

Une organisation des savoirs mathématiques dans le cadre de l'apprentissage par problématisation

Grau Sylvie ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Laboratoire du CREN, INSPÉ Nantes Université – France

Résumé

Le cadre de l'apprentissage par problématisation (CAP), initialement pensé pour l'enseignement des sciences de la vie et de la terre, est aujourd'hui mobilisé, entre autres, dans le champ de la didactique des mathématiques. Ce cadre vise un apprentissage problématisé par les élèves, capable de rendre le savoir disponible. Il s'agit de faire construire par les élèves les nécessités du savoir, en lien avec des problèmes que les élèves posent, construisent et résolvent, dans un cadre épistémologique de référence. Suite à l'expérimentation d'ingénieries dans des classes à différents niveaux de la scolarité, il s'avère que l'apprentissage par problématisation demande de repenser l'organisation des savoirs mais aussi questionne la manière de penser, agir et dire en mathématiques pour les élèves comme pour les enseignants.

Mots clés

Problématisation ; Mathématiques ; Ingénieries ; Organisation mathématique, Contrat didactique.

Introduction

L'enseignement des mathématiques est très lié à la résolution de problèmes. D'un point de vue historique et épistémologique, il est intéressant de comprendre quels problèmes et quels contextes ont fait émerger une connaissance nouvelle. Si Brousseau estimait qu'il était « concevable de choisir des conditions réalistes où cette connaissance seraient

indispensable pour satisfaire un but ou un usage compris par l'élève, et où il pourrait l'imaginer sans qu'il soit besoin de la lui enseigner préalablement » (Brousseau, 2010), il a convenu qu'il n'était pas simple de trouver de telles situations dites « fondamentales » pour toutes les connaissances mathématiques à construire. Partant de l'idée bachelardienne d'obstacle épistémologique, Brousseau considère qu'une situation adidactique doit permettre à l'élève tout du moins de comprendre en quoi ses connaissances sont insuffisantes ou erronées. Un premier aspect de notre travail comparatiste est d'utiliser le cadre de l'apprentissage par problématisation (CAP) développé dans le domaine des sciences de la vie et de la terre (Fabre & Orange, 1997) dans le domaine des mathématiques. La nature des savoirs étant différente, le registre explicatif (REX) dans lequel les élèves posent, construisent et résolvent les problèmes mathématiques est aussi de nature différente. Il peut être lié à un domaine spécifique des mathématiques, à un paradigme au sein de ce domaine ou à un point de vue sur certains objets, il peut aussi être lié à une représentation plus générale de ce qu'est « faire des mathématiques » et plus particulièrement « faire des mathématiques à l'école ». Le REX est donc lié aux savoirs inscrits dans les curriculums, or les attentes de l'institution et de la société vis-à-vis des mathématiques ne cessent d'évoluer (confrontation à des problèmes complexes issues de la vie réelle, modélisation, utilisation d'outils technologiques, interdisciplinarité, développement de l'esprit critique, de l'autonomie, de la coopération...) sans que les pratiques dans les classes évoluent réellement, comme en témoignent les différentes évaluations nationales et internationales (Botton, 2021; Vayssettes & Rech, 2015; Villani & Torossian, 2018). L'analyse de ces REX est donc essentielle pour comprendre l'activité des élèves en classe de mathématiques.

Un autre niveau de comparaison réside dans les éclairages que donnent différents cadres théoriques au sein de la didactique des mathématiques d'un même objet analysé et en particulier pour ce qui nous concerne dans cette communication, l'analyse de l'enseignement des mathématiques par la résolution de problèmes. De nombreux cadres théoriques se sont développés pour essayer de mieux comprendre l'activité mathématique des élèves en regard de l'activité de l'enseignant (entre autres le cadre de la double approche didactique et ergonomique dans la continuité des travaux de Vandebrouck (2008) et le cadre des espaces de travail mathématiques développé par Kuzniak (2011)). La spécificité du CAP est de chercher à comprendre la dynamique de problématisation permettant l'émergence de raisons au cours du travail des élèves. Nos recherches visent donc à expérimenter des ingénieries provoquant des événements de problématisation susceptibles de jouer sur cette dynamique.

