
DES PROBLÈMES TOUT AU LONG DU PROCESSUS D'ENSEIGNEMENT/APPRENTISSAGE

Sylvie COPPÉ¹

Université de Genève, équipe DiMaGe

Résumé. Nous cherchons à faire le point sur l'utilisation qui peut être faite des problèmes dans les classes de l'école primaire en proposant une nouvelle classification des problèmes qui puisse être opérationnelle pour les enseignant-es. Pour cela, nous faisons tout d'abord une étude des programmes scolaires français depuis 1945 pour montrer la diversité de ce qui a été désigné par problème ainsi que l'évolution des injonctions institutionnelles sur la résolution de problèmes. Puis, nous parcourons les théories didactiques et ressources didactiques pour mettre en avant leurs apports sur les problèmes mais aussi envisager de nouvelles questions.

Mots-clés. Résolution de problèmes, typologie de problèmes-problèmes objets d'enseignement, problèmes outils pour apprendre, analyse des programmes.

Introduction

La résolution de problèmes occupe une place centrale en mathématiques tant dans l'activité des mathématicien-es que dans l'enseignement dans un grand nombre de pays. En étudiant le cas de la France, nous constatons que, selon les époques, la résolution de problèmes a eu une place particulière, des fonctions et des rôles différents dans le processus d'enseignement/apprentissage. Le terme même de « problème » a été accompagné de divers qualificatifs tout au long des différents programmes.

Dans cet article, nous souhaitons faire le point sur ce qu'on peut regrouper derrière la résolution de problèmes actuellement en France en finissant par une typologie des problèmes en lien avec leurs utilisations dans les classes.

Pour commencer, nous reprenons deux citations, une de Vergnaud (1989) et une de Brousseau (1998) qui résument bien l'objet de cet article puisque les auteurs affirment que le savoir se construit à partir des problèmes, que l'activité mathématique en classe repose essentiellement sur la résolution de problèmes et qu'il est donc nécessaire de déterminer la façon dont ceux-ci sont utilisés.

Dans ses aspects pratiques d'abord, mais aussi dans ses aspects théoriques, le savoir se forme à partir de problèmes à résoudre, c'est-à-dire de situations à maîtriser (Vergnaud, 1989, p. 52).

Un élève ne fait pas de mathématiques s'il ne se pose et ne résout pas de problèmes. Tout le monde est d'accord là-dessus. Les difficultés commencent lorsqu'il s'agit de savoir quels problèmes il doit se poser, qui les pose, et comment (Brousseau, 1998, p. 115).

Dans les programmes français, l'importance de la résolution de problèmes est fortement soulignée et encore davantage depuis une quarantaine d'années (nous y reviendrons) comme en

¹ sylvie.coppe@unige.ch

témoigne cette citation, provenant d'un document institutionnel récent (MENJS, 2022, le Guide sur la Résolution de problèmes mathématiques au cours moyen) qui, en mettant l'accent sur la place centrale de la résolution de problèmes dans les apprentissages indique que celle-ci est à la fois le but (montrer que l'on a appris une notion en la mobilisant dans les problèmes) mais aussi le moyen de l'apprentissage. Nous verrons que nous retrouvons fréquemment ces deux facettes dans les textes officiels sur les problèmes.

Aujourd'hui, il y a un consensus sur la place centrale que doit occuper la résolution de problèmes dans l'enseignement des mathématiques à l'école primaire comme au collège et dont le programme de mathématiques du cycle 3 se fait le relais : « 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 » (MENJS, 2022, p. 10).

Dans la citation qui suit, l'importance de la résolution de problèmes est à nouveau affirmée par un autre argument plus universel : son rôle essentiel pour doter les citoyen·es du XXI^e siècle de compétences importantes voire fondamentales pour toutes celles et tous ceux qui seront amené·es à vivre dans un monde complexe. La dernière phrase répète que la résolution de problèmes est à la fois la finalité de l'enseignement mais aussi le moyen de l'acquisition des connaissances.

Les éducateurs, les gouvernements, les employeurs et les chercheurs mettent systématiquement en avant la résolution de problèmes lorsqu'ils évoquent les compétences du XXI^e siècle. En effet, dans le contexte sociétal actuel, les citoyens ont de plus en plus besoin de compétences d'analyse et de raisonnement pour la résolution de situations et de tâches complexes. La résolution de problèmes mathématiques à l'école primaire et au collège a pour objectif de contribuer au développement de ces compétences. Elle permet également aux élèves de consolider leurs connaissances mathématiques, de développer des compétences mathématiques (chercher, modéliser, représenter, raisonner, calculer, communiquer), d'être actifs et de renforcer leur confiance en eux. Savoir résoudre des problèmes est une finalité de l'enseignement des mathématiques à l'école élémentaire, mais aussi le vecteur principal d'acquisition des connaissances et des compétences visées (MENJS, 2022, p. 7).

Mais l'activité de résolution des problèmes en mathématiques se révèle difficile pour les élèves comme en témoignent les études statistiques, telles les évaluations de début de CE1 de 2023 (DEPP, 2023a) qui montrent que seul·es 47,7% d'élèves de CE1 sont au-dessus du seuil 2, c'est-à-dire ni dans le groupe à besoins ni dans le groupe fragile¹ ; il y a donc plus de la moitié de cette cohorte qui est en-dessous du seuil jugé acceptable. De plus les résultats ne s'améliorent pas beaucoup puisque des difficultés sont signalées pour 44,9 % des élèves de début de 4e pour l'évaluation de 2023 (DEPP, 2023b).

Si l'on considère les résultats de l'enquête PRAESCO² 2019 (Allard et al., 2021) sur les pratiques enseignantes à l'école primaire, on peut noter que seulement la moitié (49 %) des enseignant·es interrogé·es déclarent proposer souvent ou très souvent des problèmes pour introduire des notions mathématiques, que 46 % proposent des problèmes complexes (souvent ou très souvent) et enfin on tombe à 39 % d'enseignant·es qui proposent des problèmes plus originaux (« non travaillés en classe auparavant »). Ces résultats nous montrent que la pratique de la résolution de problèmes est mise en œuvre par la moitié des enseignant·es alors que chez les autres, elle reste moins fréquente, voire rare. Ceci peut paraître surprenant puisque, comme nous l'avons dit, depuis une quarantaine d'années (début des années 80, fin de la période des

² PRAtiques d'Enseignement Spécifiques aux COntenus.

mathématiques modernes³), les programmes mettent fortement l'accent sur la pratique de la résolution de problèmes en classe. En nous appuyant sur notre expérience de formatrice et sur nos recherches, nous pensons que ces résultats révèlent des difficultés d'enseignement persistantes qui peuvent provenir d'une maîtrise insuffisante des savoirs mathématiques et/ou didactiques, ou bien d'une gestion de classe non adaptée. Ainsi, concernant les premiers, on peut penser à des difficultés dans le choix des problèmes (suffisamment consistants sans être trop durs à un niveau donné), dans la détermination de ce qui est à apprendre/appris et enfin dans les aides à apporter aux élèves (aider ni trop ni trop peu, sans faire à la place de l'élève). Sur la gestion de classe, nous savons par expérience que gérer les différences de rapidité, l'alternance de travaux individuels, de groupe, les mises en commun et les interactions entre enseignant·e et élèves peut constituer des difficultés si l'enseignant·e n'est pas suffisamment formé·e.

D'ailleurs, ces difficultés d'enseignement peuvent être également un élément d'explication pour les difficultés des élèves mais, comme actuellement aucune étude ne met en lien les pratiques enseignantes et les apprentissages des élèves, nous ne pouvons que faire cette hypothèse.

Dans cet article, après avoir indiqué quelques définitions du terme « problème », nous ferons une analyse rapide des programmes de l'école primaire depuis 1945 pour montrer les évolutions du rôle, de la place et de la variété des problèmes. Dans la partie suivante, nous ferons un tour d'horizon des problèmes dans les travaux de didactique des mathématiques. Cela nous conduira à proposer une typologie des problèmes pour la classe afin de donner des outils aux enseignant·es pour mieux programmer leurs séquences de classe. Et enfin nous ouvrirons notre réflexion sur les questions concernant les apprentissages des élèves.

1. Problème

Selon le Dictionnaire de l'Académie française, à l'origine, le terme problème vient du grec *problēma* qui donne l'idée de quelque chose qui empêche d'avancer, qui résiste :

XIV^e siècle. Emprunté, par l'intermédiaire du latin problema, « problème, question à résoudre », du grec problēma, « saillie, promontoire », puis « tâche, question, problème », lui-même dérivé de proballein, « jeter devant soi, lancer », puis « proposer une tâche, poser une question »⁴.

Donc, dès la définition, on note qu'un problème ne se résout pas d'emblée facilement et qu'un travail est nécessaire pour dépasser cette difficulté, pour surmonter cet obstacle.

Les chercheur·es en éducation ont proposé de nombreuses définitions. Nous retenons les deux suivantes car tout d'abord elles reprennent bien l'idée de la résistance. Puis ensuite, elles mettent en avant le rapport entre le sujet et la situation (ainsi un énoncé peut être un problème pour certains élèves et pas pour d'autres) et également le rapport entre le sujet et ses apprentissages (ainsi un énoncé peut être un problème à un moment donné et n'en est plus un, une fois des apprentissages réalisés) :

[...] une situation initiale avec un but à atteindre, demandant à un sujet d'élaborer une suite d'actions ou d'opérations pour atteindre ce but. Il n'y a problème que dans un rapport sujet/situation, où la solution n'est pas disponible d'emblée, mais possible à construire. C'est à

³ Cf., dans la partie 2., la résolution de problèmes au moment des mathématiques modernes. Pour autant, nous ne disons pas qu'il n'y avait pas de problème à résoudre pendant cette période mais ceux-ci étaient différents notamment en ce qui concerne les thèmes mathématiques abordés.

