation* sur la modification des pratiques

Organisation de la séance

Nous commençons par commenter la représentation graphique obtenue avec le logiciel *Transana* en ce qui concerne l'organisation de chacune des deux séances. Les mots-clés issus de nos catégories d'analyse (cf. annexe 2) figurent dans la colonne de gauche et s'intègrent sur l'axe horizontal permettant ainsi de conserver la temporalité dans laquelle les processus interviennent. Cette représentation graphique permet de mettre en parallèle les changements et les évolutions identifiés entre les deux séances mises en œuvre avant et après la session de *DI-Formation*.

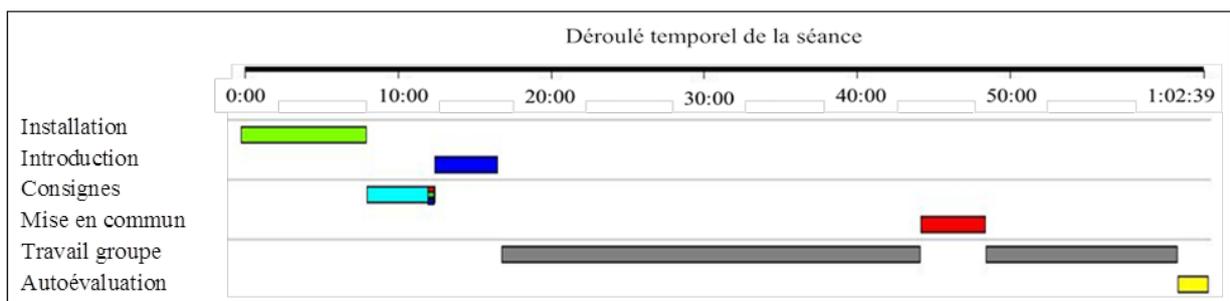


Figure 3. Organisation de la première séance avant la session de *DI-formation*

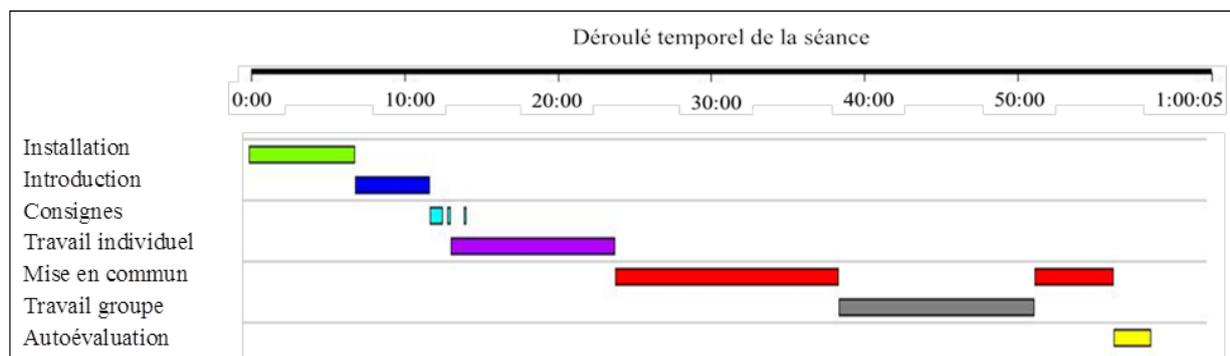


Figure 4. Organisation de la deuxième séance après la session de *DI-formation*

Des différences sont observées dans la façon de conduire les deux séances. Un temps de travail individuel, d'une dizaine de minutes, est introduit au début de la deuxième séance, alors qu'il était absent lors de la première. Ce temps de travail individuel succède à la présentation du problème en classe entière et précède une mise en commun sur la compréhension de l'énoncé. On note également que les temps de mise en commun sont plus nombreux et plus longs lors de cette deuxième séance. Nous analysons plus en détail le contenu de ces mises en commun dans la section suivante.

Analyse du contenu des mises en commun

Lors de la première séance, nous identifions deux phases de mise en commun toutes deux portant sur des définitions ; la première, au début de la séance, porte sur des critères présents dans le support d'évaluation formative (connaissances d'ordre II : conjecture, hypothèse). Le second, situé entre les 43^{ème} et 50^{ème} minutes, porte sur les définitions de polygone et de diagonale (connaissances d'ordre I). Lors de la deuxième séance, le contenu de ces mises en commun est modifié. Nous comptabilisons trois temps d'interactions en classe entière : le premier est destiné à définir, dès le début, la notion de polygone lors de la phase d'introduction du problème. L'enseignante demande alors aux élèves de s'exprimer sur leurs connaissances et de venir au tableau en dessiner quelques-uns. Le deuxième temps prend place à la 23^{ème} minute et débute par un débat au sujet des polygones non convexes qui soulèvent des difficultés dans le comptage des diagonales, la définition de diagonale, puis sur des stratégies de comptage. Cette phase se clôt par le rappel de l'énoncé une fois les concepts éclairés. Enfin, dans le troisième temps, les élèves sont amenés à exposer leurs stratégies pour aboutir à une conjecture.

Evolution de la pratique de l'enseignante concernant la variable Responsabilité

Comme dit précédemment, nous nous centrons sur la variable didactique *Responsabilité* pour ses points de rencontre avec l'autorégulation des apprentissages (dévolution de la responsabilité scientifique et de la responsabilité de l'apprentissage). L'un des objectifs spécifiquement visé lors de cette séance, discuté avec les enseignants du LÉA et formalisé par écrit, est le suivant : « Faire que les élèves comprennent que l'expérimentation sur de « petits » cas particuliers permet souvent de comprendre le problème et d'induire une conjecture, ainsi que le statut de conjecture ». Résultant de l'adaptation de la séance à la pauvreté du milieu de l'élève en tant que contexte cognitif de l'action scientifique, cet objectif est complètement lié aux blocs *Expérimenter* et *Généraliser* du modèle EMI côté élève.