Nous allons analyser le contexte des programmes actuels de mathématiques, présenter des exemples d'ingénieries et ce qu'elles nous disent des curriculums actuels. Nous discuterons enfin sur les difficultés et tensions qui émergent de ces tentatives.

La résolution de problèmes dans les programmes de 2020

Dans une approche par compétences, les programmes de 2015 sont organisés en différents volets pour chacun des cycles 2, 3 et 4. Le premier volet pose les spécificités du cycle, le second indique comment les différents enseignements et champs éducatifs vont contribuer au socle commun et enfin le troisième volet décrit les enseignements, les mathématiques étant un des domaines d'enseignement (elles font partie du domaine « construire les premiers outils pour structurer sa pensée » au cycle 1). Il est à noter que les enseignants s'appuient essentiellement sur le dernier volet pour préparer leurs enseignements. C'est pourtant dans les autres volets que les raisons des choix sont explicitées et que des conseils de mise en œuvre sont donnés. En particulier le volet 3 indique comment les compétences mathématiques (chercher, modéliser, représenter, raisonner, calculer et communiquer) vont être travaillées sur toute la scolarité.

La place des problèmes dans l'apprentissage est importante et elle est renforcée dans les programmes de 2020. Au cycle 1 par exemple il est précisé :

Pour provoquer la réflexion des enfants, l'enseignant les met face à des problèmes à leur portée. [...] Ces activités cognitives de haut niveau sont fondamentales pour donner aux enfants l'envie d'apprendre et les rendre autonomes intellectuellement. (Ministère de l'Éducation Nationale, 2023, p. 5).

La confrontation à un problème apparaît comme une situation didactique favorable non seulement à de nouveaux apprentissages disciplinaires mais aussi une situation motivante, censée développer l'autonomie des élèves. Pour cela, l'enseignant doit avoir une posture spécifique, caractérisée ici par l'observation et l'analyse de l'activité de l'élève, lui permettant de repérer les essais à valoriser et mettre en discussion d'autres aspects, sans que ne soit précisée la nature de ce qui est mis en discussion et la finalité de ces débats.

Au cycle 2, la résolution de problèmes mathématiques est de nouveau évoquée dans le cadre plus large de l'enseignement « Questionner le monde » :

Débattre, argumenter rationnellement, émettre des conjectures et des réfutations simples, s'interroger sur les objets de la connaissance, commencer à résoudre des problèmes notamment en mathématiques en formulant et en justifiant ses choix développent le jugement et la confiance en soi. (Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse, 2020a, p. 7).

Ici, l'objectif affiché est de développer le jugement et la confiance en soi, sans que les savoirs mathématiques mobilisés ne soient évoqués. Plus loin, un autre enjeu apparaît, celui de la construction du sens et de la « compréhension de quelques éléments du monde » sans que ceux-ci ne soient définis. Plus généralement, « les problèmes permettent d'aborder de nouvelles notions, de consolider des acquisitions, de provoquer des questionnements. » (Ibid 2020a, p. 56).

En 2020, de nouveaux objets sont introduits dans le curriculum. Dans le domaine des mathématiques, sont travaillés des thèmes en lien avec les questions climatiques actuelles, toujours avec une entrée par les problèmes, et ayant pour but de mobiliser des savoirs sur les mesures de grandeurs :

Les thèmes autour du changement climatique, du développement durable et de la biodiversité doivent être retenus pour développer des compétences en mathématiques en lien avec les disciplines plus directement concernées. Une entrée par la résolution de problèmes est à privilégier. (Ibid 2020a, p. 56).

Enfin plus loin, le programme précise les tissages attendus entre disciplines et entre domaines des mathématiques :

Ces problèmes [liés à des situations vécues] sont l'occasion de renforcer et de relier entre elles les connaissances numériques et géométriques, ainsi que celles acquises dans « Questionner le monde ». (Ibid 2020a, p. 61).