⁴ <https://www.dictionnaire-academie.fr/article/A9P4381>

dire aussi qu'un problème pour un sujet donné peut ne pas être un problème pour un autre sujet, en fonction de leur niveau de développement intellectuel par exemple (Brun, 1990, p. 2).

La situation doit véritablement poser « problème » à la personne qui la découvre : si la personne connaît d'emblée la démarche qui lui fournira la réponse, il n'y a pas de problème à résoudre. Cela signifie donc que la situation seule ne suffit pas pour définir le problème. D'autres facteurs doivent également être pris en compte : les acquis de la personne qui découvre la situation, le contexte dans lequel elle se trouve, les apprentissages qui ont été réalisés au préalable (Fagnant et Demonty, 2016 p. 10).

Ces définitions sont importantes car elles montrent bien le caractère relatif d'un problème selon le sujet et selon la situation. En classe, il nous semble essentiel que les enseignant-es soient capables de prévoir si un énoncé peut constituer un problème (et avec quel niveau de difficulté), qui ainsi permet une activité mathématique pertinente, pour la plupart des élèves à un niveau donné.

De plus, un problème est à distinguer de tâches techniques (comme poser une soustraction avec retenue ou une division) qui ne demandent pas l'élaboration d'une procédure mais son application et qui peuvent toutefois être difficiles pour des élèves. Il est donc important pour nous que les enseignant-es fassent ces distinctions pour organiser leurs progressions et pour prendre en compte les erreurs et difficultés des élèves. Nous y reviendrons dans la dernière partie.

Nous n'allons pas plus loin sur ces questions de définition de problème, nous renvoyons les lecteurs et lectrices au texte de Chanudet et Favier (2024a) pour des compléments.

Voyons maintenant, grâce à une rapide analyse des programmes d'enseignement de l'école primaire, comment le discours et les préconisations sur les problèmes ont évolué pour l'institution depuis les programmes de 1945 et, par conséquent, comment le rôle et la place des problèmes dans le processus d'enseignement/apprentissage a changé.

2. Évolution des programmes

En étudiant les programmes de l'école primaire en France depuis 1945 (Coppé et Houdement, 2010), nous avons dégagé trois grandes périodes jusqu'en 2010. Des études plus récentes faites dans d'autres pays francophones comme le Québec et la Suisse montrent une évolution semblable (Bednarz et Lajoie, 2018 ; Coppé, Essonier et Weiss, 2024) sur le rôle et la place des problèmes. Voici les principales étapes.

Dans les programmes de 1945 qui auront cours jusqu'en 1970 (à quelques modifications près) les problèmes sont en lien fort avec la vie courante, ce qui peut s'expliquer par le fait que l'école avait alors pour but de préparer à la vie domestique et professionnelle. Voici par exemple un extrait des instructions officielles sur le programme de 1945 pour le cours élémentaire dans lequel on explicite ce qui est exigible en matière de problème. La palette des problèmes à proposer est alors assez restreinte et cadrée par les situations de la vie courante assez reconnaissables (recettes/dépenses, facture et situations de proportionnalité). De la même façon, on connaît également les problèmes de robinet ou de trains posés au certificat d'études.

En principe on peut se borner aux problèmes dont la résolution ne demande qu'une seule opération, écrite ou mentale. Quand la solution demande plusieurs opérations, on peut en faciliter la recherche en demandant les étapes intermédiaires par des questions auxiliaires. Les quelques

types simples qui paraissent constituer le maximum de ce que l'on puisse demander à des élèves du Cours Élémentaire sont :

1. Une suite d'additions et de soustractions de petits nombres, par exemple, recettes et dépenses avec gain et perte.
2. Une facture simple : une ou deux multiplications et une addition.
3. Une addition ou une soustraction suivie d'une division.
4. Une division suivie d'une multiplication (Instructions officielles du 7 décembre 1945, p. 69).

La période 1970-1978 dite de la « réforme des mathématiques modernes » a mis les problèmes au second plan au profit de ce qu'on a appelé des « situations ». Comme on le voit dans la citation suivante, le but de l'enseignement change par rapport à la période précédente, l'objectif est alors de faire acquérir une maîtrise plus profonde des notions mathématiques pour continuer la scolarité. Ainsi, à ce moment-là, l'accent est mis sur l'enseignement des structures mathématiques (ensembles de nombres, étude des relations) et de la logique. Il est alors clairement indiqué que les problèmes de la période précédente ne sont plus suffisants, ils vont être remplacés ou complétés par l'étude de questions plus internes aux mathématiques.

L'enseignement mathématique à l'école élémentaire veut répondre désormais aux impératifs qui découlent d'une scolarité obligatoire prolongée et de l'évolution contemporaine de la pensée mathématique. Il s'agit dès lors de faire en sorte que cet enseignement contribue efficacement au meilleur développement intellectuel de tous les enfants de six à onze ans afin qu'ils entrent dans le second degré avec les meilleures chances de succès.

L'ambition d'un tel enseignement n'est donc plus essentiellement de préparer les élèves à la vie active et professionnelle en leur faisant acquérir des techniques de résolution de problèmes catalogués et suggérés par « la vie courante », mais bien de leur assurer une approche correcte et une compréhension réelle des notions mathématiques liées à ces techniques. Il semble que cela soit possible si, dès le début de la scolarité, le souci majeur du maître est de donner à ses élèves une formation mathématique véritable qui leur permette, d'une manière adaptée à leur âge, à partir de l'observation et de l'analyse de situations qui leur sont familières, de dégager des concepts mathématiques, de les reconnaître et de les utiliser dans des situations variées, de s'assurer ainsi la maîtrise d'une pensée mathématique disponible et féconde (Programme et instructions officielles, 1970, p. 3).

Des indications sur les problèmes n'apparaissent que dans les commentaires à la fin de la partie Nombres et calculs. Notons que dans les deux autres parties (Géométrie et Mesures), on ne trouve pas le terme « problème ». Le programme indique rapidement et sans autres précisions que les problèmes tels que ceux posés dans la période précédente ne sont pas abandonnés. Cependant, comme l'accent est mis sur d'autres tâches on peut penser que celles-ci vont devenir prépondérantes. Toujours dans les commentaires, est donnée une définition de problème dans laquelle est mise en avant une sorte de découpage en « situations élémentaires » et l'importance d'identifier des relations mathématiques pour avancer dans la résolution. Cette définition et ces indications sont donc tout à fait en accord avec les objectifs du programme et la vision des mathématiques de l'époque.

Il y a problème si, connaissant un certain nombre d'informations concernant une situation, on se propose de déduire de ces informations des renseignements non explicités initialement.

Résoudre un problème, c'est analyser la situation et les informations données, dégager éventuellement des chaînes de situations élémentaires, les schématiser afin de mettre en évidence les relations mathématiques qui les décrivent, utiliser ces relations et leurs propriétés pour en déduire les renseignements cherchés.

Les élèves doivent apprendre à passer d'une situation à un schéma mathématique qui la décrit ; inversement, un bon exercice consiste à imaginer des situations décrites par un schéma donné.

C'est dans de telles activités que s'affermir la pensée mathématique des élèves et qu'ils prennent mieux conscience du pouvoir qu'elle leur donne sur le monde extérieur (Programme et instructions officielles, 1970, p. 31).

Pour donner une idée plus précise des tâches proposées, voici un exemple de « situation » donné dans les commentaires du programme qui illustre les types de tâches proposées durant la période des mathématiques modernes pour le cours élémentaire (1^{re} et 2^e année).

Exemple 3 : Connaissant un couple d'éléments correspondants, trouver les opérateurs de l'un des quatre types précédents (additionner ; soustraire ; multiplier par ; diviser par) qui font passer de la première liste à la seconde



7	5	4	
14			8

(deux opérateurs possibles : additionner 7 ; multiplier par 2)

Figure 1 : Un exemple de « situation » au temps des mathématiques modernes
(Programme et instructions officielles, 1970, p. 16).

Dès 1978, les mathématiques modernes sont progressivement abandonnées. À partir de cette date, les textes des programmes sont plus longs et plus détaillés, ils sont souvent complétés par des documents d'accompagnement qui ont pour but de devenir des ressources pour les enseignant·es. De plus, sont également réalisées des réformes de structures comme par exemple l'introduction des cycles en 1991 ou du socle commun de connaissances et de compétences en 2006, qui ont des incidences sur les programmes. Par manque de place, nous ne les détaillons pas mais nous pointons quelques faits marquants pour notre propos.

Dans le programme de 1978, si on conserve le terme de « situation », les problèmes reprennent une place dans le programme :

C'est pourquoi on privilégiera les démarches pédagogiques à travers lesquelles les élèves sont toujours confrontés à des situations qu'ils doivent traiter. Il peut s'agir de situations conçues et proposées par l'enseignant qui exigent, soit l'introduction de nouvelles notions ou de nouvelles techniques, soit le réinvestissement de notions ou de techniques travaillées antérieurement dans des situations différentes (MEN, 1978, p. 19).

Dans les commentaires, on introduit les « situations problèmes » qui sont « beaucoup plus ouvertes, élaborées par l'enseignant ou par les élèves à propos desquelles la recherche peut s'exercer dans de multiples directions » (MEN, 1978). Il y a donc ici l'idée de mettre les élèves en recherche et non plus seulement de leur proposer des problèmes d'application directe.

En 1985, le terme « situation problème » est abandonné et on trouve alors des problèmes dans tous les domaines mathématiques (plus seulement dans le numérique), avec une palette plus grande qu'elle ne l'était dans les programmes de 1945. Une évolution notable apparaît sur le rôle des problèmes puisqu'il est indiqué qu'ils peuvent servir à introduire des notions (donc au début du processus d'enseignement pour montrer et travailler les raisons d'être des savoirs mathématiques) et pas seulement à les appliquer comme en témoigne la citation suivante.

