**Olivier LEBRETON**

# COMPRÉHENSION DES PROBLÈMES ARITHMÉTIQUES ADDITIFS À PLUSIEURS ÉTAPES ET STRATÉGIES DE RÉSOLUTION CHEZ DES ÉLÈVES DE CYCLE 3

## IMPACT DE LA FORMULATION DES SOUS-BUTS ET DU NIVEAU HIÉRARCHIQUE DES ITEMS

***Résumé :*** En nous situant dans le cadre du modèle de construction-intégration de Kintsch (1988,1998), la compréhension des problèmes arithmétiques additifs à plusieurs étapes ainsi que leur résolution par les élèves de cycle 3 sont étudiées à travers trois habillages différents : LIVRE, ARBRE et POISSON. De façon précise, deux facteurs sont testés : l'explicitation des sous-buts et le nombre d'objets impliqués. Les résultats obtenus confirment l'implication du processus de catégorisation et le principe de substituabilité davantage maîtrisé par les élèves plus âgés. La procédure de traitement séparé des items (PTS) est majoritairement utilisée par les élèves et ce sont ceux de 6$^{ème}$ qui tirent profit des formulations distinctes des énoncés pour une augmentation significative de l'utilisation de la procédure traitement groupé des items (PTG).

***Mots-clefs :*** compréhension, problème arithmétique à plusieurs étapes, base de texte, modèle de situation, modèle de problème, formulation des énoncés, sous-buts, modèle de construction-intégration.

## INTRODUCTION

Le bulletin officiel du 26 novembre 2015 fixe le cadre général des nouveaux programmes de l'école élémentaire et du collège. Il y est rappelé que le cycle 3 implique désormais les classes de CM1, CM2 et 6$^{ème}$. Dans le domaine de la résolution de problèmes, les professeurs des écoles et les professeurs de mathématiques sont invités à proposer des problèmes relevant à la fois des structures additives et des structures multiplicatives. Les problèmes à plusieurs étapes sont au programme et les nouveaux repères de progressivité précisent qu'ils doivent être proposés à tous les niveaux du cycle privilégiant tout d'abord « des problèmes dont la solution engage une démarche à une ou plusieurs étapes indiquées dans l'énoncé à des problèmes, en 6$^{ème}$, nécessitant l'organisation de données multiples ou la construction d'une démarche. »[1]

Du côté de la recherche, la résolution de problèmes arithmétiques à énoncés verbaux est considérée comme une activité complexe faisant l'objet de nombreuses investigations scientifiques depuis plusieurs décennies en psychologie, en didactique des mathématiques ou encore en sciences de l'éducation (Levain, Le

[1] *Bulletin officiel* spécial n° 11 du 26 novembre 2015

Borgne & Simard, 2006 ; Galisson, 2009 ; Voyer & Goulet, 2013). Si dans un premier temps les problèmes à une étape ont focalisé l'attention des chercheurs (Riley, Greeno & Heller, 1983 ; Kintsch & Greeno, 1985, Vergnaud, 1990), les recherches s'appuyant sur des problèmes à plusieurs étapes mobilisent de plus en plus différentes équipes scientifiques (Gamo, Taabane & Sander, 2011 ; Voyer & Goulet, 2013). Ces problèmes arithmétiques sont particulièrement intéressants car ils admettent différentes stratégies de résolution donnant de précieuses informations sur la représentation sous-jacente construite par les élèves comparativement aux problèmes à une étape (Gamo, Nogry & Sander, 2014 ; Thevenot & Oakhill, 2006 ; Thevenot, 2008). Au-delà des performances, les études récentes montrent que la formulation des énoncés oriente également les procédures de résolution.

L'étude présentée ici se situe dans cette lignée et se centre sur des problèmes arithmétiques à énoncés verbaux exclusivement additifs à plusieurs étapes. Un problème comme *« Il y a dans la bibliothèque de la ville de Saint-Pierre une salle de lecture pour les enfants. Ils peuvent emprunter les romans et les bandes dessinées qui sont dans cette salle. Pour le premier jour des vacances, 85 romans et 94 bandes dessinées sont disponibles. À la fin du premier jour des vacances, des enfants ont emprunté 34 romans et 42 bandes dessinées. Combien de livres en tout sont toujours disponibles pour les autres enfants ? »* se trouve au cœur de nos préoccupations depuis la thèse (Lebreton, 2011).