C'est sans doute dans le cadre de l'enseignement de la géométrie que le programme se veut le plus insistant :

Les notions de géométrie plane et les connaissances sur les figures usuelles s'acquièrent à partir de manipulations et de résolutions de problèmes (reproduction de figures, activités de tri et de classement, description de figures, reconnaissance de figures à partir de leur description, tracés en suivant un programme de construction simple). [...] Les concepts généraux de géométrie (droites, points, segments, angles droits) sont présentés à partir de tels problèmes. (Ibid 2020a, p. 63).

Au cycle 3, « les notions mathématiques étudiées prendront tout leur sens dans la résolution de problèmes qui justifie leur acquisition. » (Ministère de l'Education Nationale et de la Jeunesse, 2020b, p. 3). La résolution de problème intervient donc au début d'un apprentissage pour amener l'élève à comprendre la nécessité du savoir visé. Construire une nécessité est une des caractéristiques de l'approche par problématisation. De plus, « la résolution de problèmes constitue le critère principal de la maîtrise des connaissances dans tous les domaines des mathématiques, mais elle est également le moyen d'en assurer une appropriation qui en garantit le sens. » (Ibid 2020b, p. 3). Nous percevons ici la dialectique outil/objet qui fait qu'un savoir mathématique peut très bien être mobilisé en tant qu'outil sans que l'objet lui-même n'ait été étudié. Le rôle de l'enseignant est alors d'aider l'élève à en prendre conscience, à formaliser ce savoir, le décontextualiser et le recontextualiser pour qu'il puisse être disponible ultérieurement pour d'autres problèmes pour lesquels l'élève aura reconnu une proximité avec la situation travaillée.

Trois types de problèmes peuvent alors être rencontrés :

- Les problèmes issus de la vie courante ou d'autres enseignements : permettent de travailler le lien entre les mathématiques et les autres disciplines et vise à donner du sens aux notions abstraites abordées.

- Les problèmes internes aux mathématiques : permettent de construire des conversions entre différents domaines des mathématiques, d'aborder les structures et les raisonnements mathématiques, mais aussi de développer une culture mathématique à travers la recherche de problèmes dans une perspective historique (en particulier ils permettent de comprendre la différence entre ce qui est conventionnel et ce qui se démontre mathématiquement).
- Les problèmes pour apprendre à chercher : doivent développer la capacité des élèves à construire des raisonnements, faire des tâtonnements, poser des hypothèses et les tester. Ces problèmes n'ont pas toujours qu'une seule solution, ils peuvent d'ailleurs ne pas en avoir d'accessibles à un niveau scolaire et ces problèmes sont ouverts en ce sens qu'il existe différentes procédures possibles.

Au cycle 4, « une place importante doit être accordée à la résolution de problèmes. Mais pour être en capacité de résoudre des problèmes, il faut à la fois prendre des initiatives, imaginer des pistes de solution et s'y engager sans s'égarer en procédant par analogie, en rattachant une situation particulière à une classe plus générale de problèmes, en identifiant une configuration géométrique ou la forme d'un nombre ou d'une expression algébrique adaptée » (Ministère de l'Education Nationale et de la Jeunesse, 2020c, p. 127). C'est la première fois qu'il est question de « classe de problèmes » sans que ces classes ne soient précisées si ce n'est par l'évocation de certains automatismes devant permettre de rappeler en mémoire des procédures. Le programme précise en fin de chaque thème les automatismes à construire. Par exemple il est demandé d'automatiser la reconnaissance de configurations géométriques à partir de la mémorisation « d'images mentales ».

Ainsi les programmes donnent une large place à l'apprentissage par les problèmes, ceux-ci intervenant à différents moments de la construction des connaissances et avec des fonctions différentes. Les élèves ne sont donc pas appelés uniquement à résoudre des problèmes mais bien à les construire.