Au cours de la première séance, l'enseignante laisse s'installer une discussion dans le groupe G1 sur le sens des mots *polygone* et *diagonale*, qui figurent dans l'énoncé du problème. Les régulations qu'elle propose au groupe, et à toute la classe, ne permettent pas aux élèves d'initier des actions des blocs *Expérimenter* et *Généraliser*. L'enseignante encourage le travail en groupe, mais ne peut cadrer l'avancée dans la recherche car les élèves de G1 n'entrent pas dans le problème, comme le montrent les dialogues et la production du groupe. La responsabilité scientifique de la classe est faible du fait de la pauvreté des milieux de chacun des membres du groupe.

Au cours de la deuxième séance, un premier temps de discussion avec la classe entière a lieu sur le concept de polygone, mais rien n'est dit sur ce qu'est une diagonale. A l'issue de ce

temps, les élèves de G2 pensent qu'un rectangle n'est pas un polygone, ils disent que « c'est un quadrilatère ». Au bout d'une vingtaine de minutes, un deuxième temps de discussion a lieu où alternent les phases de débat scientifique – voir les extraits de transcription (3), (4), (5) ci-dessous – et les phases où la responsabilité scientifique de la classe s'exerce beaucoup moins – extraits (1), (2), (3) – parce que l'enseignante intervient sur des points-clés.

« Je vous propose de prendre des bons petits polygones [sous-entendu : convexes] » (1)

Le cas des polygones non convexes est ainsi éliminé, sans que cela ne se justifie sur le plan mathématique. Cette décision va à l'encontre de l'objectif d'apprendre aux élèves à choisir judicieusement des cas particuliers permettant d'avancer dans la recherche du problème.

« Alors je suis en train de me demander... il y aurait combien de sommets interdits... à celui-là... pour faire une diagonale ? » (2)

Cette question de l'enseignante initie une stratégie de comptage des diagonales ; l'initiative de cette stratégie ne peut donc plus être prise par les élèves.

« [...] est-ce que j'ai oublié des diagonales, là, ou est-ce que je les ai toutes tracées ? » (3)

Cette nouvelle question amène au traitement complet du pentagone convexe, qui aurait pu constituer un résultat établi par certains élèves (action de la catégorie *Expérimenter*). On remarque ici la régulation opérée par l'enseignante, partagée entre sa volonté de mener un débat scientifique – elle questionne les élèves – et son souhait de faire avancer la résolution du problème – la question posée réduit les possibilités de réponse.

« Tu entends ce que te dit Cassandra ? Elle dit : moi, je suis pas d'accord avec le fait qu'une diagonale c'est toujours oblique, parce qu'elle a fait un autre polygone, là... ça, t'es d'accord que c'est une diagonale ? » (4)

Les élèves peuvent dire qu'ils ne sont pas d'accord et expliquer pourquoi, ce qui indique que le contrat laisse une part de responsabilité scientifique à la classe.

« Alors... Une diagonale, pour Pauline, c'est un segment qui est à l'intérieur de la figure... Yannis... et qui relie... deux sommets... D'accord ? » (5)

La parole des élèves est respectée, clairement explicitée au niveau de l'ensemble de la classe, le doute est ménagé. Cette proposition de Pauline, en effet, ne recouvre pas tous les cas de diagonales et doit être aménagée pour rendre compte de ce qu'est une diagonale.

Néanmoins l'extrait de phrase prononcée par la professeure, au bout d'une trentaine de minutes, « Pour aller au bout de la définition qu'on cherche, une diagonale... », montre que l'enseignante vise la découverte par les élèves d'une définition, ce qui ne sert pas le principal objectif de cette séance. Plusieurs interventions de l'enseignante dans les groupes indiquent qu'elle donne elle-même des arguments qui valident ou invalident les propositions des élèves. Ainsi, dans le groupe G2 qui propose une stratégie multiplicative incomplète, elle dit : « Vous êtes à deux doigts... », puis montre que certaines diagonales sont comptées deux fois, en disant « celle-là, c'est la même que celle-là ». Elle indique également à une élève de traiter les cas de polygones à 6 et 8 côtés (45^{ème} minute). Ces interventions ne permettent pas à ces éléments-clés d'émerger du débat. Lors de la troisième phase de discussion (49^{ème} minute), la professeure incite chaque groupe à donner sa réponse. Une réponse donnée par un groupe, « A partir de deux diagonales, un polygone a une infinité de diagonales », montre que ces élèves n'ont pas compris la possibilité de généraliser un moyen de comptage, à partir des cas qu'ils

ont étudiés. Plusieurs élèves répondent par le nombre de diagonales qu'ils ont obtenu sur les cas qu'ils ont étudiés. Ceci conduit l'enseignante à dire : « Je ne vous demande pas des exemples, je vous demande de répondre à la question ». Nous notons qu'au bout de la séance, beaucoup d'élèves n'ont pas initié d'action de la catégorie *Généraliser* et n'ont pas compris le statut de conjecture. Le fait de demander à chaque groupe sa réponse ne favorise pas le débat qui pourrait conduire les élèves à comprendre cette idée de généralisation à partir de cas particuliers.

Nous pouvons conclure, notamment à l'issue de la deuxième phase de discussion, à une évolution de la dévolution à la classe d'une responsabilité scientifique par l'enseignante. Toutefois, le contenu des échanges, certes plus nombreux au niveau de la classe, montre qu'au bout d'une heure la connaissance d'ordre II visée, à savoir généraliser à partir d'une étude de cas judicieusement choisis, n'est pas acquise par les élèves.

Retour réflexif sur la pratique : l'entretien d'autoconfrontation

L'entretien d'autoconfrontation porte sur le visionnage d'extraits préalablement sélectionnés par les chercheurs concernant la deuxième mise en œuvre de la séance. Ces extraits font référence aux moments importants de la séance (ex : présentation du problème, débats, explicitation des attentes etc.) en lien avec les objectifs discutés lors des sessions de *DI-Formation*.