Nous présenterons dans un premier temps sur les principaux modèles de la compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques à énoncés verbaux en nous focalisant d'une part, sur la nature de la représentation élaborée suite à la compréhension des énoncés (Kintsch & Greeno, 1985 ; Reusser, 1990 ; Staub & Reusser, 1995) et d'autre part, sur les processus cognitifs mis en jeu. Ces derniers sont particulièrement détaillés dans les travaux de Kintsch (1988, 1998) et Kintsch et Lewis (1993). Dans un deuxième temps, nous préciserons les différents facteurs mis en évidence dans la littérature susceptibles d'orienter la construction de la représentation à savoir le mode d'agencement des objets de l'énoncé (Léger, Sander, Richard, Brissiaud, Legros & Tijus, 2002), la présence d'un élément structurant (Coquin-Viennot & Moreau, 2003) ou encore l'explicitation des sous-buts (Thevenot & Oakhill, 2005 ; Thevenot, 2008). Enfin, sera présentée l'étude réalisée.

## LES PRINCIPAUX MODÈLES DE LA COMPRÉHENSION DES ÉNONCÉS DE PROBLÈMES ARITHMÉTIQUES

L'élaboration d'une représentation multi-niveaux en mémoire passe par un certain nombre d'étapes que nous allons décrire : la base de texte, le modèle de problème, le modèle de situation.

### *La base de texte*

Il est admis en psychologie cognitive que le processus de compréhension de texte aboutit à l'élaboration d'une représentation en mémoire (Blanc & Brouillet, 2006). Articulant un modèle général de la compréhension de texte (Kintsch & Van Dijk, 1978 ; Van Dijk & Kintsch, 1983) et un modèle de la résolution de problèmes (Riley, Greeno & Heller, 1983), Kintsch et Greeno (1985) proposent un modèle de compréhension et de résolution de problèmes arithmétiques additifs simples qui privilégie l'élaboration d'une représentation multi-niveaux en mémoire. La base de texte est le premier niveau. Il s'agit d'un réseau propositionnel constitué des propositions directement extraites du texte, appelées micro-propositions, et de la transformation de certaines de ces dernières en propositions d'un niveau plus élevé de généralité, appelées macro-propositions. Micro-propositions et macro-propositions constituent respectivement la microstructure et la macrostructure du niveau sémantique de la représentation. La macrostructure est construite à partir de plusieurs règles récursives telles que la suppression, la généralisation ou encore la construction (Van Dijk & Kintsch, 1983).

*Le modèle de problème*

À partir de cette base de texte, va se construire un deuxième niveau de représentation : le modèle de problème. Il s'agit d'une structure de type schématique, représentation abstraite des problèmes arithmétiques, disponible en mémoire à long terme. Thevenot, Barrouillet et Fayol (2004) considèrent que le contact répété avec des problèmes arithmétiques favorise un apprentissage implicite de leurs caractéristiques invariantes. Ces auteurs décrivent trois schémas distincts : le schéma « Transfert », le schéma « Partie-Tout » ou le schéma « Plus que et Moins que » (Kintsch & Greeno, 1985) respectivement associés aux problèmes de Changement, de Combinaison et de Comparaison de la typologie de Riley, Greeno et Heller (1983). De façon plus précise, les problèmes de Changement impliquent la survenue d'une transformation positive ou négative faisant évoluer une situation initiale en une situation finale (*« Éric avait 8 billes. Puis il a donné 5 billes à Fabrice. Combien de billes a maintenant Éric ? »*). Les problèmes de Combinaison mettent en jeu des situations statiques dans lesquelles deux partie forment un tout (*« Éric a 3 billes. Fabrice a 5 billes. Combien Éric et Fabrice ont-ils de billes ensemble ? »*). Enfin, les problèmes de Comparaison concernent des situations statiques pour lesquelles des quantités sont comparées à l'aide d'expressions du type « plus que/moins que » (*« Éric a 8 billes. Il a 5 billes de plus que Fabrice. Combien Fabrice a t-il de billes ? »*).