Le cadre de l'apprentissage par problématisation en mathématiques

Le cadre de l'apprentissage par problématisation (CAP), est aujourd'hui mobilisé par les didacticiens dans différentes disciplines scolaires pour répondre à de nouveaux enjeux de l'apprentissage (monde complexe, objets d'enseignement et de domaines croisant différentes disciplines scolaires, attentes sociales). En mathématiques, ce cadre apporte des éléments nouveaux pour analyser la manière dont les élèves construisent des connaissances apodictiques en lien avec le processus de problématisation (Hersant, 2022). Le CAP en mathématiques a pour objectif de rendre les savoirs disponibles pour l'élève, par la

construction de nécessités – ce qui fait que le savoir est ce qu'il est et ne peut pas être autrement – en lien d'une part avec le problème posé et d'autre part avec un cadre théorique de référence (Fabre, 2011). Comment mettre en œuvre un enseignement mathématique dans le CAP ? Et quels peuvent être les freins et les limites de cet enseignement ? En quoi s'agit-il ou non d'un changement de paradigme ?

Nos recherches visent à construire des ingénieries didactiques permettant aux élèves de problématiser en mathématiques, c'est-à-dire leur permettant de poser (prendre conscience d'un problème), construire (délimiter le problème) et résoudre (trouver une solution) un problème, les amenant à rendre compte de raisons mathématiquement valides. Nous considérons que ces raisons relèvent d'un registre explicatif (REX) qui évolue en cas d'un apprentissage. Nos analyses *a posteriori* des activités en classe nous permettent de caractériser les REX mobilisés par les élèves et de repérer ce qui, dans la situation de classe, amène effectivement une évolution des REX. Pour cela, nous récoltons des traces de l'activité (productions écrites et orales, vidéos de classe, entretiens d'explicitation, documents de préparation et entretiens d'auto-confrontation des enseignants) et identifions ce qui est pris en compte et éventuellement questionné par les élèves (le « en question ») et ce qui n'est pas pris en considération (le « hors question »), les traces de factualisation, considérée comme la construction de faits ayant un statut de vérité, du moins temporairement, les éléments explicatifs donnés au cours d'une séquence d'enseignement (Grau, 2019).

Ces recherches menées à différents niveaux de la scolarité et dans différents domaines des mathématiques, attestent que le CAP suppose une organisation mathématique (Matheron, 2000) différente de celle des programmes actuels (Grau, 2017). En particulier l'organisation des savoirs mathématiques par grands domaines (algèbre, nombres et calculs, mesure de grandeur...) ne rend pas explicites les conversions de cadres parfois nécessaires à la résolution de problèmes, ni la construction d'un répertoire opérationnel de techniques.

Exemple d'ingénieries

Enseignement de la géométrie au cycle 3

Cette ingénierie a été menée au cours d'une formation en constellation inter-degrés au cycle 3 avec cinq professeurs des écoles et deux professeurs de mathématiques du collège. La question mise au travail est celle de la manipulation dans la construction de concepts mathématiques et en particulier en géométrie. La didactique a permis de mettre en évidence différents paradigmes en géométrie (Houdement, 2007; Kuzniak, 2011). L'enjeu du cycle 3 est d'amener les élèves à passer d'un paradigme à l'autre en conscience, suivant la nature des problèmes rencontrés. Le paradigme G1 désigne celui de la géométrie perceptive. Dans ce paradigme, devient un fait ce qui est perçu, que ce soit par la perception visuelle (« ça a