Lors de l'introduction de notions nouvelles, les élèves sont mis en situation d'apprentissage actif : ils découvrent les notions comme des réponses à des problèmes.

On peut répartir ces problèmes en trois groupes :

- ceux qui permettent la construction de nouveaux outils mathématiques (par exemple l'introduction de la soustraction, de la multiplication, des nombres décimaux) ;
- ceux qui invitent à utiliser des acquis, à en percevoir éventuellement les limites d'utilisation, offrant ainsi au maître les moyens de contrôler le savoir (par exemple la construction d'un objet, l'agrandissement d'une figure, le premier apprentissage de la division euclidienne) ;
- ceux qui sont liés à une véritable recherche (par exemple trouver tous les patrons d'un cube) (MEN, 1985, p. 40).

La place centrale de la résolution de problèmes, dans tous les domaines mathématiques, en introduction et en réinvestissement, est à nouveau affirmée dans les programmes de 1995 mais c'est une autre classification qui est produite :

Les activités relatives à la résolution de problèmes portent sur :

- de véritables problèmes de recherche, pour lesquels l'élève ne dispose pas de démarche préalablement explorée ;
- des problèmes destinés à permettre l'utilisation des acquis antérieurs dans des situations d'application et de réinvestissement ;
- des problèmes destinés à permettre l'utilisation conjointe de plusieurs connaissances dans des situations plus complexes.

Un même problème, suivant le moment où on le propose, suivant les connaissances des élèves à qui on le destine et suivant la gestion qui en est faite, peut relever de l'une ou l'autre des catégories précédentes (MEN, 1995, p. 63).

En 2002, dans les documents d'accompagnement pour l'école primaire, à la fois pour les cycles 2 et 3, on note la présence d'un paragraphe sur les « *problèmes de recherche ou problèmes pour chercher* » et un autre sur « *les solutions personnelles et expertes* » pour bien marquer l'importance de la recherche des élèves. Cependant, ce paragraphe qui nous semble assez éclairant ne sera pas repris dans les programmes suivants.

Dès l'école élémentaire, les élèves peuvent être confrontés à de véritables problèmes de recherche, pour lesquels ils ne disposent pas de solution déjà éprouvée et pour lesquels plusieurs démarches de résolution sont possibles. C'est alors l'activité même de résolution de problème qui est privilégiée dans le but de développer chez les élèves un comportement de recherche et des compétences d'ordre méthodologique : émettre des hypothèses et les tester, faire et gérer des essais successifs, élaborer une solution originale et en éprouver la validité, argumenter. Ces situations peuvent enrichir leur représentation des mathématiques, développer leur désir de chercher, leurs capacités de résolution et la confiance qu'ils peuvent avoir dans leurs propres moyens (MJENR, 2002, p. 7).

Ensuite, il y a une accélération dans les changements de programmes et diverses classifications des problèmes sont proposées. Le rôle, la place et la variété des problèmes connaissent des évolutions, mais aussi quelquefois des retours en arrière, sans que toutefois l'idée que la résolution de problèmes est au cœur des apprentissages mathématiques ne soit remise en cause, comme en témoigne cette citation du programme de cycle 2.

Au cycle 2, la résolution de problèmes est au centre de l'activité mathématique des élèves, développant leurs capacités à chercher, raisonner et communiquer. Les problèmes permettent d'aborder de nouvelles notions, de consolider des acquisitions, de provoquer des questionnements. Ils peuvent être issus de situations de vie de classe ou de situations rencontrées dans d'autres

enseignements, notamment « Questionner le monde », ce qui contribue à renforcer le lien entre les mathématiques et les autres disciplines. Ils ont le plus souvent possible un caractère ludique. On veillera aussi à proposer aux élèves dès le CP des problèmes pour apprendre à chercher qui ne soient pas de simples problèmes d'application à une ou plusieurs opérations mais nécessitent des recherches avec tâtonnements (MENJS, 2020, p. 55).

En résumé, nous avons vu que, si le rôle essentiel de la résolution de problèmes a toujours été affirmé (certainement davantage encore depuis une quarantaine d'années), il y a eu des changements, selon les programmes, dans les discours sur la place des problèmes (au début du processus d'enseignement pour introduire ou à la fin pour montrer que l'on a appris) ou sur les différents types (notamment les problèmes de recherche). Nous pensons que ces nombreux changements, à la fois de programmes, d'injonctions faites aux enseignant·es, de dénomination des termes liés aux problèmes, de classifications auxquels s'ajoutent toutes les réformes de la formation des enseignant·es n'ont peut-être pas permis que s'installent des pratiques enseignantes pérennes sur la résolution de problèmes et ont rendu la tâche des enseignant·es plus difficile encore. C'est certainement un élément qui s'ajoute à ceux listés en introduction pour expliquer les pratiques très différenciées que pointe l'enquête PRAESCO sur les pratiques enseignantes à l'école primaire.

Cependant, au moment où nous écrivons cet article, de nouveaux programmes pour les cycles 1, 2 et 3 ont été publiés (MENJS, 2024, 2025). Ils comportent des changements importants qui nous laissent penser qu'ils sont en rupture avec l'évolution que nous venons d'étudier. Une analyse plus complète reste à faire, mais nous avons repéré quelques points qui nous alertent. En effet, même si les auteur·trices affirment que « la résolution de problèmes est au cœur de l'activité mathématique », toutes les autres indications semblent atténuer cette position. Tout d'abord, la résolution de problèmes apparaît comme un thème à enseigner au même titre que Nombres et Calcul alors que précédemment elle était en aplomb de ces thèmes (et des autres). De plus, pour chaque cycle, le programme donne une liste « des problèmes ayant les structures qui sont répertoriées ». Ce sont des problèmes arithmétiques dont quelques-uns proviennent de la catégorisation de Vergnaud (1989, 1991) comme par exemple, en cycle 2, les problèmes additifs parties-tout, de comparaison, etc. Les autres sont caractérisés par le nombre d'étapes sans que le terme « étape » soit défini (par exemple, en cycle 2, « des problèmes multiplicatifs en une étape » ou « des problèmes mixtes en deux ou trois étapes », etc). On peut donc se questionner sur ce que signifie « une étape » : est-ce une question ? une opération ? une ligne de calcul ? En tout cas, on note donc que, pour chaque cycle, la variété des problèmes semble réduite à ce qui est désigné par « types de problèmes basiques ».

Enfin, il est fait clairement référence à l'enseignement explicite « La résolution de problèmes arithmétiques fait l'objet d'un enseignement explicite », là encore sans autres précisions. Si c'est effectivement le modèle de Gauthier, Bissonnette et Richard (2013) qui est préconisé (même si ce n'est pas explicitement précisé) avec les trois phases de modelage, pratique guidée et pratique autonome, alors cela pourrait engendrer de grands changements dans les pratiques enseignantes puisque, selon nous, dans ce modèle l'enseignant·e montre et les élèves imitent. Par conséquent, nous nous demandons si l'objectif de ces nouveaux programmes n'est pas de former et d'entraîner les élèves à ne résoudre que les problèmes qui sont répertoriés plutôt que de favoriser la recherche, la créativité et l'autonomie.

Voyons maintenant comment, parallèlement à cette évolution des programmes, les travaux de recherche en didactique des mathématiques sur la résolution de problèmes ont été nombreux et variés et ont permis de produire des résultats et des ressources pour les enseignant·es.

3. Des problèmes, encore des problèmes

Dans cette partie, nous allons faire un tour d'horizon rapide sur les problèmes dans les recherches en didactique des mathématiques ou plus généralement en *Math Education*. Les travaux initiaux de Pólya (1945), dans lesquels ce mathématicien tente de comprendre et de décrire comment des expert·es résolvent des problèmes de mathématiques, l'ont amené à définir quatre étapes dans la résolution : comprendre le problème, concevoir un plan, le mettre à exécution et examiner la solution obtenue ; étapes qu'on a ensuite tenté d'entraîner. Même si ces expériences n'ont pas vraiment été concluantes et si le modèle de Pólya a souvent été détourné voire remis en cause, il n'en reste pas moins que ces travaux ont ouvert le développement, dès les années 60 aux États-Unis, du courant de recherche dit du « problem-solving », dont de nombreux chercheurs se réclament comme par exemple Schoenfeld (1985).

Au-delà de ce cas, dans un grand nombre de pays, les problèmes ont pris une place fondamentale dans l'enseignement comme dans les pays de l'Est ou de l'Asie de Sud Est (Dindyal et Clivaz, 2018).

Par la suite, d'autres chercheurs (Cai et al., 2013 ; Silver et Cai, 1996) ont développé le courant du « problem posing » en mettant en avant l'idée que, pour les élèves, c'est la capacité à poser des problèmes qui est au cœur des apprentissages mathématiques. Ces travaux semblent prometteurs mais encore peu développés dans la recherche française et encore moins dans les classes.

Considerable variability also exists across the collection regarding the explicit or implicit purposes for problem posing evident in the studies. In some cases, problems are posed so that others may solve them, such as when teachers pose problems for their students or when students pose problems for their classmates to solve. In other cases, subjects are asked to pose problems for themselves. And in some cases, the motivation for the task presented to the problem poser is likely not clear to the poser, beyond the fact that the researcher has requested that a problem be posed (Silver, 2013, p. 159)⁵.

En France, dès les années 1980, les travaux des didacticien·nes des mathématiques (que nous ne reprenons pas ici dans le détail) se développent dans des directions complémentaires, des théories sont construites dans lesquelles les problèmes ont une grande place que ce soit dans la théorie des situations didactiques (Brousseau, 1986, 1990, 1998), dans la théorie anthropologique du didactique (Chevallard, 1998, 1999) ou dans celle des champs conceptuels (Vergnaud, 1989, 1991). Par exemple, dans la théorie des situations didactiques, Brousseau affirme l'existence de situations fondamentales qui permettent d'appréhender le sens des concepts mathématiques.