*Le modèle de situation*

Reusser (1990) et Staub et Reusser (1995) proposent d'introduire un niveau de représentation intermédiaire entre la base de texte et le modèle de problème. Pour ces auteurs, le passage de la base de texte au modèle de problème est trop direct dans le modèle de Kintsch et Greeno (1985) nécessitant la mise en œuvre de stratégies très efficaces de compréhension des énoncés de problèmes basés sur certains mots-clés de l'énoncé. Ils définissent ainsi le modèle de situation qui est « non-mathématique » et plus qualitatif. Il spécifie les agents, les actions et les relations entre les événements de la situation du problème. Pour Gamo, Taabane et Sander (2011), ce niveau représentationnel permet de tenir compte des aspects interprétatifs du contenu des énoncés et tient compte des éléments de détails contenus dans les énoncés (Sander, 2018). Il nécessite aussi l'implication des connaissances générales des élèves (Voyer & Goulet, 2013).Les étapes présentées cidessus insistent sur les différents niveaux de représentation auxquels aboutit le processus de compréhension. Sans rejeter les niveaux de représentation initialement décrits mais en les concevant plutôt de façon unitaire, c'est-à-dire considérés comme un tout, Kintsch (1988, 1998) propose un nouveau modèle général qui prend davantage en compte les différentes étapes du processus de compréhension : le modèle de *Construction-Intégration*. Lors de l'étape de construction, des propositions directement extraites de l'énoncé, certaines macro-propositions mais également des connaissances générales et spécifiques de la mémoire à long terme sont interconnectées. Pour les énoncés de problèmes, plusieurs hypothèses arithmétiques seront considérées en parallèle (Kintsch, 1988 ; Kintsch & Lewis, 1993 ; Kintsch, 1998). Dans un deuxième temps, lors de l'étape d'intégration, la représentation va se stabiliser grâce d'une part, à l'inhibition des éléments contradictoires et non pertinents et d'autre part, au renforcement des éléments pertinents. Ainsi, l'activation des unités du réseau n'est pas figée et varie tout au long du processus de compréhension. Finalement, le réseau se stabilise et se caractérise par des liaisons plus ou moins fortes entre les unités. Pour la compréhension des énoncés de problèmes, une hypothèse arithmétique est finalement privilégiée favorisant le déclenchement d'une procédure de résolution.

Un élément essentiel de ce modèle concerne la génération des inférences qui peut intervenir aussi bien à l'étape de construction qu'à l'étape d'intégration et impliquée dans l'élaboration de la base de texte ou du modèle de situation/modèle de problème rapportent Blanc et Brouillet (2003) relativement aux travaux de Kintsch (1993). De façon plus précise, une inférence générée au niveau de la base de texte a pour objectif de réduire l'information et sera traitée rapidement et automatiquement. En revanche, une inférence produite au niveau du modèle de situation/modèle de problème a pour objectif d'enrichir la représentation et sera mise en œuvre de façon plutôt stratégique.

Le modèle de construction-intégration se veut flexible et sensible au contexte. La sélection progressive d'une hypothèse arithmétique au fur et à mesure de la lecture des énoncés a été étudiée par Kintsch et Lewis (1993) pour des problèmes de type comparaison comme *« Tom mesure 175 cm. Il est plus petit que Jeff de 12 cm. Quelle est la taille de Jeff ? »*[2]. Ces problèmes sont connus pour être difficiles pour les élèves et d'autant plus difficiles qu'il n'y a pas de congruence entre le choix correct de l'opération et le contenu de l'énoncé comme dans l'exemple présenté (Riley, Greeno & Heller, 1983). Kinstch et Lewis (1993) ont proposé à des étudiants des problèmes de type comparaison soustractifs et additifs en variant la congruence ou non entre contenu de l'énoncé et choix de l'opération (problèmes congruents vs problèmes non-congruents). D'un point de vue méthodologique, les énoncés étaient présentés mot par mot sur un écran et il était demandé aux étudiant de choisir entre l'addition et la soustraction à différents moments de la lecture : fin de la première phrase, milieu de la deuxième phrase, fin de la deuxième phrase et fin de la question. La formulation des énoncés a un effet d'une part, sur la réponse finale proposée et d'autre part, sur l'évolution des réponses en cours de lecture. Les problèmes congruents sont mieux résolus et l'hypothèse arithmétique choisie correctement plus tôt comparativement aux problèmes non-congruents. Et quel que soit le problème, le choix de l'hypothèse arithmétique est de plus en plus juste au fur et à mesure de l'avancée dans la lecture.