Le temps passé sur les définitions

Le premier extrait concerne le premier temps de mise en commun sur la définition de polygone. L'enseignante, en visionnant cet extrait, s'aperçoit que le temps passé sur ce débat est trop long et ne correspond pas aux objectifs de la séance :

« moi j'ai été surprise par la difficulté qu'ils ont rencontrée face à un vocabulaire qui me semblait plutôt acquis et du coup, en relecture, moi je me rends compte qu'il y a un écueil, c'est que quand je vois qu'ils ne savent pas j'ai du mal à leur donner des réponses « pré-cuites » et j'aime bien faire en sorte qu'ils trouvent où trouver etc. et sur une démarche comme ça, c'est pas le lieu, si c'était à refaire je partirais sur des bases dès le départ en disant : « bon vous vous rappelez un polygone c'est quoi [...] si c'était à refaire, c'est clair que je ne mènerais pas la séance pareil, parce que c'était pas l'objectif de la séance que de mettre en place des définitions »

Dans la suite de l'entretien, l'enseignante explique que ce travail sur la définition est à réaliser en amont de la séance d'investigation au vu du temps relativement court disponible pour la recherche. Elle suggère alors de s'assurer à l'avenir des prérequis de ses élèves sur les notions afin que la durée totale de l'activité soit entièrement consacrée à la recherche, aux essais.

« en mathématiques, pour voir comment les choses fonctionnent, on peut passer par des essais alors on passe par un 1^{er}, puis un 2^{ème} puis un 3^{ème} et puis on essaie de trouver une certaine logique à travers ces différents essais, c'est vraiment ça l'idée de l'activité donc le fait d'avoir passé 10 minutes un quart d'heure sur les définitions c'est du hors-sujet à la limite, ou c'était à faire avant »

Cette analyse de l'enseignante rejoint celle de la section précédente.

Le support d'autoévaluation

L'autoconfrontation porte d'abord sur l'extrait de la séance correspondant au moment où l'enseignante projette la « grille » d'autoévaluation au tableau mais ne la commente pas.

L'enseignante indique qu'elle n'a pas suffisamment intégré ce support pour qu'il soit profitable aux élèves et qu'il aurait dû être introduit plus tôt afin qu'il constitue un véritable outil de progression pour les élèves :

« je pense que c'est parce que moi personnellement je ne l'ai pas assez intégrée cette grille et si moi je ne l'ai pas suffisamment intégrée je peux difficilement l'utiliser de manière constructive pour les élèves [...] je pense que cette grille présente tout son intérêt quand on la présente en amont pour qu'ils puissent se dire, se projeter et sentir ce qu'on attend d'eux, sur quelles compétences on veut les faire travailler et qu'après, une fois qu'ils sont dans le concret du problème ils essaient de faire des liens »

L'enseignante propose dans la suite de l'entretien de modifier l'appellation de cette « grille » afin qu'elle corresponde mieux à sa conception de l'évaluation formative :

« il y a une histoire de vocabulaire, c'est pas une grille d'autoévaluation pour moi mais une grille d'avancement plus que de l'évaluation, se situer, je me situe sur une progression et si je suis situé je vois le chemin que j'ai déjà parcouru ce qui n'est pas négligeable, je regarde ce qui est déjà fait, ça ça peut me valoriser, j'ai déjà fait ça donc ça me met en confiance et puis je regarde ce qu'il me reste à faire donc je m'arrête pas là, je peux continuer, je pense que même pour moi ce n'était pas clair, il y a un truc qui m'allait pas, là dans le sens avancement ça me va beaucoup mieux parce que l'élève est acteur de son avancement, il se prend en main »

La compréhension des enjeux de l'évaluation formative et des outils afférents par l'enseignante correspond alors aux objectifs développés collectivement dans le LéA.

L'intérêt de débattre

Nous avons également diffusé un extrait de la mise en commun qui clôt la séance sur l'explicitation des stratégies des élèves. L'enseignante commente cet extrait en mettant en avant l'importance des moments de débat pour faire avancer le problème :

« [...] chacun apporte sa pierre, toi t'as fait pour quatre, toi pour six et on met tout en commun et voilà maintenant on est plus riche avec les exemples des autres et après on repart et qu'est-ce qu'on pourrait faire en utilisant l'exemple que vous avez fait mais en tenant compte aussi de l'apport des exemples de chacun [...] parce que les exemples de chacun venaient tout de suite mettre par terre le raisonnement d'autres [...] dans une activité comme ça je me rends compte que les élèves sont des enseignants entre eux, s'enseignent entre eux, le cheminement de l'un, bon il ne faut pas qu'ils soient trop loin non plus, mais le fait de faire des points réguliers ça peut permettre de tirer ceux qui sont le moins en avance sans trop attendre. »

Ce commentaire de l'enseignante correspond à l'objectif visé collectivement lors de la séance. Il rend explicite ses conceptions visant à faire évoluer le contrat didactique dans le sens d'une plus grande responsabilisation scientifique des élèves dans les échanges. Il met aussi en évidence l'écart entre ces conceptions et les pratiques telles qu'analysées précédemment.

Discussion

Cette recherche concerne les effets d'un dispositif de formation à destination des enseignants pour favoriser à la fois la transformation de leurs pratiques et de leurs conceptions.