la forme d'un carré ») ou par l'utilisation d'un instrument et donc de tracés ou d'une mesure (« les 4 côtés ont la même mesure », « ça se coupe » ...). Le paradigme G2 est celui de la géométrie des propriétés, de la géométrie théorique. Dans le paradigme G2, est un carré un polygone ayant les propriétés caractéristiques du carré soit par définition, soit par une déduction logique à partir de propriétés, de définitions et de théorèmes. Pour rendre nécessaire le passage de G1 à G2, il s'agit d'amener les élèves à poser, construire et résoudre des problèmes qui nécessitent effectivement l'usage de propriétés. Pour cela, il s'agit soit de proposer une situation où ce qui est vu est faux (usage de dessins faux), soit de contraindre l'activité de l'élève (impossibilité de faire les tracés par exemple), soit encore de proposer une tâche qui nécessite une analyse des propriétés de la figure. Ainsi les travaux en didactique (Mathé et al., 2020) ont montré que les connaissances géométriques au programme de l'école et du collège, pouvaient être construites autour d'une même classe de problèmes – produire une figure – du fait que « résoudre un problème de géométrie conduit à produire une figure mentalement ou matériellement » (Celi, 2016). Les enseignants ont alors conçu une situation qu'ils ont expérimentée dans leur classe et se sont visités lors des mises en œuvre. Les séances et les productions ont ensuite été analysées collectivement. Des apports théoriques sur différents concepts tirés des travaux de Duval ont permis de mieux comprendre l'activité des élèves. Sans entrer dans les détails de ces analyses, les enseignants ont été très étonnés par l'activité de leurs élèves, ils ne les pensaient pas capables des raisonnements utilisés sous prétexte qu'ils utilisent maladroitement les instruments ou le vocabulaire. En fait, les enseignants assimilent l'enseignement de la géométrie à un enseignement de techniques de tracés et de nomenclature. Très souvent la séquence de géométrie commence par un apport de définitions et de vocabulaire. Les enseignants ont pu expérimenter le fait que les élèves peuvent connaître le vocabulaire et être incapables d'utiliser les concepts ainsi désignés ou qu'à l'inverse les élèves peuvent utiliser un concept sans avoir le vocabulaire mathématique pour en parler. L'activité des élèves analysée dans le CAP a permis de mettre en évidence une évolution des REX mobilisés par les élèves allant d'un REX G0 (appui sur la perception visuelle seule sans instruments) à un REX G01 (appui sur la mesure de longueur), puis un REX G11 (appui sur la mesure de longueur et la mesure des angles) et enfin un REX G2 (appui sur les propriétés) en lien avec les choix des variables didactiques. Les enseignants ont alors pu pointer des enseignements qu'ils ne faisaient pas, permettant de travailler l'enjeu de décrire, analyser et décomposer les figures pour pouvoir les reconnaître, les reproduire, les construire.

Le jeu sur les variables didactiques permettant de construire les nécessités liées à de nouvelles procédures et de nouveaux concepts, il est alors possible de penser une organisation mathématique par les classes de problèmes associées et non plus par notions.

Enseignement des fonctions affines en cycle 4

Dans notre travail de thèse (Grau, 2017), nous avons expérimenté diverses ingénieries autour de l'enseignement des fonctions affines. L'organisation mathématique des programmes amène les élèves à étudier la proportionnalité dans différents cadres, à travailler le calcul algébrique dans le cadre de l'algèbre essentiellement et à découvrir le concept de fonction dans un domaine intitulé « gestion de données et fonctions ». En proposant des situations complexes de modélisation à partir de problèmes d'optimisation, nous avons pu prouver que les élèves, dès la classe de 6^e, sont capables d'utiliser leurs connaissances pour construire un modèle affine, alors que les élèves de 3^e et de 2^{nde} en étaient moins capables. L'hypothèse que nous faisons est que, l'enseignement n'étant pas problématisé, les élèves apprennent à automatiser des techniques (tel que demandé d'ailleurs dans les programmes) et que les élèves cherchent alors systématiquement à appliquer des procédures sans chercher à analyser si ces procédures sont pertinentes. Les travaux de l'Irem de Poitiers avait déjà mis en évidence la pertinence d'une organisation autour de grands problèmes (IREM de Poitiers Groupe Lycée, 2011), quelques ressources s'inspirent de ces travaux (Rouquès et al., 2019), les recherches autour des obstacles à l'entrée dans l'analyse à l'université (Gueudet & Vandebrouck, 2019) attestent d'un besoin urgent de repenser l'organisation mathématique des savoirs, pourtant l'institution peine à faire évoluer les pratiques du fait d'une formation insuffisante et d'un recrutement qui ne fait que pérenniser des routines professionnelles (Chesnais et al., 2017; Choquet & Grau, 2021; Fondeville, 2018).