## FORMULATION DES ÉNONCÉS ET PROCÉDURES DE RÉSOLUTION

Le processus de catégorisation est particulièrement impliqué dans les problèmes de Combinaison dans lesquels plusieurs parties forment un tout et nécessitent donc de considérer les éléments impliqués comme appartenant à une même catégorie super-ordonnée. Léger, Sander, Richard, Brissiaud, Legros et Tijus (2002), dans une recherche mettant en jeu la procédure de factorisation, affirment l'importance de ce lien pour un problème comme *« Dans un village, une personne a des pommiers. Chaque pommier produit en moyenne 18 kg de fruits par an. Cette personne a 7 pommiers qui donnent des pommes rouges, 9 pommiers qui*

[2] Version originale : *« Tom is 175 cm tall. He is 12 cm shorter than Jeff. How tall is Jeff ? »*.

*donnes des pommes jaunes et 6 pommiers qui donnent des pommes vertes. Combien de kg récolte-t-elle par an ? ».* Pour ces auteurs, la compréhension d'un tel énoncé nécessite de la part du lecteur l'élaboration d'un réseau de catégories impliquant les objets qui y sont décrits. Deux procédures distinctes permettent d'atteindre la solution. Une première consiste à considérer prioritairement la catégorie *pommes* déclenchant la factorisation : 18 x (7 + 9 + 6). Une seconde privilégie un traitement séparé des items en tenant compte d'une propriété distinctive des pommes à savoir leur couleur : (18 x 7) + (18 x 9) + (18 x 6). Différentes formulations ont été envisagées croisant le nombre d'agents (une ou trois personnes) et le nombre d'objets (un ou trois objets). Ainsi, quatre structures différentes sont proposées à travers quatre habillages (supermarché, fruits, distance et surface). Les résultats obtenus mettent en évidence que l'effet de la structure de l'énoncé est sous la dépendance de l'habillage du problème.

Dans une autre étude (Coquin-Viennot & Moreau 2003), le processus de catégorisation est à nouveau évoqué impliquant également les procédures de factorisation et de développement. Les auteurs se sont appuyées sur le problème suivant : *« Pour une distribution de prix, le fleuriste prépare pour chacun des candidats 5 roses et 7 tulipes. Combien de fleurs le fleuriste utilise-t-il en tout ? ».* C'est un problème à deux étapes admettant au moins deux procédures de résolution pour lesquelles un réseau sémantique qui lie les concepts *rose* et *tulipe* au concept super-ordonné *fleur* doit être activé : les roses sont des fleurs et les tulipes sont aussi des fleurs. La première procédure implique une factorisation : 14 x (5 + 7) = 168. La seconde demande un développement : (14 x 5) + (14 x 7) = 168. Pour la formulation ci-dessus du problème, le développement est préférentiellement mis en œuvre par les élèves de CE2 (8-9 ans) et de CM2 (10-11 ans). En revanche, lorsque la formulation de l'énoncé est manipulée en introduisant un terme structurant : *« Pour une distribution de prix, le fleuriste prépare pour chacun des candidats un bouquet composé de 5 roses et 7 tulipes. Combien de fleurs le fleuriste utilise-t-il en tout ? »,* la procédure privilégiée par ces mêmes élèves est la factorisation avec un effet significatif de l'âge. Pour ces auteurs, la seconde formulation ne concerne pas prioritairement le modèle de problème mais apporte des éléments davantage qualitatifs à la représentation et confirme donc l'implication d'un modèle épisodique de situation.

Les deux études précédentes révèlent l'impact du processus de catégorisation dans les choix procéduraux des élèves. Dans l'étude de Coquin-Viennot et Moreau (2003), il existe une différence significative entre les élèves de CE2 et de CM2 quant au choix de la factorisation. Les explications proposées par les auteurs sont en lien avec le développement cognitif de la catégorisation et en particulier l'épreuve piagétienne de quantification de l'inclusion : « Plus de A ou plus de B ? », avec B = A + A', A > A' et A' non nulle ». Relativement à cette épreuve piagétienne, Houdé (1992) indique que la référence en la matière reste la théorie structuraliste de Piaget et précise que l'organisation de B peut être de type schémas (de sept à dix ans) fondée sur le principe de contiguïté ou de type catégories (vers dix/onze ans) fondée sur le principe de substituabilité. Ce dernier correspond à la possibilité de faire des substitutions au sein d'une catégorie : les items d'une catégorie peuvent remplacer d'autres items de la même catégorie. Ainsi, d'un point de vue arithmétique, pour Coquin-Viennot et Moreau, si les plus jeunes enfants sont capables de déterminer le cardinal de deux ensembles distincts en formant un seul ensemble, ces mêmes élèves ont des difficultés à opérer sur ce nouvel ensemble constitué d'éléments hétérogènes, d'où la prégnance d'un traitement séparé des items pour eux.