Chaque connaissance peut se caractériser par une (ou des) situation adidactique qui en préserve le sens et que nous appellerons situation fondamentale (Brousseau, 1998, p. 59).

Il introduit les notions de dévolution, d'institutionnalisation, de contrat didactique et de milieu qui sont des outils d'analyse essentiels pour les chercheur·es.

Dans la didactique moderne, l'enseignement est la dévolution à l'élève d'une situation adidactique, correcte, l'apprentissage est une adaptation (Brousseau, 1998, p. 60).

⁵ Il existe également une grande variabilité en ce qui concerne les objectifs explicites ou implicites de la formulation des problèmes qui ressortent des études. Dans certains cas, les problèmes sont posés pour que d'autres puissent les résoudre, comme lorsque les enseignants posent des problèmes à leurs élèves ou lorsque les élèves posent des problèmes à leurs camarades de classe pour qu'ils les résolvent. Dans d'autres cas, les sujets sont invités à poser des problèmes pour eux-mêmes. Et dans certains cas, la motivation de la tâche présentée au poseur de problème n'est probablement pas claire pour ce dernier, si ce n'est que le chercheur a demandé qu'un problème soit posé.

Vergnaud (1989) met l'accent sur l'étude de la variété des problèmes qui permettent de donner du sens à un concept. Les classifications des problèmes additifs d'une part et multiplicatifs d'autre part qu'il a produites sont des outils à la fois pour les chercheurs et les formateurs.

C'est un objectif prioritaire, dans la recherche en didactique, que de rechercher, analyser et classer, aussi exhaustivement que possible, les situations-problèmes qui donnent sa signification et sa fonction à un concept. Cela permet en premier lieu de faire appel dans l'enseignement à une plus grande variété de relations et de problèmes ; en second lieu d'approfondir l'épistémologie d'un concept, c'est-à-dire principalement sa fonction (à quels problèmes il répond) et son assise (sur quels autres concepts il s'appuie) (Vergnaud, 1989, p. 52).

Les multiples travaux qui vont s'inscrire dans ces courants de recherche ou bien les ressources produites à destination des enseignants constitueront des références et des outils pour la formation. On pourra également noter quelques influences sur certains programmes ou manuels scolaires.

Voici par exemple une citation de Douady (1992) qui met l'accent sur le lien entre les connaissances mathématiques et la capacité à les mobiliser dans la résolution de problèmes :

Rappelons que pour nous, un élève a des connaissances en mathématiques, s'il est capable d'en provoquer le fonctionnement comme outils explicites dans des problèmes qu'il doit résoudre, qu'il y ait ou non des indicateurs dans la formulation, s'il est capable de les adapter lorsque les conditions habituelles d'emploi ne sont pas exactement satisfaites, pour interpréter des problèmes ou poser des questions à leur propos (Douady, 1992, p. 141).

De plus, Douady (1986, 1992) énonce « des conditions générales sur des problèmes de nature à créer une situation d'apprentissage » :

- *L'énoncé (contexte et questions) a du sens pour les élèves.*
- *Compte tenu de leurs connaissances, les élèves peuvent engager une procédure de résolution, mais ils ne peuvent pas résoudre complètement le problème.*
- *Les connaissances visées par l'apprentissage (contenu ou méthode) sont des outils adaptés au problème.*
- *Le problème peut se formuler dans au moins deux cadres différents (cf. Jeux de cadres) (Douady, 1986, p. 13).*

Cette caractérisation sera reprise par Arsac et al. (1991) pour définir les situations problèmes qui, selon ces auteurs, visent à introduire un concept mathématique. Nous avons également vu dans la partie précédente que le terme « situation problème » a été introduit dans les programmes de 1978 jusqu'en 1985 (pour désigner des problèmes de recherche).

À partir des années 90, en s'appuyant sur des recherches, se développent des dispositifs qui ont pour objectifs de mettre les élèves en recherche sur des problèmes qui sont moins courants que ceux proposés dans le cadre de la classe. Il s'agit notamment des problèmes ouverts (Arsac, Germain et Mante, 1991)⁶, du débat scientifique (Legrand, 1990), des situations de recherche pour la classe (Eysseric, 2002 ; Grenier et Payan, 2002). Dans sa thèse, Georget (2009) les recense et les nomme activités de recherche et de preuve entre pairs (ARPP) pour mettre en avant leur volonté commune de transférer en classe l'activité de recherche des mathématicien·es.

L'expression activité de recherche et de preuve entre pairs désigne les activités dont l'objectif principal est d'entraîner les élèves à la démarche de recherche en mathématiques et aux échanges entre pairs à la manière des mathématiciens professionnels. Elles permettent de travailler des

⁶ En fait, ce n'est pas vraiment le problème qui est ouvert mais bien sa résolution par les élèves puisqu'elles et ils ne disposent pas de méthode déjà connue.

notions principalement paramathématiques qui sont liées à l'activité de recherche d'un mathématicien. Le ou les problèmes mathématiques qui la composent sont une partie du dispositif conduisant à ces apprentissages d'où l'utilisation du terme activité (Georget, 2009, p. 77).

À titre d'exemple, nous pouvons citer le problème bien connu des diagonales d'un polygone (Combien y a-t-il de diagonales dans un polygone de 10 côtés, 100 côtés, etc. ?) ou bien certains des problèmes que l'on trouve dans la rubrique Points de départ de cette revue *Grand N*.

De plus, Georget (2009) introduit ce qu'il nomme des potentiels (de recherche, de résistance, de résistance dynamique, de débat et didactique) qui permettent de faire l'analyse de ces problèmes tant sur le plan mathématique pour les notions à apprendre et pour l'activité de recherche que sur le plan des interactions entre élèves avec notamment un travail sur l'argumentation et les preuves. La caractérisation par les potentiels nous apparaît alors comme un complément à l'analyse *a priori*.

Dans un autre contexte, le rapport Rocard (Rocard et al., 2007), écrit pour l'OCDE, déplore la désaffection des élèves pour les sciences et il avance l'hypothèse qu'une des causes se trouve dans l'enseignement trop descendant, comme en témoigne cette recommandation du rapport.

Renverser la pédagogie utilisée pour enseigner les sciences à l'école, en la faisant passer de méthodes essentiellement déductives à des méthodes basées sur l'investigation, permet d'augmenter l'intérêt des jeunes pour les sciences (Rocard et al., 2007, p. 2).

Pour résoudre ce problème de la désaffection, le rapport promeut la démarche d'investigation IBSL (Inquiry Based Sciences Learning), inspirée de Dewey (1910, 1993) et retravaillée plus récemment par Linn, Davis et Bell (2004) qui en donnent la définition suivante.

*Par définition, une investigation est un processus intentionnel de diagnostic des problèmes, de critique des expériences réalisées, de distinction entre les alternatives possibles, de planification des recherches, de recherche d'hypothèses, de recherche d'informations, de construction de modèles, de débat avec des pairs et de formulation d'arguments cohérents*⁷ (Linn, Davis et Bell, 2004).

Le rapport indique que cette méthode permet de développer l'intérêt des élèves pour les sciences, mais aussi de favoriser les apprentissages.

L'enseignement des sciences basé sur la démarche d'investigation (Inquiry-based science education - IBSE) a montré son efficacité à accroître l'intérêt et les niveaux de réussite des enfants et des étudiants, tant au niveau primaire que secondaire, tout en renforçant la motivation des professeurs. L'IBSE est efficace avec tous les types d'élèves, du plus faible au plus doué, et est entièrement compatible avec l'ambition d'excellence. De plus, l'IBSE permet de promouvoir l'intérêt et la participation des filles aux activités scientifiques.

Enfin, l'IBSE et les approches déductives traditionnelles ne sont pas mutuellement exclusives, et doivent être combinées afin de s'adapter à la diversité des façons de penser et des préférences des élèves, qui évoluent au fil des âges (Rocard et al., 2007, p. 2).

Cependant, le rapport précise que, pour les mathématiques, c'est bien la résolution de problèmes qui reste l'approche privilégiée pour des raisons épistémologiques liées à ce champ disciplinaire. Enfin la dernière partie de cette citation met l'accent sur les problèmes comme source des apprentissages.

En ce qui concerne l'enseignement des mathématiques, la communauté éducative préfère parler « d'apprentissage basé sur les problèmes » (PBL) plutôt que d'IBSE. En réalité, l'enseignement des mathématiques peut facilement utiliser une approche basée sur les problèmes alors que, dans

⁷ Notre traduction.

de nombreux cas, l'approche expérimentale s'avère plus difficile. L'enseignement basé sur les problèmes désigne un environnement d'apprentissage dans lequel les problèmes guident l'apprentissage. Autrement dit, l'apprentissage commence par un problème à résoudre et le dit problème est posé de façon à obliger les enfants à acquérir de nouvelles connaissances avant même l'étape de résolution proprement dite. Plutôt que de rechercher une réponse correcte unique, les enfants interprètent le problème, recueillent les informations nécessaires, identifient les solutions possibles, évaluent les différentes options disponibles et formulent des conclusions. (Rocard et al., pp 10- 11).

À la suite de ce rapport, des travaux de recherche sur les démarches d'investigation ont été menés et, en mathématiques, la palette des problèmes proposés s'est élargie pour proposer de véritables investigations comme par exemple, dans le problème suivant, proposé par le MEN dans la banque de situations d'apprentissage et d'évaluation de compétence en 2011 :

Amélie ne ferme jamais bien le robinet du lavabo de la salle de bain, sa maman le lui reproche. « Ce ne sont que des gouttes » répond Amélie. « Sais-tu ce que coûtent ces gouttes au bout d'un an ? », demande la maman.