Le contrat didactique de recherche en résolution de problèmes numériques au cycle 2

Par problèmes numériques au cycle 2, on entend souvent « problèmes utilisant une des quatre opérations », or Houdement en donnant une classification des problèmes a mis en évidence des problèmes atypiques caractérisés par le fait qu'ils sont des problèmes verbaux à données numériques mais qui ne se résolvent pas en plusieurs étapes mobilisant les quatre opérations. « Le guide de la résolution de problème au CM » mis en ligne par le ministère de l'éducation et de la jeunesse en 2021 donne les enjeux de la résolution de ces problèmes :

« Outre les notions mathématiques en jeu, la résolution des problèmes atypiques doit permettre aux élèves de développer des compétences transversales, comme l'autonomie, la prise de décisions, la créativité, etc., qui leur seront utiles pour la suite de la scolarité et dans leur vie quotidienne. Elle doit aussi permettre aux élèves de rencontrer un certain nombre de

stratégies et de types de raisonnements qu'ils pourront transposer, en les adaptant autant que nécessaire, dans la résolution d'autres problèmes atypiques. » ¹(p.32)

Le guide propose différentes procédures de résolution qui ne sont pas à enseigner mais qui permettent de comprendre les stratégies des élèves et d'étayer en fonction des modélisations. Une ingénierie a été menée en cycle 2 auprès de groupes de 8 élèves sur un atelier de résolution de problèmes atypiques sur un cycle de 5 séances (Masson, 2022). L'objectif de cette ingénierie était de formaliser avec les élèves les clauses d'un contrat didactique de recherche. Pour cela, à chaque séance, un nouveau problème est proposé et à l'issue de l'atelier sont mises en évidence des nécessités (nécessité de tester toutes les solutions, nécessité de faire plusieurs essais, nécessité de comparer les solutions entre elles...). Cette recherche a mis en évidence une évolution notable des compétences en résolution de problèmes au cours de la séquence. En particulier, l'usage de dessins, de schémas, et le contrôle pas à pas de l'activité, ont permis aux élèves d'analyser leurs résultats et d'être plus autonomes dans la validation des solutions. Les nécessités construites ne sont pas des nécessités liées à un savoir mathématique, ces savoirs qu'ils soient ou non techniques, ne sont pas au programme, mais à l'activité mathématique attendue en résolution de problèmes atypiques.

Alors même que le programme insiste sur la nécessité d'automatiser la résolution des problèmes à étapes, nous faisons l'hypothèse qu'un travail autour des problèmes atypiques et l'explicitation du contrat didactique de recherche sont des pistes intéressantes pour changer le système d'attentes respectives entre les enseignants et les élèves. En particulier, cet enseignement peut changer l'attitude des élèves face aux essais et aux erreurs, au recours systématique et non raisonné d'opérations, et à la formulation d'une phrase réponse comme critère de validation. Ces attitudes sont bien à construire en résolution de problèmes numériques à étapes mais c'est le contexte des problèmes atypiques qui a permis de rendre explicites ces attitudes en faisant émerger les raisons.

Conclusion

Dans les trois exemples présentés, le CAP en mathématiques amène à une nouvelle répartition des responsabilités entre l'enseignant et les élèves – renégociation de certaines clauses du contrat didactique, responsabilité de l'analyse en géométrie, de la modélisation

¹ <https://eduscol.education.fr/251/mathematiques-cycle-3>

en analyse. La question principale est celle de la validation. Faire construire des nécessités aux élèves revient à leur faire construire les critères de validation leur permettant de contrôler leur travail. En géométrie, c'est par superposition au modèle qu'un tracé sera validé puis peu à peu par confrontation aux propriétés codées d'un schéma à main levée, ou par confrontation à la résistance de la construction avec le logiciel de géométrie. Pour l'enseignement des fonctions affines c'est par confrontation de différents registres de représentations ou différents cadres que la cohérence des résultats peut amener l'élève à valider ou non sa résolution.

L'enjeu d'un enseignement des mathématiques problématisé dépasse donc largement le domaine disciplinaire des mathématiques puisqu'il contribue au développement de l'esprit critique, l'autonomie et l'émancipation, la modélisation (Rayou, 2020). Il suppose cependant non seulement une organisation des savoirs mathématiques par classes de problèmes mais aussi de repenser la place des problèmes complexes dans les séquences d'enseignement. Il s'agit de repérer ce qu'il faut institutionnaliser suivant le stade d'acquisition des connaissances. Cela remet en particulier en cause une représentation très courante de l'enseignement des mathématiques du simple au complexe, de l'automatisation de techniques à leur transposition dans la résolution de problèmes complexes, d'un apprentissage premier du vocabulaire et des notations à une confrontation à de vrais enjeux de communication. Les tentatives de transposition des ingénieries présentées dans les classes ordinaires montrent que les enseignants sont tentés d'utiliser les problèmes comme des illustrations et non comme des situations de construction de nécessités. En fait, il est souvent plus simple de présenter aux élèves un savoir problématisé que de faire réellement problématiser les élèves. A ce stade, il est donc possible qu'un enseignement par problématisation puisse contribuer à creuser encore les inégalités entre élèves du fait de malentendus socioscolaires tels que les définit Rayou (2020).