Afin d'étudier la construction de représentations alternatives lors de la résolution de problèmes arithmétiques à plusieurs étapes, Thevenot et Oakhill (2005) ont montré que pour un problème comme *« Jean a 27 billes, Tom a 17 billes et Paul a 9 billes. Combien Tom a-t-il de billes de moins que Jean et Paul ensemble ? »*, les adultes utilisent préférentiellement les calculs « 27 + 9 = 36 et 36 – 17 = 19 ». Ils déterminent dans un premier temps le nombre de billes que possèdent Jean et Paul ensemble avant de soustraite à cette quantité les billes que possède Tom (procédure 1). Il existe pourtant une autre procédure impliquant les calculs « 27-17 = 10 ; 10 + 9 = 19 ». Pour mettre en œuvre ces calculs, il faut considérer le nombre de billes que Tom a en moins que Jean puis d'ajouter à cette quantité le nombre de billes que possède Paul. Pour les auteurs, le choix de la procédure 1 s'explique par l'explicitation dans l'énoncé d'un sous-but, but intermédiaire à atteindre dans un premier temps, qui oriente fortement la construction de la représentation.

L'impact de l'explicitation des sous-buts sur les stratégies mises en œuvre est également étudié chez les enfants de CM2 (Thevenot, 2008). Elle a montré que les problèmes comme *« Jean a X billes, Tom a Y billes et Paul a Z billes. Combien Jean et Tom ensemble ont-ils de billes de plus que Paul ? »* sont plus souvent résolus par une stratégie séquentielle que les problèmes comme « Jean a X billes, Tom a Y billes et Paul a Z billes. Combien Jean, Tom et Paul ont-ils de billes ensemble ? ». Ainsi, l'explicitation des sous-buts dans les énoncés de problèmes contraint également les enfants dans la construction de leur représentation dans une procédure de passation en auto-présentation segmentée.

## PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

L'étude des problèmes arithmétiques à plusieurs étapes peut être abordée sous l'angle du processus général de la compréhension de textes qui se caractérise par sa flexibilité et sa sensibilité au contexte.

Notre objectif, pour cette étude, est d'élargir le champ de validité de certains résultats de la recherche à savoir l'impact significatif d'une part, de la formulation explicite des sous-buts et d'autre part, du nombre d'objets pris en compte dans l'énoncé. Ces deux facteurs seront testés en considérant des problèmes non encore pris en compte par la recherche.

### *Problèmes utilisés et procédures*

Nous nous sommes focalisés sur des problèmes à trois étapes impliquant uniquement l'addition et la soustraction. En se basant sur la typologie de Riley, Greeno et Heller (1983), les problèmes à plusieurs étapes considérés ici mettent en jeu des problèmes de types changement et combinaison et autorisent au moins deux points de vue distincts. Le problème proposé en introduction (LIVRE : *« Il y a dans la bibliothèque de la ville de Saint-Pierre une salle de lecture pour les enfants. Ils peuvent emprunter les romans et les bandes dessinées qui sont dans cette salle. Pour le premier jour des vacances, 85 romans et 94 bandes dessinées sont disponibles. À la fin du premier jour des vacances, des enfants ont emprunté 34 romans et 42 bandes dessinées. Combien de livres en tout sont toujours disponibles pour les autres enfants ? »)* peut être considéré comme un problème de Changement pour lequel les situations initiale et finale ainsi que la transformation sont des problèmes de Combinaison. Selon ce point de vue, les romans et les bandes dessinées sont des livres et les connaissances mathématiques s'appliquent à ces nouveaux ensembles d'objets hétérogènes afin de chercher l'état final : (85 romans + 94 bandes dessinées = 179 livres) – (34 romans + 42 bandes dessinées = 76 livres) = 103 livres. Cette procédure sera appelée la procédure Traitement Groupé des items (PTG).

Il est possible d'avoir un autre point de vue et de considérer ce problème comme étant un problème de Combinaison pour lequel les parties sont des problèmes de Changement. Ce point de vue privilégie un traitement séparés des items afin de chercher le tout : (85 romans – 34 romans = 51 romans) + (94 bandes dessinées – 42 bandes dessinées = 52 bandes dessinées) = 103 livres. Il s'agit de la procédure Traitement Séparé des items (PTS).