Pour résoudre ce problème, les élèves vont devoir mobiliser leurs connaissances notamment sur la proportionnalité mais également rechercher des informations (par exemple le prix de l'eau), ce qui peut se faire notamment grâce aux outils technologiques, mais aussi élaborer une expérimentation pour recueillir des gouttes d'eau, ce qui suppose des choix explicites. On note donc que ce genre de situations élargit les conceptions de la notion de problème (notamment toutes les informations ne sont pas données, il n'y a pas qu'une seule solution) et engagent les élèves dans un travail de planification pour cette recherche d'informations, ce qui correspond bien à la définition de Linn et al. (2004).

En résumé de cette partie, nous voulons souligner combien les recherches en didactique ont permis d'obtenir des résultats, de proposer des développements, de construire des ressources sur la résolution de problèmes selon différents points de vue comme :

- la variété des types de problèmes qui peuvent être travaillés en classe,
- les différentes places des problèmes dans le processus d'enseignement,
- les modalités de gestion de classe permettant un réel engagement des élèves dans la tâche,
- les apprentissages des élèves avec ou sur la résolution de problèmes,
- plus récemment, les aides à apporter aux élèves en résolution de problèmes.

Cependant, là encore, dans cette partie, nous notons une diversité de termes, de contextes et de situations qui risquent de rendre difficile le travail des enseignant-es pour se retrouver dans cet environnement riche mais complexe.

4. Des classifications

Pour avancer sur cette question, voyons maintenant de quels problèmes on parle actuellement dans l'enseignement ou en formation. Récemment, Houdement (2017) a introduit l'idée de trois types de problèmes en se limitant au domaine de l'arithmétique (nous pensons que cette classification peut être assez facilement transposée à d'autres domaines, moyennant quelques adaptations) :

- Les problèmes basiques, qui sont composés notamment des problèmes verbaux à une opération, la plupart en référence à ceux donnés par la catégorisation des problèmes additifs/soustractifs d'une part et d'autre part multiplicatifs/divisifs de Vergnaud (1990).

En faisant référence aux travaux de Julo (1995), elle indique que ces problèmes sont ou devraient être traités par les élèves de façon automatique, en fonction du degré d'enseignement. De plus, leur étude pourrait être davantage organisée afin qu'ils participent à enrichir notre mémoire des problèmes. Cette idée est exemplifiée dans un dispositif spécifique par Priolet (2014).

Cette catégorie recouvrirait les problèmes à deux données [resp. $2n+1$ données pour les problèmes liés à la proportionnalité], où il s'agit de déterminer une troisième valeur [resp. une $(2n+2)^e$], à énoncé court, syntaxe simple, sans information superflue : les « one step problems » (Houdement, 2017, p. 64).

- Les problèmes complexes vus comme « des agrégats de « problèmes basiques » ».

La complexité des problèmes peut venir en effet de la distance, dans l'énoncé, entre des informations qui devront être connectées pour la construction de la réponse (Houdement, 2017, p. 64).

Un travail du résolveur est en effet de construire des sous-problèmes (pas nécessairement basiques au sens one step problems) qui soient calculables (id est, dont on puisse obtenir la réponse avec les données fournies). Le résolveur doit donc (re)connaître des problèmes calculables, même si tous le lui serviront pas nécessairement pour la réponse finale (Houdement 2018, p. 120).

- Et enfin les problèmes a-typiques :

[...] définis justement par leur caractère non routinier, le fait qu'on suppose que les élèves ne disposent pas de stratégies connues pour les résoudre, qu'ils doivent en inventer de toutes pièces, en s'appuyant sur leurs connaissances passées, notamment leur mémoire des problèmes (Houdement, 2017, p. 64).

Nous ne remettons pas en cause cette typologie, mais nous souhaitons l'enrichir par quelques distinctions. Cette typologie a été reprise dans le guide « La résolution de problèmes mathématiques au cours moyen » de 2022, mais elle a été un peu modifiée, les problèmes basiques devenant les problèmes en une étape, ce qui nous semble un changement assez notable car on peut, encore une fois, se demander ce qui signifie « une étape ».

À notre tour, nous souhaitons proposer une classification qui tient compte de tous les travaux précédents et qui nous semble opérationnelle pour les enseignant-es dans la conduite de leur enseignement.

4.1. Problèmes comme objets d'enseignement ou comme outils

Nous commençons par une première distinction issue du travail fait dans l'équipe DiMaGe⁸, dans le cadre d'un projet FNS⁹, dans lequel nous avons distingué ce que nous appelons les problèmes comme outils d'enseignement et les problèmes comme objets d'enseignement.

Dans un premier temps, nous avons distingué deux contextes de recherche selon que les problèmes sont vus comme outils pour les apprentissages ou comme objets travaillés pour eux-mêmes. Les problèmes outils sont ceux qui sont proposés dans le cadre de l'enseignement de notions mathématiques identifiées dans les plans d'études, alors que les problèmes objets sont proposés pour que les élèves se rapprochent du travail mathématique des expert-es en favorisant la démarche scientifique, la recherche ou l'investigation (Coppé et Dorier, 2024, p. 18).

Cette distinction nous paraît essentielle pour comprendre les différents enjeux de la résolution de problèmes à l'école et pour mettre en œuvre un enseignement de et avec la résolution de

⁸ Didactique des mathématiques à Genève.

⁹ Projet FNS Fond national suisse - Subside no 100019_173105/1 - Période du 31-08-2017 au 31-01-2022.

problèmes qui permet à l'enseignant·e de différencier ses objectifs et la façon de gérer la classe. En effet, avec cette distinction, nous réaffirmons que c'est bien sa place et sa fonction dans la progression d'enseignement qui caractérise le problème et non sa nature. Voyons maintenant les différences essentielles entre les problèmes utilisés en tant qu'objet d'enseignement ou qu'outils en nous centrant sur les enjeux d'enseignement et d'apprentissage dans chaque cas, les exigences que peut avoir l'enseignant·e, la gestion de classe et l'évaluation.

Les problèmes proposés comme outils d'enseignement visent à travailler les raisons d'être d'un savoir (Chevallard, 1997, 1998, 1999) dans un système praxéologique. C'est-à-dire à faire rencontrer aux élèves les différents problèmes qui sont possiblement résolus en utilisant certains concepts ou notions et à travailler voire à entraîner des techniques avec leurs justifications.

Dans sa version la plus exigeante, la rencontre culturelle-mimétique conduit en principe à rechercher et à expliciter discursivement les raisons d'être de l'organisation mathématique ainsi rencontrée, c'est-à-dire les motifs pour lesquels celle-ci a été construite, ou pour lesquels, du moins, elle continue à vivre dans la culture mathématique contemporaine (Chevallard, 1997, p. 20).

Si l'on se réfère à la théorie des champs conceptuels de Vergnaud (1991), les problèmes comme outils permettent de travailler sur les différents sens des notions enseignées comme c'est par exemple le cas des problèmes additifs ou multiplicatifs.

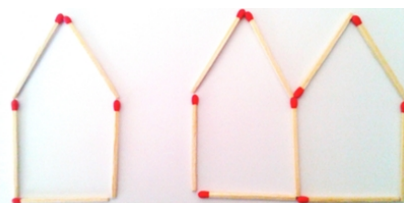
Certains de ces problèmes peuvent être proposés pour introduire un savoir nouveau (dans ce cas nous nous rapprochons des situations problèmes selon Douady (1986) ou Arsac et al. (1991)), d'autres peuvent être donnés pour entraîner les élèves (désignés selon les cas dans les manuels par problèmes de réinvestissement ou d'entraînement voire exercices) et enfin d'autres, plus complexes (ils peuvent être désignés dans les manuels par différents termes comme problèmes de synthèse, pour aller plus loin, etc.) nécessiteront de mobiliser des connaissances sans que celle-ci soient clairement indiqués et d'articuler plusieurs connaissances. Robert et Rogalski (2002) puis Roditi et Salles (2015) proposent des critères d'analyse des énoncés de problèmes selon ce qu'elles et ils nomment les « niveaux de mise en fonctionnement des connaissances ». Robert et Rogalski (2002) distinguent trois grandes catégories d'énoncés : ceux « qui conduisent à des applications simples et isolées », ceux « dont la résolution nécessite une certaine disponibilité des connaissances » chez le sujet et ceux qui constituent « les applications intermédiaires, non simples ou/et non isolées : diverses adaptations, divers contextes ». Ainsi, en ce qui concerne les problèmes donnés pour s'entraîner ou pour réinvestir des connaissances, ces critères peuvent permettre de proposer une variété de problèmes selon ces trois catégories, d'adapter les énoncés et d'en organiser une progression dans un thème ou chapitre donné en vérifiant que tous ces types d'énoncés ont été rencontrés par les élèves. De plus, cette classification est bien utile pour analyser les problèmes proposés dans des évaluations comme l'a fait, par exemple, Lacey (2024).

Sur un thème donné, il appartient donc aux enseignant·es d'élaborer une progression dans les problèmes, en choisissant ceux qui seront donnés en introduction puis en réinvestissement, puis les problèmes plus complexes. Les travaux de Chevallard (1997, 1998 et 1999), qui développent les notions d'organisations mathématiques et didactiques, sont une référence précieuse pour élaborer ou analyser des séquences de classe en prenant en compte la variété des problèmes proposés. Ainsi, l'organisation mathématique pour laquelle on détermine des types de tâches permet de mettre en avant des problèmes caractéristiques qui vont donner du sens à une notion mathématique et donc d'envisager une certaine couverture du domaine. De même, l'organisation didactique en termes de moments de l'étude pourra rendre compte de l'alternance entre des

premières rencontres de ces problèmes et du travail sur leur traitement en utilisant des techniques qui sont amenées à évoluer.