Nous commençons par discuter l'analyse de l'organisation des séances. Nous relevons tout d'abord que le débat mis en œuvre lors de la première séance sur les définitions de diagonale

et polygone apparaît chronophage, mis en place trop tardivement et peu pertinent par rapport à l'objectif visé. En effet, cette mise au point en fin de séance implique que les élèves qui n'étaient pas au clair sur ces définitions ne sont pas entrés dans le problème posé. Le manque d'opportunités offertes aux élèves de G1 pour réguler tant les composantes cognitives que motivationnelles et affectives (Allal, 2007) les conduit à décrocher. Le manque d'« étayage » de l'enseignante, par peur « de résoudre à la place de l'élève » (Mottier Lopez, 2012), mène les élèves de G1 à des actions stériles sur le plan mathématique. Ce manque d'intervention est possiblement lié à une conception de la démarche d'investigation qui consiste à laisser les élèves résoudre le problème de façon indépendante. Les références constructivistes et socioconstructivistes sur lesquelles s'appuient les textes officiels français (MEN, 2005, 2007) renforcent probablement ce type de conception chez les enseignants (Calmettes, 2009). Certaines recherches critiquent pourtant la nécessaire autonomie laissée aux apprenants pour correspondre aux attentes induites par ce type d'enseignement. Les résultats de Blanchard et al. (2010), par exemple, mettent en avant la supériorité des situations fortement guidées par l'enseignant par rapport aux situations d'indépendance élevée pour viser une efficacité des enseignements fondés sur l'investigation. La démarche d'investigation guidée fait que l'enseignant conduit progressivement l'élève vers une plus grande prise d'autonomie et de responsabilité dans la conduite de la démarche scientifique.

Des changements notables sont observés lors de la deuxième séance. Les problèmes de compréhension des notions sont plus rapidement abordés, permettant à tous les élèves de G2 de se lancer dans des essais de résolution et de formuler des stratégies. Les interactions au sujet du choix du polygone et du comptage des diagonales de ce groupe sont aussi plus en adéquation avec les objectifs d'apprentissage de la séance. Le travail réalisé sur l'évaluation formative et l'investigation a possiblement conduit l'enseignante à porter plus d'attention au contenu même de la séance et à ses objectifs, cela pourrait en partie expliquer son anticipation du rappel des définitions utiles afin que les élèves se focalisent sur les stratégies de résolution.

Suite à la réflexion collective qui a pris place au sein du dispositif de formation, la gestion de l'avancée du savoir dans la classe par l'enseignante a été modifiée. Cela rejoint les résultats de Gueudet et Lebaud (2013) qui montrent que les analyses collectives permettent aux enseignants de prêter une plus grande attention au savoir en jeu et aux interventions des élèves. Dans le cadre du LÉA, les enseignants étaient amenés à s'interroger sur les productions des élèves et à anticiper leurs comportements. Ce travail d'anticipation a peut-être permis à l'enseignante de laisser une plus grande responsabilité aux élèves dans la conduite de leur recherche et à se focaliser davantage sur leurs raisonnements. Le glissement observé lors de la première séance, depuis des objectifs qui devaient conduire les élèves à faire des essais, formuler des solutions, donner des contre-exemples, vers des pratiques de simple recherche de définitions des notions a disparu lors de la deuxième séance. Des temps de mise en commun ont ainsi été dégagés pour expliciter les difficultés des élèves et leur permettre de se situer.

La valorisation des échanges à l'intérieur des groupes et la mise en place d'un temps de travail individuel suivi d'une mise en commun avaient été réfléchies au sein de l'équipe lors des journées de *DI-Formation*. Ces ajustements ont engendré chez les élèves moins de sollicitations vers l'enseignante et des réflexions les conduisant plus loin dans la résolution du problème. Les régulations interactives identifiées nous renseignent également sur le climat de

classe. Cette enseignante offre une grande part de responsabilité à ses élèves dans le fait de les laisser librement chercher les ressources nécessaires pour conduire leurs investigations. Nous pouvons penser que la nature des stratégies d'évaluation formative mises en œuvre par l'enseignante lors de la deuxième séance a permis de motiver les élèves à autoréguler l'effort nécessaire pour persévérer. De fait, la mise en commun finale a permis de rendre compte du stade de résolution atteint par les élèves ou groupes d'élèves, d'explicitier une fois de plus leur progression par rapport à leur état initial et ce qui restait à parcourir pour atteindre l'objectif. Cette démarche génère les questionnements pour favoriser une autorégulation des apprentissages efficace.

L'analyse réalisée sur le contenu des mises en commun relève cependant un certain nombre de limites. D'abord, la mise en commun finale ne constitue pas un débat scientifique au sens de Legrand (1990). En effet, les élèves ne sont pas sollicités sur ce qu'ils pensent des résultats donnés par les uns et les autres et ils n'échangent pas d'arguments. De plus, certaines stratégies ont été suggérées par l'enseignante lors de ses régulations auprès des groupes. Toutefois, d'une séance à l'autre, nous identifions une meilleure dévolution d'une responsabilité scientifique à la classe et des phases de débat permettant des régulations, pour certains élèves, au sujet de la définition d'une diagonale. Il reste que le milieu cognitif des élèves est pauvre sur le plan de la pratique scientifique de la catégorie *Généraliser* ; l'objectif visé concernant la connaissance d'ordre II ne semble atteint pour aucun. Parallèlement, la variable *Apprentissage*, côté enseignant, indique que l'explicitation des apprentissages, notamment ceux qui relèvent de la démarche, n'a pas lieu. Ces difficultés ont fait l'objet d'un travail spécifique dans le LéA EvaCoDICE lors de la troisième année.