Différentes formulations de ce problème peuvent être envisagées en tenant compte d'une part, de l'explicitation des sous-buts (traitement séparé des items sous-ordonnées vs traitement groupé des items) et d'autre part, du nombre d'objets de l'énoncé (deux objets du niveau sous-ordonné vs un objet du niveau de base) conduisant à quatre formulations du problème (tableau 1).

| | | Nombre d'objets | |
|---|---|---|---|
| | | Deux objets de niveau sous-ordonné | Un objet du niveau de base |
| Sous-buts | Traitement séparé des items | *Il y a dans la bibliothèque de la ville de Saint-Pierre une salle de lecture pour les enfants. Ils peuvent emprunter les romans et les bandes dessinées qui sont dans cette salle. Pour le premier jour des vacances, 85 romans sont disponibles et des enfants ont en empruntés 34. Pour le premier jour des vacances, 94 bandes dessinées sont également disponibles et des enfants en ont emprunté 42. Combien de livres en tout sont toujours disponibles dans la bibliothèque pour les autres enfants ?* | *Il y a dans la bibliothèque de la ville de Saint-Pierre une salle de lecture pour les enfants. Ils peuvent emprunter les livres qui sont dans cette salle. Les livres sont sur deux étagères. Pour le premier jour des vacances, 85 livres sont sur la première étagère et des enfants en ont emprunté 34. Pour ce premier jour également, 94 livres sont sur la deuxième étagère et des enfants en ont emprunté 42 livres. Combien de livres en tout sont toujours disponibles dans la bibliothèque pour les autres enfants ?* |
| | Traitement groupé des items | *Il y a dans la bibliothèque de la ville de Saint-Pierre une salle de lecture pour les enfants. Ils peuvent emprunter les romans et les bandes dessinées qui sont dans cette salle. Pour le premier jour des vacances, 85 romans et 94 bandes dessinées sont disponibles. A la fin du premier jour des vacances, des enfants ont emprunté 34 romans et 42 bandes dessinées. Combien de livres en tout sont toujours disponibles pour les autres enfants ?* | *Il y a dans la bibliothèque de la ville de Saint-Pierre une salle de lecture pour les enfants. Ils peuvent emprunter les livres qui sont dans cette salle. Les livres sont sur deux étagères. Pour le premier jour des vacances, 85 livres sont sur la première étagère et 94 livres sont sur la deuxième étagère. A la fin du premier jour des vacances, des enfants ont emprunté 34 livres de la première étagère et 42 livres de la deuxième étagère. Combien de livres en tout sont toujours disponibles pour les autres enfants ?* |

Tableau 1 : Les quatre formulations d'un même problème croisant les variables sous-buts et nombre d'objets pour l'habillage LIVRE

*Hypothèses*

Notre hypothèse générale, nous le rappelons, consiste à dire que ces différentes formulations des énoncés vont conduire les élèves à utiliser différemment les procédures Traitement Groupé des items (PTG) et Traitement Séparé des items (PTS). Nous nous intéressons davantage à la procédure PTG qui n'est pas théoriquement spontanément mise en œuvre par la plupart des élèves et adoptons l'idée défendue par Gamo, Nogry et Sander (2014) précisant l'importance d'articuler différents points de vue pour bien comprendre une situation ou un problème. Trois hypothèses spécifiques peuvent être formulées relativement à la procédure traitement groupé (PTG).

Hypothèse 1 : Nous devrions observer la mise en œuvre de la procédure traitement groupé (PTG) d'autant plus fréquemment que l'énoncé propose explicitement les sous-buts associés.

Hypothèse 2 : Nous devrions observer la mise en œuvre de la procédure traitement groupé (PTG) d'autant plus fréquemment que l'énoncé concerne un seul item du niveau de base

Hypothèse 3 : Nous devrions observer la mise en œuvre de la procédure traitement groupé (PTG) de façon plus importante chez les élèves les plus âgés.

## MÉTHODOLOGIE

*Participants*

L'échantillon considéré est composé de 203 élèves. 98 d'entre eux appartiennent à quatre classes de CM1 de trois écoles distinctes d'une même circonscription de la Réunion, âgés de 8 ans 4 mois à 11 ans 10 mois (âge moyen : 9 ans 9 mois ; écart-type : 6 mois). 105 élèves de cet échantillon appartiennent à 4 classes de 6$^{ème}$ de deux collèges distincts du même secteur que les écoles concernées, âgés de 10 ans 2 mois à 12 ans 9 mois (âge moyen : 11 ans 7 mois ; écart-type : 4 mois).