Les problèmes comme objets d'enseignement sont constitués de problèmes qui ont pour objectif de faire vivre une activité de recherche dans la classe. Ils correspondent aux problèmes ouverts, aux démarches d'investigation, aux activités RPP, à certains jeux à l'école maternelle et à une partie des problèmes a-typiques de la classification de Houdement. Souvent, c'est parce que les connaissances en jeu ne sont pas enseignées à certains niveaux scolaires que certains de ces problèmes sont classés dans les problèmes de recherche alors qu'à des niveaux plus élevés, ils deviendront des problèmes outils. Plusieurs exemples peuvent être donnés sans que cette liste soit exhaustive. On peut penser aux problèmes qui aboutissent à des systèmes d'équations à plusieurs inconnues qui sont proposés à l'école primaire sachant que les élèves vont mettre en place des stratégies d'essais ajustements (avec comme objectif d'apprentissage à ce niveau, la gestion des ajustements) alors qu'au collège les élèves auront appris une procédure experte plus systématique. On peut également penser aux problèmes dits « de patterns », comme celui-ci-après, qui conduisent à une généralisation (par la demande du nombre d'allumettes pour 100 cabines qui peut difficilement être résolu par dessin et comptage) et qui peuvent être proposés à l'école primaire (cf. Wozniak, 2021 pour d'autres exemples) :

Apolline et Victor sont en camp d'été à la mer. Pendant les heures les plus chaudes, en dessous de leur parasol, ils regardent les cabines de plage et s'amuse à en reproduire avec des allumettes selon le modèle ci-dessous :



a) Combien faut-il d'allumettes pour construire 2 cabines ? 3 cabines ? 4 cabines ? 8 cabines ? 100 cabines ?

À ce niveau de scolarité, l'objectif d'apprentissage sera plus spécifiquement la reconnaissance de régularités qui permettent la production d'une méthode de calcul pour 100 cabines (peut-être même déjà pour 8). Notons qu'à cette occasion, les élèves peuvent aussi produire des formules générales mais ce n'est pas l'objectif premier. Ce problème peut être aussi proposé pour introduire l'algèbre au niveau du collège, mais alors l'énoncé devra être complété par une demande plus explicite de généralisation comme « Combien faut-il d'allumettes pour construire n'importe quel nombre de cabines ? ». Dans ce cas, il sera classé dans les problèmes outils pour enseigner l'algèbre.

4.2. Quelles conditions pour la classe ?

Une fois cette distinction faite (et nous rappelons que cela ne dépend pas forcément du problème en lui-même), voyons quelles sont les conséquences sur la pratique de la classe selon les points suivants :

- les objectifs d'enseignement et d'apprentissage,
- la gestion de classe,
- l'évaluation.

Les problèmes comme objets d'apprentissage

Si le problème est proposé pour travailler l'activité même de résolution de problèmes (problème comme objet), il doit tout d'abord pouvoir être suffisamment résistant pour que la recherche puisse avoir lieu. C'est pourquoi, comme nous venons de le préciser, ce sont souvent des problèmes dont les savoirs mathématiques en jeu ne sont pas enseignés au niveau scolaire donné qui sont choisis. Cela a plusieurs conséquences. Tout d'abord, les enseignant·es ne peuvent pas attendre des procédures expertes et doivent souvent gérer plusieurs procédures personnelles produites par les élèves (mais aussi des procédures non abouties ou erronées). Cela suppose que les enseignant·es aient une bonne formation mathématique et didactique pour pouvoir anticiper toutes ces réponses.

Cela signifie également que les objectifs de l'enseignant·e portent alors sur l'apprentissage de méthodes de recherche tant d'un point de vue général (créativité, persévérance, organisation, etc.) que d'un point de vue mathématique (heuristiques, modélisation, schématisation, justification, argumentation, vérification, etc.). Or Choquet Pineau (2014) qui a étudié des séances de problèmes ouverts à l'école primaire puis Chanudet (2019) dont la thèse portait sur le dispositif « Démarches mathématiques et scientifiques », proposé à Genève au niveau du collège, ont montré que les enseignant·es observé·es avaient du mal à identifier ce qui pouvait être appris lors de telles séances. Elles ont également mis en avant la diversité des pratiques des enseignant·es, concluant que les élèves avaient finalement eu des activités mathématiques et des apprentissages très différents. Dans sa thèse, Favier (2022) a observé des élèves en train de résoudre des problèmes par essais ajustements à différents niveaux de scolarité et il a montré que si les élèves étaient capables de faire des essais (nombreux pour certain·es), elles ou ils avaient des difficultés à les prendre en compte pour faire des ajustements. En conclusion, il propose que la gestion des ajustements puisse constituer un objectif d'apprentissage mathématique et que ce travail sur les ajustements soit rendu plus explicite par des éléments d'institutionnalisation.

Ceci est à mettre en lien avec l'évaluation de la résolution de problèmes dans ces conditions. En effet, l'évaluation devra être fondée sur des critères qui permettent de mesurer les compétences que nous avons citées, toutes ou plus probablement certaines selon le problème et/ou le moment où il est posé. Ainsi, l'évaluation portera davantage sur des éléments du processus que sur le résultat. Chanudet (2019) a montré certaines difficultés des enseignant·es pour élaborer et mettre en œuvre des évaluations de la résolution de problèmes et elle a souligné la diversité des pratiques des enseignant·es observé·es.

En conclusion, nous pouvons noter que la définition des objectifs d'enseignement/apprentissage ainsi que l'élaboration d'évaluations de la résolution de problèmes dans ce cas ouvrent de nombreuses questions et pistes de recherche. Des éléments de réponse sont donnés par Hersant (2010). Ils sont situés dans une perspective de transposition didactique des savoirs en jeu dans le cas des problèmes pour chercher (mettant en avant notamment la nécessité de preuve) comme le montre cette citation :

Dans un objectif de formation aux mathématiques comme sciences expérimentales, la mise en oeuvre de ces principes consiste d'abord à faire évoluer les élèves d'une rationalité qui relève de l'empirisme naïf où la connaissance provient uniquement de l'expérience et reste contingente [...] vers une rationalité qui relève du rationalisme où la connaissance provient de l'expérience menée et observée avec raison pour évacuer, au moins en partie, la contingence [...] (Hersant, 2010, p. 38).

À la suite, Chanudet et Favier (2021, 2024b) proposent de considérer les différentes démarches, les modes de raisonnement et de preuves comme les savoirs en jeu dans le cas des problèmes

considérés comme objets d'enseignement. Il nous semble que ce sont des pistes prometteuses à développer.

Il faut également que les conditions de gestion de classe permettent cette recherche grâce à une durée suffisante, éventuellement un travail de groupe pour permettre des discussions entre élèves pour expliquer ou pour justifier. Enfin, un moment de mise en commun est indispensable pour montrer la variété des procédures éventuellement les hiérarchiser selon leur simplicité, leur efficacité, ou leur domaine de validité, etc.

Le problème comme outil d'enseignement

Si maintenant le problème constitue un outil pour enseigner, différents cas sont à étudier selon que le problème est proposé en introduction d'une notion mathématique ou en réinvestissement, mais, dans tous les cas, c'est bien un travail sur le sens des notions mathématiques à enseigner qui est proposé. Cela ne veut bien sûr pas dire nous négligeons les apprentissages de techniques qui se font en parallèle.

Nous reprenons la citation suivante de Brousseau (1998) pour indiquer les conditions d'un apprentissage :

Nous savons que le « seul » moyen de faire des mathématiques, c'est de chercher et résoudre certains problèmes spécifiques et, à ce propos, de se poser de nouvelles questions. Le maître doit donc effectuer, non la communication d'une connaissance, mais la dévolution du bon problème. Si cette dévolution opère, l'élève entre dans le jeu et s'il finit par gagner, l'apprentissage s'opère (Brousseau, 1998, p. 61).

Lorsque les problèmes sont proposés en introduction, un des objectifs de l'enseignant·e est de confronter les élèves à de véritables questions pour lesquelles elles et ils n'ont pas de connaissances ou de procédures disponibles et doivent donc adapter leurs connaissances anciennes pour trouver une méthode de résolution qui sera non experte. Par exemple, si l'on reprend le problème des cabines de plage ci-dessus, l'enseignant·e ne peut attendre des expressions littérales mais elle ou il pourra s'appuyer sur les formules produites en langue naturelle ou avec un symbolisme particulier (comme des abréviations ou des « ? ») pour aller vers la désignation de variables et l'établissement d'expressions littérales. L'alternance de phases de dévolution et d'institutionnalisation joue alors un rôle essentiel pour enrichir le milieu et faire avancer le temps didactique. En général, ces résolutions de problèmes ne sont évaluées que de façon formative afin de permettre à l'enseignant·e de prendre des informations sur les différentes productions des élèves et ainsi les organiser, les hiérarchiser et ensuite les prendre en compte lors de l'institutionnalisation.

La question de l'évaluation se pose de façon différente lors des problèmes de réinvestissement puisqu'il s'agit de vérifier que les élèves ont appris. L'évaluation portera alors davantage sur le produit fini et des feedback seront donnés aux élèves sur leurs apprentissages des notions en jeu.

La gestion de classe sera également différente puisque dans le premier cas, il est essentiel de laisser du temps aux élèves pour la recherche et pour permettre des mises en commun avec éventuellement des discussions entre élèves sur la pertinence des solutions. Dans le second cas, il s'agit pour l'élève de montrer qu'il a appris et donc le temps de recherche est forcément raccourci.

Dans le cas des problèmes complexes au sens de Houdement (2017), un des objectifs d'enseignement est de vérifier que les élèves savent reconnaître et utiliser des notions mathématiques lorsque celles-ci ne sont pas clairement indiquées ou bien sont dans des contextes

non familiers. Dans cette catégorie, les élèves sont bien amenés à chercher, la résolution n'est pas immédiate, mais les problèmes proposés ne sont pas les mêmes que les problèmes objets d'apprentissage (à un niveau scolaire donné bien sûr). Cependant, les compétences travaillées sont en partie les mêmes et sont réinvesties.