Dans le cadre du LéA, les situations de travail visaient un accompagnement des enseignants pour analyser leurs pratiques d'enseignement. Dans cette visée, nous avons opté pour la méthodologie de l'entretien d'autoconfrontation qui consiste à présenter aux personnes observées les traces de leur comportement afin de les commenter (Theureau, 1997). L'entretien réalisé avec l'enseignante quelque temps après sa séance montre une modification de ses conceptions quant à la conduite d'une séance d'investigation. Elle porte notamment sur les différents temps consacrés aux concepts mathématiques et aux temps de recherche. Lors de cet entretien, l'enseignante explicite également les choix qu'elle a réalisés par défaut pour conduire l'activité, notamment quant au support d'autoévaluation. Ce retour réflexif sur sa pratique lui permet de dire pourquoi elle n'introduit pas le support d'autoévaluation et n'incite pas les élèves à l'utiliser en tant qu'outil pour se situer, la conception développée dans le collectif à travers l'idée de « grille » étant un frein à sa valorisation. Cette étude montre ainsi qu'une modification effective des pratiques passe aussi par une évolution des conceptions, processus long nécessitant de nombreux allers-retours entre la pratique et la réflexion exercée sur celle-ci. Ces résultats rejoignent les conclusions faites par Clot, Faïta, Fernandez et Scheller, (2001) pour qui l'activité réflexive sur son propre travail permet de transformer tant les buts, les moyens, que les connaissances de sa propre activité professionnelle.

Nos résultats montrent l'intrication des conceptions des enseignants qui relèvent, d'une part, de l'évaluation formative – transversales aux disciplines – et, d'autre part, de la didactique des mathématiques, liées au contenu à enseigner. Ainsi, ce n'est ni uniquement les modifications des connaissances professionnelles sur l'évaluation formative ou l'autorégulation des

apprentissages, ni celles sur l'investigation en mathématiques qui ont soutenu une transformation des pratiques. Nous montrons, notamment à travers les réflexions de l'enseignante, qu'il s'agit d'une combinaison des deux approches. Ces résultats rejoignent ceux de Nilsson (2015) en comparant l'évolution des connaissances professionnelles d'enseignants tuteurs et débutants et conduisent à repenser les pratiques de formation continue des enseignants.

Enfin, la limite des résultats de notre recherche soulève une perspective d'étude pour des recherches à venir : l'évolution des pratiques enseignantes apparaît comme un processus long pour lequel les effets de la formation ne peuvent être pleinement appréciés qu'au cours de plusieurs années de pratiques, d'échanges coopératifs et de retours réflexifs. Un temps conséquent apparaît donc nécessaire pour que les enseignants puissent véritablement intégrer les effets de la formation à la fois dans leur base de connaissances professionnelles et leurs pratiques de classe (Grangeat & Hudson, 2015). Dans cette mesure, les évolutions de pratiques identifiées dans nos analyses subsistent-elles dans la durée ? Il serait intéressant de compléter cette étude par un suivi des enseignants bien après le dispositif de formation.

Conclusion

Cette étude visait à rendre compte de l'effet d'un dispositif de type *DI-Formation*, basé sur la résolution collective de problèmes professionnels, sur le développement des pratiques enseignantes et conjointement sur l'activité des élèves. Nous avons présenté un cadre d'analyse de séances de classe, par la mise en perspective de deux séances filmées avant et après une session de formation, en vue d'étudier l'évolution des pratiques d'investigation et d'évaluation formative sur l'autorégulation des apprentissages des élèves. L'étude de cas réalisée auprès d'une enseignante de mathématiques a montré des effets du travail coopératif sur ses pratiques, tant sur la façon de comprendre et de mettre en œuvre une séance d'investigation, que sur la conceptualisation de l'évaluation formative et des outils disponibles pour la rendre efficace. Une modification de la nature des stratégies d'évaluation vers une plus grande valorisation des échanges et responsabilisation des élèves a été identifiée. L'anticipation des difficultés des élèves a modifié l'avancée du savoir dans la classe et a permis de dégager des temps d'échanges collectifs. Nos résultats montrent ainsi une plus grande dévolution d'une responsabilité scientifique à la classe par l'enseignante. Même si certaines phases de débat ont favorisé l'autorégulation des élèves ainsi qu'une meilleure adéquation de leur activité avec les objectifs de la séance, nos analyses montrent cependant qu'elles ne relevaient pas d'un véritable débat scientifique. Certaines interventions de l'enseignante ont contraint la réflexion des élèves sur des composants-clés de la résolution de problème. Un retour réflexif sur la pratique, organisé par l'intermédiaire d'un entretien d'autoconfrontation réalisé quelques mois après la deuxième séance, a fait apparaître une évolution des conceptions de l'enseignante, notamment quant au support d'évaluation formative. Une recherche à plus long terme permettrait d'interroger la persistance des effets de la formation sur les pratiques et les conceptualisations des enseignants.

Remerciements

Cette recherche fait partie du projet européen ASSIST-ME, qui a reçu un financement de la part de la communauté européenne (numéro de projet 321428).