*Matériel et passation*

Les problèmes arithmétiques à plusieurs étapes ont été proposés dans quatre versions distinctes croisant les deux facteurs (sous-buts et niveau hiérarchique des items) sous trois habillages différents (LIVRE, ARBRE et POISSON) :

ARBRE : *« Madame Agricola a un immense terrain pour construire sa maison et planter des manguiers et des cocotiers. Elle a planté 56 manguiers et 39 cocotiers. Malheureusement, quelques années plus tard, les vents forts d'un cyclone ont arraché 33 manguiers et 27 cocotiers. Combien d'arbres en tout sont toujours debout sur le terrain de madame Agricola après le cyclone ? »*

POISSON : *« Monsieur Cajou possède un immense bassin d'eau douce pour élever des truites et des carpes. Il a exactement 45 truites et 54 carpes. Il décide de vendre 34 truites et 23 carpes au poissonnier d'un grand magasin. Combien de poissons en tout monsieur Cajou a-t-il encore dans son bassin ? »*

Deux problèmes arithmétiques simples, à une étape[3], ont été intégrés aux livrets et intercalés entre les problèmes arithmétiques à plusieurs étapes. De plus, l'ordre d'apparition des problèmes à plusieurs étapes a été contrebalancé. Pour chacun des problèmes un cadre suffisamment large a été laissé aux élèves pour les calculs et les phrases réponses. Une feuille de brouillon, à la fin du livret, a été fournie. Finalement 12 livrets distincts ont été construits et distribués aléatoirement aux 203 élèves de l'échantillon.

Pour la passation, des recommandations ont été faites aux enseignants à destination des élèves : écrire les calculs et les phrases réponses dans les cadres et

[3] Problème simple 1 : *« Le prix d'un ordinateur que j'ai remarqué dans le magasin, le mois dernier, a diminué de 48€. L'ordinateur coûte aujourd'hui 499 €. Combien coûtait-il le mois dernier ? »*

Problème simple 2 : *« Sylvain et Sophia collectionnent des cartes. Ensemble, ils en ont 287. Le garçon possède 143 cartes. Combien Sophia possède-t-elle de cartes ? »*

interdiction d'utiliser la calculatrice pendant l'épreuve d'une durée maximale de 60 minutes.

*Analyse des données*

Nous envisageons un traitement statistique des données recueillies à partir du test non-paramétrique du Khi-deux d'indépendance (test d'indépendance du chi-carré). Ainsi, chacune des résolutions des problèmes arithmétiques à plusieurs étapes a été orientée dans l'une des trois catégories suivantes :

- PTS : procédure traitement séparé des items complet ou partiel
- PTG : procédure groupement complet ou partiel des items
- A : autre réponse (incorrecte ou absence de réponse).

Les erreurs de calculs ne sont pas prises en considération dans cette étude. Et d'un point de vue statistique, pour chaque tableau de contingence construit, il est vérifié que moins de 25 % des effectifs théoriques se trouvent sous la barre des 5 et qu'aucune cellule ne contient une valeur inférieure à 1.

*Résultats*

Homogénéité des procédures relativement aux différents habillages

Les résultats globaux obtenus par les élèves (tableau 2) suggèrent que la procédure PTS est privilégiée pour chacun des habillages avec respectivement 71,42 %, 73,89 % et 76,35 % d'utilisation pour les habillages LIVRE, ARBRE et POISSON. Dans le même temps la procédure PTG est minoritaire avec 14,28 %, 13,3 % et 13,3 %. Les différences selon les habillages ne sont pas significatives : $\chi^2$= 1,72 (valeur critique $\chi^2_{.05}$ = 9,49).

| | *PTS* | *PTG* | *A* | |
|---|---|---|---|---|
| LIVRE | 145 | 29 | 29 | 203 |
| ARBRE | 150 | 27 | 26 | 203 |
| POISSON | 155 | 27 | 21 | 203 |
| | 450 | 83 | 76 | 609 |

Tableau 2 : Distribution des procédures selon les habillages

Procédures utilisées

sous l'habillage LIVRE

Les résultats recueillis globalement sont proposés dans le tableau 3 à double-entrée croisant les procédures utilisées relativement à la formulation des sous-buts.