En résumé, voici un schéma qui reprend les diverses catégories. Nous avons séparé les problèmes comme outils ou comme objets par leurs objectifs d'enseignement/apprentissage tout en gardant une frontière commune pour matérialiser d'une part, que chaque problème n'est pas figé dans une catégorie et d'autre part, pour signifier que ce qui a été appris dans chaque cas peut être mobilisé et mobilisable pour les deux types. Selon nous, les problèmes basiques au sens de Houdement (2017) se retrouvent à la fois dans les problèmes d'introduction et de réinvestissement.

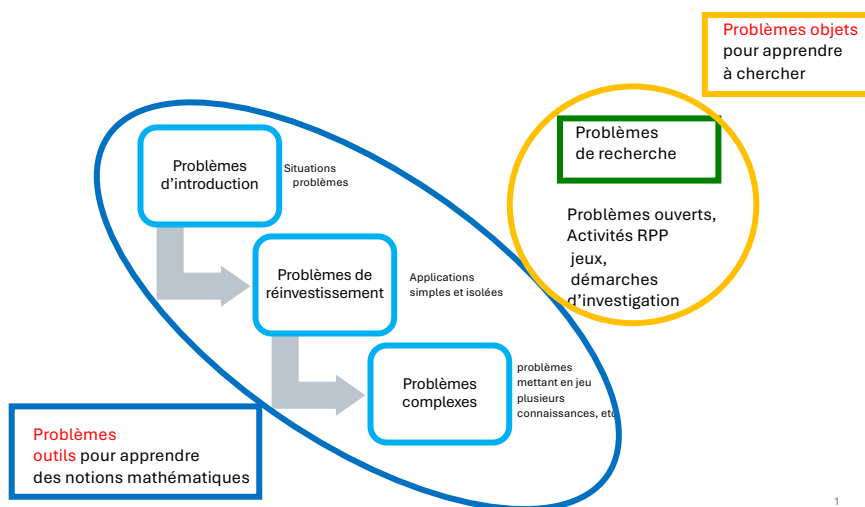


Figure 2 : La classification des problèmes.

Nous pensons que cette classification peut aider les enseignant·es à organiser leurs séquences et séances de classe dans lesquelles la résolution de problèmes occupe une place importante, sans toutefois oublier, comme nous l'avons dit, les séances qui portent davantage sur l'apprentissage des techniques. Ainsi, il nous semble important de bien distinguer les fonctions de la résolution de problèmes à la fois dans le temps d'enseignement et dans les savoirs et savoir-faire en jeu afin de mettre en cohérence et en synergie les problèmes utilisés avec les différents objectifs d'apprentissage, les modalités de travail et d'organisation de la classe et les types d'évaluations et leurs critères.

Conclusion

Nous avons tenté de faire une synthèse sur l'enseignement actuel de et par la résolution de problèmes en France, de proposer une classification des problèmes dans le processus d'enseignement. Cette question du rôle et de la place de la résolution de problèmes dans le processus d'enseignement/apprentissage n'est pas nouvelle et de nombreuses réponses ont été

apportées selon les époques, ce qui a pu se traduire par des injonctions (suivies ou non) dans les programmes français en même temps que les recherches en didactique des mathématiques se développaient et proposaient de nouveaux cadres d'analyses ou de nouvelles ressources. Nous avons montré que les enseignant·es avaient été soumis·es à de nombreuses injonctions parfois contradictoires et cela nous a amené à proposer notre propre typologie des problèmes dans la classe de mathématiques afin d'utiliser les problèmes dans le processus d'apprentissage à divers moments, avec divers objectifs et en prenant en compte l'évaluation.

Pour finir, et afin d'envisager de nouvelles pistes de recherche, nous voulons envisager le point de vue des élèves et la façon dont elles et ils résolvent les problèmes. En effet une meilleure connaissance des processus en jeu dans la résolution de problèmes pourrait fournir des outils aux enseignant·es pour gérer les séances de résolution de problèmes et pour proposer des aides aux élèves. Le travail qualitatif de Favier (2022) sur l'analyse de la façon dont des élèves résolvent des problèmes d'essais ajustements donne des éclairages intéressants en termes d'heuristiques. Il faudrait reprendre ce type d'étude sur d'autres types de problèmes, notamment les problèmes basiques au sens de Houdement (2017). Cela permettrait de questionner les analyses en termes de contrat didactique ou bien de ce qui est actuellement désigné comme des démarches superficielles ou des analyses superficielles de l'énoncé (Auquière, Demonty et Fagnant, 2018 ; Verschaffel et De Corte, 2008).

Nous avons déjà mentionné les travaux de Pólya, qui propose un modèle de la résolution de problèmes. Ce modèle a souvent été utilisé de façon un peu détournée dans l'enseignement, notamment en proposant un découpage linéaire de la résolution de problèmes et en entraînant les élèves à chacune des étapes. Plusieurs articles critiques ont été consacrés à ces méthodes qui ont émergé à différentes époques (Balmes et Coppe, 1999 ; Coppé et Houdement, 2002 ; Goulet, 2018 ; Goulet et Voyer, 2023a, 2023b ; Julo, 1995). Selon nous, ces études s'accordent sur plusieurs points avec de multiples facettes. D'un côté, il est important de considérer que la résolution de problèmes en mathématiques est une activité complexe par nature et qu'il est essentiel de développer des compétences de recherche dans le cadre de l'enseignement des mathématiques. Or certain·es enseignant·es peuvent avoir des conceptions de l'apprentissage et/ou des mathématiques qui les empêchent de laisser leurs élèves face à cette complexité. On trouve donc des aides qui sont proposées de façon systématique, pour toute la classe et avant que des difficultés se posent ce qui soulève des interrogations sur leur efficacité (Coppé et Daina, 2023). D'un autre côté, il y a une réelle difficulté à aider des élèves bloqués ou en difficulté lors de la résolution de problèmes et il existe encore peu de ressources efficaces pour les enseignant·es. Il est donc important que des recherches se développent dans ce sens (Allard et Cavalier, 2020 ; Fagnant et Demonty, 2016 ; Fagnant, Hindryckx et Demonty, 2008). Ces ressources, qui visent à aider les élèves, se caractérisent par le fait que ce sont des aides globales portant sur le processus de résolution et non des aides ponctuelles sur ce qui pourrait s'apparenter à une étape du processus. Il nous semble donc que s'ouvrent des pistes prometteuses, pour la recherche en didactique des mathématiques, afin de développer une meilleure connaissance des processus de résolution utilisés par les élèves.

Références bibliographiques

Allard, C. & Cavelier, S. (2020). *Maths en ateliers. Résoudre des problèmes cycle 3*. Nathan.

- Allard, C., Masselot, P., Peltier-Barbier, M.-L., Roditi, E., Solnon, A. & Tempier, F. (2021). *Premiers résultats de l'enquête sur les pratiques d'enseignement des mathématiques, PRAESCO, en classe de CM2 en 2019*. Note d'information DEPP.
- Arsac, G., Germain, G., & Mante, M. (1991). *Problème ouvert et situation-problème*. IREM de Lyon.
- Auquier, A., Demonty, I. & Fagnant, A. (2018). Impact des structures sémantiques et de l'introduction des schématisations sur les performances et les démarches de résolution de problèmes. *Annales de didactiques et de sciences cognitives*, 23, 41-68.
- Balmes, R. M. & Coppe, S. (1999). Les activités d'aide à la résolution de problèmes en cycle 3. *Grand N*, 63, 39-58.
- Bednarz, N. & Lajoie, C. (2018). La résolution de problèmes au Québec au cours du 20^e siècle. Dans J.-L. Dorier, G. Gueudet, M.-L. Peltier, A. Robert & E. Roditi (éds), *Enseigner les mathématiques. Didactique et enjeux de l'apprentissage* (p. 421-453). Belin Education.
- Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 7(2), 33-116.
- Brousseau, G. (1990). Le contrat didactique et le concept de milieu. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 9(3), 309-336.
- Brousseau, G. (1998). Théories des situations didactiques. La pensée sauvage.
- Brun, J. (1990). La résolution de problèmes arithmétiques : Bilan et perspectives. *Math École*, 141, 2-15.
- Cai, J., Moyer, J.-C., Wang, N., Hwang, S., Bikai, N. & Garber, T. (2013). Mathematical problem posing as a measure of curricular effect on students' learning. *Educational Studies in Mathematics*, 83, 57-69.
- Chanudet, M. (2019). *Étude des pratiques évaluatives des enseignants dans le cadre d'un enseignement centré sur la résolution de problèmes en mathématiques*. [Thèse de doctorat en Sciences de l'Éducation, Université de Genève].
- Chanudet, M. & Favier, S. (2021). Les démarches et modes de raisonnement en jeu dans les problèmes de « Recherche & stratégies » en 10H. *Revue de mathématiques pour l'école*, 235, 88-98.
- Chanudet, M. & Favier, S. (2024a). Aperçu de la diversité des approches sur la résolution de problèmes. Dans S. Coppé & J.-L. Dorier (dir.), *La résolution de problème au cœur de l'activité mathématique. Enjeux pour l'enseignement et l'apprentissage* (p. 29-52). EDP sciences UGA Editions.
- Chanudet, M. & Favier, S. (2024b). La résolution de problèmes comme objet : Pratiques évaluatives des enseignant-es et activité de recherche des élèves. Dans S. Coppé & J.-L. Dorier (éds), *La résolution de problème au cœur de l'activité mathématique. Enjeux pour l'enseignement et l'apprentissage*. (p. 141-208). EDP sciences UGA Editions.