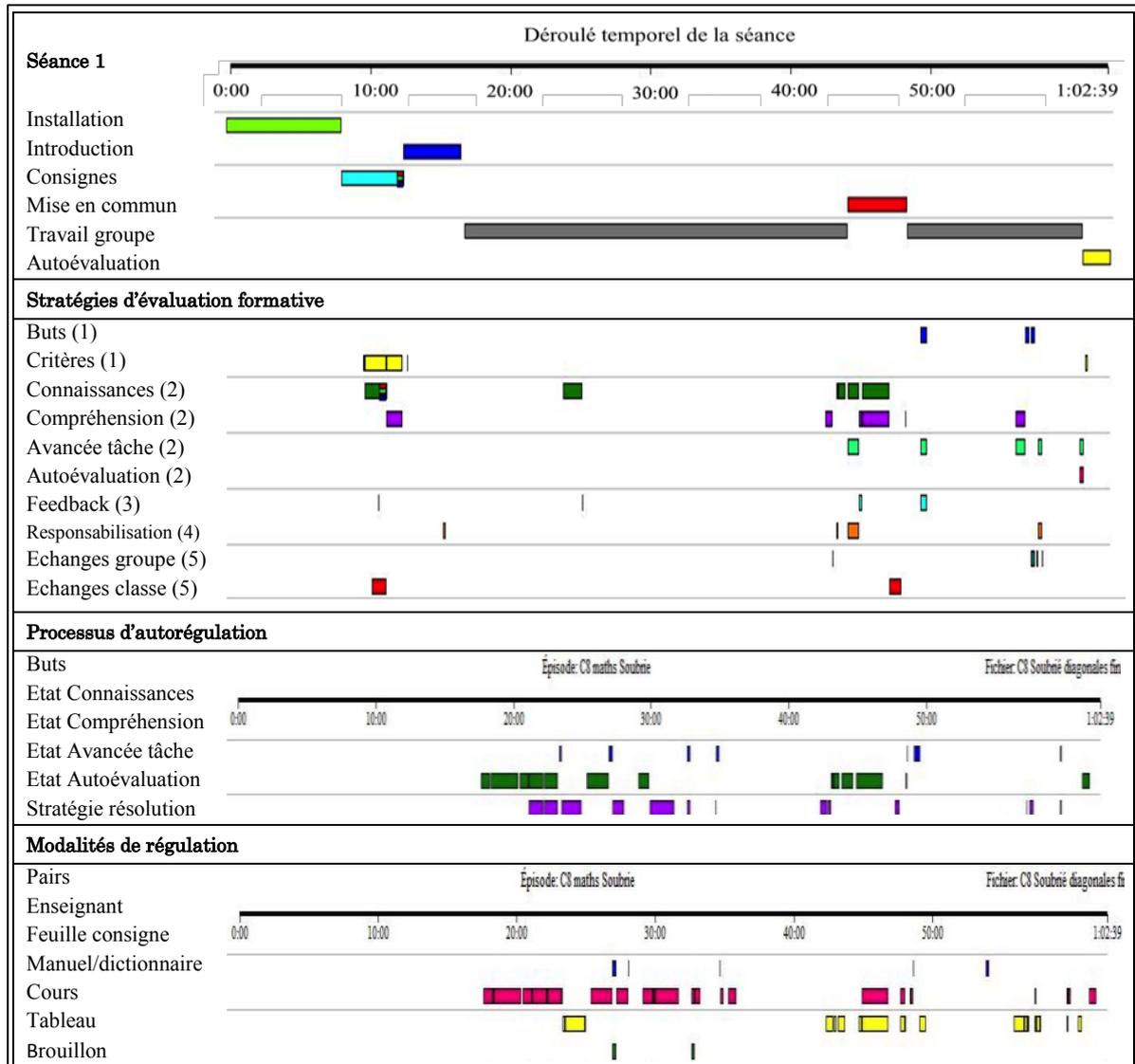
Références bibliographiques

- Allal, L. (2007). Régulation des apprentissages : Orientations conceptuelles pour la recherche et la pratique en éducation. Dans L. Allal & L. Mottier Lopez (dir.), *Régulation des apprentissages en situation scolaire et en formation* (p. 7-23). Bruxelles : De Boeck.
- Balacheff, N. (1988). *Une étude des processus de preuve en mathématiques chez des élèves de collège* (Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, France). Repéré à <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00326426/>
- Bell, B., & Cowie, B. (2001). *Formative assessment and science education*. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- Black, P. J., & Wiliam, D. (2009). Developing the theory of formative assessment. *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 21(1), 5–31.
- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A., & Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability? A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education*, 94, 577–616.
- Butler, D., & Winne, P. (1995). Feedback and self-regulated learning: A theoretical synthesis. *Review of educational research*, 65(3), 245-281.
- Calmettes, B. (2009). Démarche d'investigation en physique. Des textes officiels aux pratiques en classe. *Spirales*, 43, 139-148.
- Carver, C. S., & Scheier, M. F. (1999). Themes and issues in the self-regulation of behavior. Dans R. S. Wyer, JR. (dir.), *Advances in social cognition* (p. 1-105). Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Clark, I. (2012). Formative assessment : Assessment is for self-regulated learning. *Educational Psychology Review*, 24(2), 205-249.
- Clot, Y., Faïta, D., Fernandez, G., & Scheller, L. (2001). Les entretiens en autoconfrontation croisée : une méthode en clinique de l'activité. *Education permanente*, 146, 17-25.
- Cosnefroy, L. (2011), *L'apprentissage autorégulé, entre cognition et motivation*, Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- Cowie, B., Moreland, J., & Otrell-Cass, K., (dir.) (2013), *Expanding notions of assessment for learning: Inside science and technology primary classrooms*, Rotterdam : Sense Publishers.
- Earl, L. M. (2003), *Assessment as learning : Using classroom assessment to maximize student learning*, Thousand Oaks, CA : Corwin Press.
- Efklides, A. (2006). Metacognition and affect : what can metacognitive experiences tell us about the learning process. *Educational Research Review*, 1, 3-14.
- Gandit, M. (2011). Etude épistémologique et didactique de la preuve en mathématiques et de son enseignement. Une ingénierie de formation. Dans M. Abboud-Blanchard & A. Flückiger (dir.), *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques* (p. 175-197). Paris : Université Paris Diderot & IREM de Paris 7.