Références bibliographiques

- Botton, H. (2021). Comprendre les résultats en mathématiques des élèves en France (Le zoom du CNESEO) [Note d'analyse].
- Brousseau, G. (2010). Dossier n°1 « Obstacles Epistémologiques » | Guy Brousseau. Guy Brousseau Didactique des mathématiques.
- Celi, V. (2016). Reproduire une figure géométrique plane à l'école primaire : Quand ? Comment ? Pourquoi ?
- Chesnais, A., Cross, D., & Munier, V. (2017). Étudier les effets de formations sur les pratiques : Réflexions sur les liens entre connaissances et pratiques. RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies, 15, Article 15.
- Choquet, C., & Grau, S. (2021). Analyse de la pratique des enseignants stagiaires en lien avec des dispositifs de formation : Croisements de deux cadres théoriques. Actes de la XXI^{ème} Ecole d'Été de Didactique des Mathématiques.

- Fabre, M., & Orange, C. (1997). Construction des problèmes et franchissement des obstacles. *ASTER*, 24, 37-57.
- Fondeville, B. (2018). Genèse et fonctions des doxas pédagogiques. *Education et formation*, e-310, 16-23.
- Grau, S. (2017). Problématisation en mathématiques : Le cas de l'apprentissage des fonctions affines. Bretagne Loire.
- Gueudet, G., & Vandebrouck, F. (2019). Entrée dans l'enseignement supérieur : Éclairages en didactique des mathématiques [Rapport de recherche]. CNESCO (Conseil national d'évaluation du système scolaire).
- Houdement, C. (2007). A la recherche d'une cohérence entre géométrie de l'école et géométrie du collège. *Repères IREM*, 67, 69-84.
- IREM de Poitiers Groupe Lycée. (2011). Enseigner les mathématiques en seconde : Trois parcours sur les fonctions. IREM.
- Kuzniak, A. (2011). L'espace de Travail Mathématique et ses genèses. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 16, 9-24.
- Mathé, A.-C., Barrier, T., & Perrin-Glorian, M.-J. (2020). Enseigner la Géométrie Elementaire—Enjeux, Ruptures et Continuités. *Academia*.
- Ministère de l'Education Nationale. (2023). Programme du cycle 1. BO, 25. <https://eduscol.education.fr/83/j-enseigne-au-cycle-1>
- Ministère de l'Education Nationale et de la Jeunesse. (2020a). Programme du cycle 2. BO, 31. <https://eduscol.education.fr/84/j-enseigne-au-cycle-2>
- Ministère de l'Education Nationale et de la Jeunesse. (2020b). Programme du cycle 3. BO, 31. <https://eduscol.education.fr/87/j-enseigne-au-cycle-3>
- Ministère de l'Education Nationale et de la Jeunesse. (2020c). Programme du cycle 4. BO, 31.
- Rayou, P. (2020). Des registres pour apprendre. *Education et didactique*, 14(2), 49-64.
- Rouquès, J.-P., Valade, L., & Gragnic, C. (2019). Des maths ensemble et pour chacun (Canopé).
- Vandebrouck, F. (2008). La classe de mathématiques : Activités des élèves et pratiques des enseignants - Fabrice Vandebrouck (Octares éditions).
- Vayssettes, S., & Rech, G. (2015). Qui a peur du Grand Méchant Maths ? PISA à la loupe, 48.
- Villani, C., & Torossian, C. (2018). 21 mesures pour l'enseignement des mathématiques. Ministère de l'Education Nationale et de la Jeunesse.