- Chevallard, Y. (1997). Familiale et problématique, la figure du professeur. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 17(3), 17-54.
- Chevallard, Y. (1998). Analyse des pratiques enseignantes et didactiques des mathématiques : L'approche Anthropologique. Dans R. Noirfalise (dir.), *Analyse des pratiques enseignantes et didactiques des mathématiques. Actes de l'Université d'été de didactique de La Rochelle* (p. 119-140). IREM de Clermont Ferrand.
- Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 19(2), 221-265.
- Choquet-Pineau, C. (2014). *Une caractérisation des pratiques de professeurs des écoles lors de séances de mathématiques dédiées à l'étude de problèmes ouverts au cycle 3*. [Thèse de doctorat en didactique des mathématiques, Université de Nantes].
- Coppé, S. & Daina, A. (2023). Résolution de problèmes : Les élèves sont-ils en train d'apprendre ou sont-ils en difficulté ? *Revue de mathématiques pour l'école*, 240, 69-79.
- Coppé, S. & Dorier, J.-L. (2024). Introduction. Dans S. Coppé & J.-L. Dorier (éds), *La résolution de problèmes en mathématiques. Enjeux pour l'enseignement et l'apprentissage*. (p. 15-30). EDP sciences UGA Editions.
- Coppé, S., Essonier, N. & Weiss, L. (2024). Historique des plans d'études genevois et romands sur la résolution de problèmes. Dans S. Coppé & J.-L. Dorier (éds), *La résolution de problèmes en mathématiques : Enjeux pour l'enseignement et l'apprentissage*. (p. 55-88). EDP sciences UGA Editions.
- Coppé, S. & Houdement, C. (2002). Réflexions sur les activités concernant la résolution de problèmes à l'école primaire. *Grand N*, 69, 53-62.
- Coppé, S. & Houdement, C. (2010). Résolution de problèmes à l'école primaire : Perspectives curriculaire et didactique. Dans C. Houdement, C. Bulf, P. Danos, P. Eysseric, P. Masselot, C. Ouvrier-Buffet, M.-J. Perrin Glorian, A. Simard (dir.), *L'Enseignement des Mathématiques à l'Ecole : Où est le Problème ?* (p. 48-71). Actes du 26^e colloque de la COPIRELEM.
- Dewey, J. (1910). *How we think*. D.C. Heath and company.
- Dewey, J. (1993). *Logique, la théorie de l'enquête*. PUF.
- Dindyal, J. & Clivaz, S. (2018). Un aperçu du curriculum de mathématiques à Singapour. *Grand N*, 102, 41-55.
- Douady, R. (1986). Jeux de cadres et dialectique outil-objet. *Recherches en didactique des mathématiques*, 7(2), 5-31.
- Douady, R. (1992). Des apports de la didactique des mathématiques à l'enseignement. *Repères IREM*, 6, 132-158.
- Eysseric, P. (2002). Les ateliers de recherche en mathématiques (expérimentation dans les classes et formation des professeurs des écoles). *Grand N*, 70, 7-34.

- Fagnant, A. & Demonty, I. (2016). *Résoudre des problèmes : Pas de problème ! Guide méthodologique et documents reproductibles en ligne 10/12 ans*. De Boeck.
- Fagnant, A., Hindryckx, G. & Demonty, I. (2008). La résolution de problèmes au cycle 5-8. Présentation d'un outil méthodologique à l'usage des enseignants. *Bulletin d'Informations pédagogiques*, 60, 3-14.
- Favier, S. (2022). *Étude des processus de résolution de problèmes par essais et ajustements en classe de mathématiques à Genève*. [Thèse de doctorat en Sciences de l'Éducation, Université de Genève].
- Gauthier, C. Bissonnette, S. & Richard, M. (2013). *Enseignement explicite et réussite des élèves. La gestion des apprentissages*. De Boeck.
- Georget, J.-P. (2009). *Activités de recherche et de preuve entre pairs à l'école élémentaire : Perspectives ouvertes par les communautés de pratique d'enseignants*. [Thèse de doctorat en didactique des mathématiques, Université Paris-Diderot - Paris VII].
- Goulet, M.-P. (2018). *Méthodes de résolution de problèmes écrits de mathématiques présentées au primaire : Pratiques associées et effets de ces méthodes sur l'activité mathématique des élèves*. [Thèse de doctorat en Sciences de l'Éducation, Université du Québec à Rimouski, Canada].
- Goulet, M.-P. & Voyer, D. (2023a). L'utilisation de la méthode « ce que je sais, ce que je cherche » en classe de mathématiques : Analyse de productions d'élèves. *Revue de mathématiques pour l'école*, 299, 3-15.
- Goulet, M.-P. & Voyer, D. (2023b). Que pensent les élèves des méthodes imposées en résolution de problèmes écrits en mathématiques ? *Grand N*, 112, 83-101.
- Grenier, D. & Payan, C. (2002). Situation de recherches « en classe » : Essai de caractérisation et proposition de modélisation. Dans V. Durand Guerrier & C. Tisseron (dir.), *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques* (p. 189-205).
- Hersant, M. (2010). *Empirisme et rationalité au cycle 3, vers la preuve en mathématiques*. [Mémoire complémentaire pour l'Habilitation à diriger des recherches, Université de Nantes].
- Houdement, C. (2017). Résolution de problèmes arithmétiques à l'école. *Grand N*, 100, 59-78.
- Houdement, C. (2018). Problèmes arithmétiques basiques : le cœur du problème. Dans J. Pilet & C. Vendeira (éds), *Actes du séminaire de didactique des mathématiques* (p. 114-121).
- Julo, J. (1995). *Représentation des problèmes et réussite en mathématiques : Un apport de la psychologie cognitive à l'enseignement*. Presses universitaires de Rennes.
- Lacek, Y. (2024). La résolution de problèmes et la démarche d'investigation : Le cas du Baccalauréat International. Dans S. Coppé & J.-L. Dorier (éds), *La résolution de problèmes en mathématiques. Enjeux pour l'enseignement et l'apprentissage* (p. 299-366). EDP sciences UGA Editions.

- Legrand, M. (1990). Rationalité et démonstration mathématiques, le rapport de la classe à une communauté scientifique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 9(3), 365-406.
- Linn, M. C., Davis, E. A. & Bell, P. (2004). *Internet environments for science education*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Pólya, G. (1945). *How to solve It*. Princeton NJ.
- Priolet, M. (2014). Enseignement-apprentissage de la résolution de problèmes numériques à l'école élémentaire : Un cadre didactique basé sur une approche systémique. *Éducation et didactique*, 8(2), 59-86.
- Robert, A. & Rogalski, M. (2002). Comment peuvent varier les activités mathématiques des élèves sur des exercices ? Le double travail de l'enseignement sur les énoncés et sur la gestion en classe. *Petit x*, 60, 6-25.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H. & Hemmo, V. (2007). *L'enseignement scientifique aujourd'hui : Une pédagogie renouvelée pour l'avenir de l'Europe*. Commission européenne.
- Roditi, E. & Salles, F. (2015). Nouvelles analyses de l'enquête PISA 2012 en mathématiques, un autre regard sur les résultats. *Éducation et formations*, 86-87(11), 235-255.
- Schoenfeld, A. H. (1985). *Mathematical problem solving*. Academic Press Inc.
- Silver, E. A. & Cai, J. (1996). An analysis of arithmetic problem posing by middle school students. *Journal for Research in Mathematics Education*, 27(5), 521-539.
- Silver, E. A. (2013). Problem-posing research in mathematics education : Looking back, looking around, and looking ahead. *Educational Studies in Mathematics*, 83, 157-162.
- Vergnaud, G. (1989). Psychologie et développement cognitif et didactique des maths un exemple : Les structures additives. *Petit x*, 22, 51-69.
- Vergnaud, G. (1991). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(2.3), 133-170.
- Verschaffel, L. & De Corte, E. (2008). Apprendre et enseigner les mathématiques : Un cadre conceptuel pour concevoir des environnements d'enseignement-apprentissage stimulants. Dans M. Crahay, L. Verschaffel, E. De Corte & J. Grégoire, *Enseignement et apprentissage des mathématiques. Que disent les recherches psychopédagogiques ?* (p. 153-176). De Boeck Supérieur.
- Wozniak, F. (2021). Modéliser au cycle 3 : Les problèmes de généralisation. *Grand N*, 107, 53-77.
- Direction de l'Évaluation, de la Prospective et de la Performance (2023a). *Évaluations 2023. Repères CP CE1. Premiers résultats. Série Etudes. Document de travail 2023-E05*.

- Direction de l'Évaluation, de la Prospective et de la Performance (2023b). *Évaluations de début de 4e 2023. Premiers résultats. Série Etudes. Document de travail 2023-08.*
- Ministère de l'Éducation Nationale (1978). *Objectifs et programmes du cycle élémentaire des écoles primaires. Arrêté du 7 juillet 1978.*
- Ministère de l'Éducation Nationale (1985). *École élémentaire. Programmes et instructions.* CNDP. Le livre de Poche.
- Ministère de l'Éducation Nationale (1995). *Programmes de l'école primaire.* CNDP.
- Ministère de la Jeunesse, de l'Éducation nationale et de la Recherche Direction de l'enseignement scolaire (2002). *Documents d'application des programmes. Mathématiques cycle des apprentissages fondamentaux (cycle 2).* CNDP.
- Ministère de l'Éducation nationale de la Jeunesse et des Sports (2020). Programme du cycle 2. *BO n° 31 du 30 juillet 2020.*
- Ministère de l'Éducation nationale de la Jeunesse et des Sports (2022). *La résolution de problèmes mathématiques au cours moyen.*
- Ministère de l'Éducation nationale de la Jeunesse et des Sports (2024). Programmes d'enseignement des premiers outils mathématiques au cycle 1. *BO du 31 octobre 2024.*
- Ministère de l'Éducation nationale de la Jeunesse et des Sports (2024). Programmes d'enseignement de mathématiques pour le cycle 2. *BO du 31 octobre 2024.*
- Ministère de l'Éducation nationale de la Jeunesse et des Sports (2025). Programmes d'enseignement de français et mathématiques du cycle de consolidation (cycle 3). *BO du 27 mars 2025.*