- Gandit, M. (2015). L'évaluation au cours de séances d'investigation en mathématiques. *Recherche en éducation*, 21, 67-80.
- Gandit, M., Giroud, N., & Godot, K. (2011). Les situations de recherche en classe : un modèle de situation pour travailler la démarche scientifique en mathématiques. Dans M. Grangeat (dir.), *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves* (p. 35-49). Lyon : Ecole normale supérieure de Lyon.
- Grangeat, M. (1999). Processus cognitifs et différenciation pédagogique. Dans C. Depover & B. Noël, (dir.), *L'évaluation des compétences et des processus cognitifs, modèles, pratiques et contextes* (p. 115-127). Bruxelles : De Boeck.
- Grangeat, M. (2010). Analyser le travail enseignant pour concevoir l'intervention éducative : Est-ce utile et pour quoi faire ? *Les Nouveaux Cahiers de la Recherche en Éducation*, 12(1), 31-46.
- Grangeat, M. (2013). Modéliser les enseignements scientifiques fondés sur les démarches d'investigation : développement des compétences professionnelles, apport du travail collectif. Dans M. Grangeat (dir.), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation* (p. 155-184). Grenoble : PUG.
- Grangeat, M., & Hudson, B. (2015). A New Model for understanding the Growth of Science Teacher Professional Knowledge. Dans M. Grangeat (dir.), *Understanding Science Teachers' Professional Knowledge Growth* (p. 205-228). Rotterdam: Sense Publishers.
- Grenier, D. & Payan, C. (2003). Situations de recherche en classe : essai de caractérisation et proposition de modélisation. *Cahiers du séminaire national de l'ARDM*, Paris, 19 Octobre 2002.
- Gueudet, G. & Lebaud, M-P. (2013). Démarches d'investigation en sciences, collectifs dans la formation des enseignants, enquête sur un lien complexe. Dans M. Grangeat (dir.), *Des enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe* (p. 95-114). Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- Hadji, C. (2012), *Comment impliquer l'élève dans ses apprentissages. L'autorégulation, une voie pour la réussite scolaire*, Paris : E.S.F.
- Harlen, W. (2013), *Assessment and inquiry-based science education : Issues in policy and practice*, Trieste : Global Network of Science Academies (IAP) Science Education Program (SEP).
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81-112.
- Laveault, D. (2007). De la régulation au réglage: étude des dispositifs d'évaluation favorisant l'autorégulation des apprentissages. Dans L. Allal & L. Mottier Lopez (dir.), *Régulation des apprentissages en situation scolaire et en formation* (p. 207-234). Bruxelles : De Boeck.
- Legrand, M. (1990). Rationalité et démonstration mathématiques, le rapport de la classe à une communauté scientifique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 9, 221-280.
- Mathé S., Méheut M., & De Hosson, C. (2008). Démarche d'investigation au collège : quels enjeux ? *Didaskalia*, 32, 41-76.
- Ministère de l'Éducation Nationale. (2005). Programmes de l'enseignement des mathématiques, des SVT, de la physique-chimie. Introduction commune à l'ensemble des disciplines scientifiques. *Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale*, hors série n° 5, Annexe 1, (6-7), Paris.

- Ministère de l'Éducation Nationale. (2007). Programmes de l'enseignement des mathématiques, des SVT, de la physique-chimie. Introduction commune à l'ensemble des disciplines scientifiques. *Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale*, hors série n° 6, Annexe 1, (6-7), Paris.
- Mottier Lopez, L. (2012), *La régulation des apprentissages en classe*, Bruxelles : De Boeck.
- Nicol, D. & Macfarlane-Dick, D. (2006). Formative assessment and self-regulated learning : A model and seven principles of good feedback practice. *Studies in Higher Education*, 31(2) 199-218.
- Nilsson, P. (2015). Learning from a learning study : developing teachers' PCK through collaborative practices. Dans M. Grangeat (dir.), *Understanding Science Teachers' Professional Knowledge Growth* (p. 155-168). Rotterdam : Sense Publishers.
- Rogalski, J. (2003). Y a-t-il un pilote dans la classe ? Une analyse de l'activité de l'enseignant comme gestion d'un environnement dynamique ouvert. *Recherche en didactique des mathématiques*, 23(3), 343-388.
- Sackur, C., Assude, T., Maurel, M., Drouhard, J-P., & Paquelier, Y. (2005). L'expérience de la nécessité épistémique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 25(1), 57-90.
- Sadler, D. R. (1998). Formative assessment : Revisiting the territory. *Assessment in Education*, 5(1), 77-84.
- Sensevy, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. Dans G. Sensevy & A. Mercier (dir.), *Agir ensemble : Éléments de théorisation de l'action conjointe du professeur et des élèves* (p. 13-49). Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- Sensevy, G. & Mercier, A., (dir.) (2007), *Agir ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*, Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- Stobart, G. (2008), *Testing Times : The uses and abuses of assessment*, London : Routledge.
- Theureau, J. (1997). Verbalisations provoquées. Dans M. de Montmollin (dir.), *Vocabulaire de l'ergonomie* (p. 277-279). Toulouse : Octarès Éditions.
- Vial, M. (1997). La régulation cybernétique et la régulation systémique. *Revue de diffusion des savoirs en éducation*. 12, 52-57.
- William, D. (2010). An integrative summary of the research literature and implications for a new theory of formative assessment. Dans H. A. Andrade & G. J. Cizek (dir.), *Handbook for formative assessment* (p. 18-40). New York : Routledge.
- William, D., & Thompson, M. (2007). Integrating assessment with instruction : What will it take to make it work ? Dans C. A. Dwyer (dir.), *The future of assessment: Shaping teaching and learning* (p. 53-82). Mahwah, NJ : Erlbaum.

ANNEXE 1 : Représentations graphiques issues du codage des séances avec le logiciel *Transana*



Note. L'axe horizontal correspond à la durée de la séance et l'axe vertical correspond aux mots clés. Ces derniers s'intègrent dans le graphique en fonction de leur moment d'apparition dans la séance. La première catégorie de mots-clés correspond aux indicateurs de stratégies d'évaluation formative. Les nombres entre parenthèses indiquent à quelle stratégie chacun des aspects réfère. La deuxième catégorie de mots-clés correspond aux indicateurs d'autorégulation des élèves et la troisième aux modalités d'autorégulation.

Figure 5. Représentation graphique issue du codage de la première séance de mathématiques

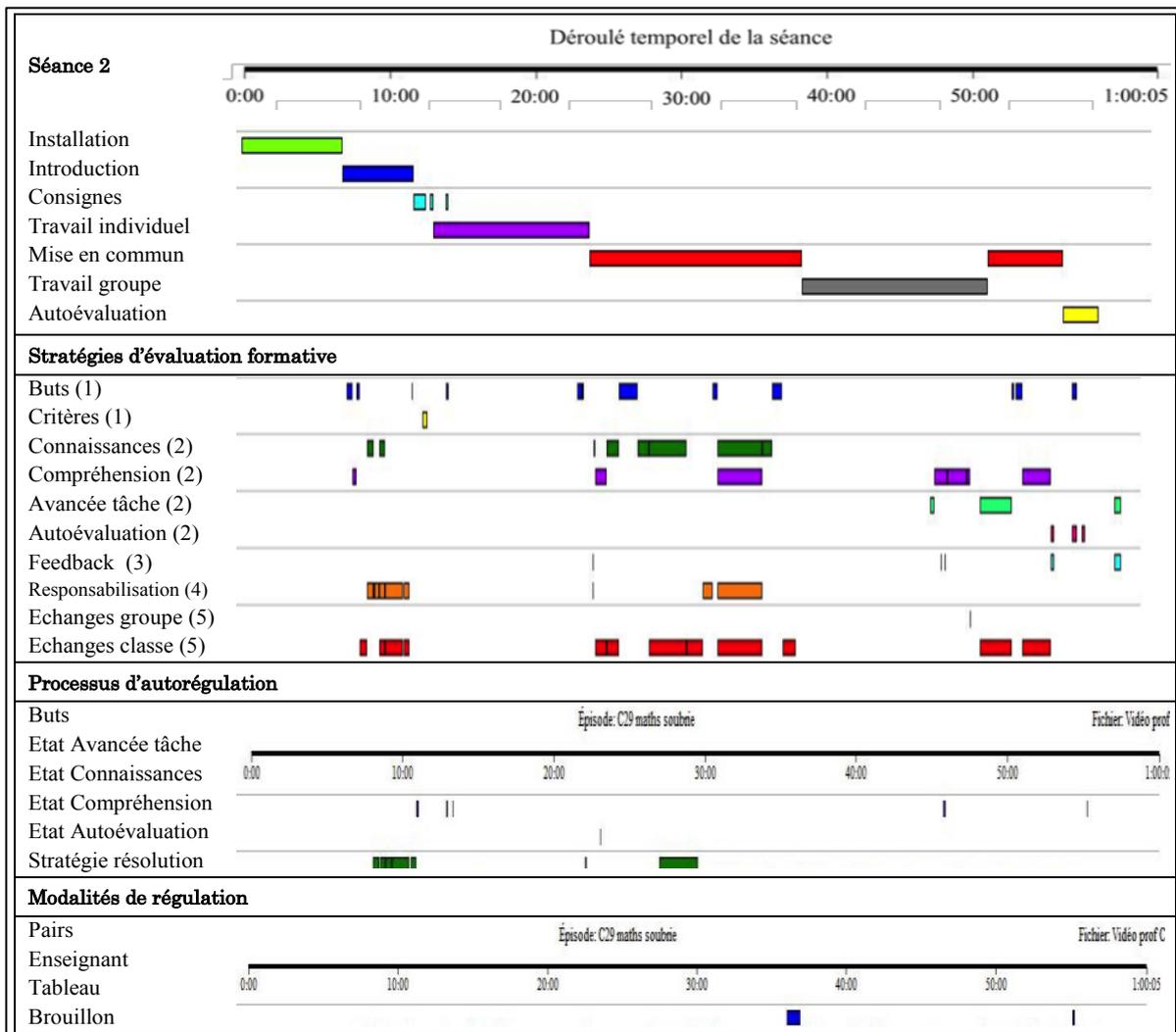


Figure 6. Représentation graphique issue du codage de la deuxième séance de mathématiques

ANNEXE 2 : Description des indicateurs d'analyse (Mots-clés)

Tableau 3. Indicateurs d'analyse

Catégories d'indicateurs	Mots-clés	Descriptions
Stratégies d'évaluation formative	Buts (1)	Expliciter les buts de la séance et les sous-buts
	Critères (1)	Expliciter les critères de réussite
	Avancée tâche (2)	Prendre des informations sur l'état actuel des élèves en termes d'avancée dans la tâche
	Compréhension (2)	Prendre des informations sur l'état actuel des élèves en termes de compréhension de la tâche
	Connaissances (2)	Prendre des informations sur l'état actuel des élèves en termes de connaissances
	Autoévaluation	Prendre des informations sur l'état actuel des élèves par rapport aux critères d'évaluation
	Feedback (3)	Donner un feedback qui fait progresser les élèves
	Responsabilisation (4)	Inciter les élèves à être responsables de leurs apprentissages
	Echanges classe (5)	Inciter les échanges au sein de la classe
	Echanges groupes (5)	Inciter les échanges à l'intérieur des groupes
Processus d'autorégulation	Buts	Autorégulation par rapport aux buts et aux sous-buts de la séance
	Avancée tâche	Autorégulation par rapport à l'avancée dans la tâche
	Compréhension	Autorégulation par rapport à la compréhension de la tâche
	Connaissances	Autorégulation par rapport aux connaissances en jeu
	Autoévaluation	Autorégulation par rapport à l'évaluation globale de la réussite de la tâche
	Stratégie de résolution	Stratégies de résolution mises en œuvre pour atteindre le but
Modalités d'autorégulation	Enseignant	L'enseignant impulse le processus d'autorégulation
	Pairs	Un élève ou un groupe d'élève est à l'origine de l'autorégulation
	Instrumentée	L'autorégulation prend part avec un objet matériel de la situation d'apprentissage : feuille de consigne, feuille de brouillon, manuel, dictionnaire, tableau etc.

Note. Les stratégies d'évaluation formative 4 et 5 du modèle de Wiliam et Thompson (2007) sont inversées pour correspondre à la classification plus récente définie par Wiliam (2010). Les nombres entre parenthèses indiquent à quelle stratégie réfère chacun des aspects.