| | *PTS* | *PTG* | *A* | |
|---|---|---|---|---|
| *sous-buts 1* | 78 | 7 | 14 | 99 |
| *sous-buts 2* | 67 | 22 | 15 | 104 |
| | 145 | 29 | 29 | 203 |

Tableau 3 : Distribution globale des procédures et formulation des sous-buts

La procédure (PTS) est majoritairement mise en œuvre pour 78 % des élèves du groupe sous-buts 1 et 64 % des élèves du groupe sous-buts 2. À l'inverse, la procédure (PTG) est minoritaire. Cependant, malgré cette mise en œuvre minoritaire, elle progresse passant de 7 % pour le groupe sous-buts 1 à 21 % pour le groupe sous-buts 2. Dans le même temps, les procédures incorrectes ou absentes (A) restent stables avec respectivement 14,14 % et 14,42 %. Il existe un effet principale de la variable sous-but : $\chi^2$= 8,5 (valeur critique $\chi^2_{.05}$ = 5,99).

Procédures utilisées
sous l'habillage LIVRE : élèves de 6ème

| | PTS | PG | A | |
|---|---|---|---|---|
| sous-buts 1 | 43 | 4 | 4 | 51 |
| sous-buts 2 | 34 | 17 | 3 | 54 |
| | 77 | 21 | 7 | 105 |

Tableau 4 : Distribution des procédures des élèves de 6ème
et formulation des sous-buts

Les résultats indiqués dans le tableau 4 suggèrent que la procédure PTS est majoritaire quelle que soit la formulation avec 84,31 % des élèves du groupe sous-buts 1 et 62,96 % des élèves du groupe sous-buts 2. À l'inverse, la procédure PTG est minoritaire. Cependant, malgré cette mise en œuvre minoritaire, elle progresse passant de 7,84 % pour le groupe sous-buts 1 à 31,48 % pour le groupe sous-buts 2. Dans le même temps, les procédures incorrectes ou absentes restent stables avec respectivement 7,84 % et 5,55 %. Pour les élèves de 6ème, la formulation différente des sous-buts modifie significativement la procédure choisie $\chi^2$= 9,16 (valeur critique $\chi^2_{.05}$ = 5,99).

Procédures utilisées
sous l'habillage LIVRE : élèves de CM1

| | *PTS* | *PG* | *A* | |
|---|---|---|---|---|
| sous-buts 1 | 35 | 3 | 10 | 48 |
| sous-buts 2 | 33 | 5 | 12 | 50 |
| | 68 | 8 | 22 | 98 |

Tableau 5 : Distribution des procédures des élèves de CM1
et formulation des sous-buts

Les résultats, précisés dans le tableau 5, suggèrent, une nouvelle fois, que la procédure PTS est majoritaire quelle que soit la formulation des sous-buts avec 72,9 % pour les élèves du groupe sous-buts 1 et 66 % pour les élèves du groupe sous-buts 2. La procédure PTG est largement minoritaire avec des pourcentages très faibles quelle que soit la formulation des sous-buts avec respectivement : 6,25 % et 10 %. De plus, les procédures incorrectes ou absentes restent stables avec respectivement 20,8 % et 24 %. La formulation différente des sous-buts n'a pas d'effet sur les procédures mises en œuvres chez les élèves de CM1 : $\chi^2$< 1.

Procédures utilisées sous l'habillage LIVRE
et niveau hiérarchique des items

| | PTS | PG | A | |
|---|---|---|---|---|
| 1 objet (niveau de base) | 73 | 15 | 19 | 107 |
| 2 objets (niveau sous-ordonné) | 72 | 14 | 10 | 96 |
| | 145 | 29 | 29 | 203 |

Tableau 6 : Distribution globale des procédures
selon le nombre d'objets pour l'habillage LIVRE

Les données du tableau 6 suggèrent que la procédure PTS est majoritairement mise en œuvre quel que soit le nombre d'objets : 68 % pour un objet de niveau de base et 75 % pour deux objets de niveau sous-ordonné. À l'inverse, la procédure PTG est minoritaire : 14 % pour un objet de niveau de base et 14,5 % pour deux objets de niveau sous-ordonné et une différence non significative : $\chi^2$= 2,24 (NS) ; (valeur critique $\chi^2_{.05}$ = 5,99).

Procédures utilisées
sous l'habillage ARBRE

| | PTS | PG | A | |
|---|---|---|---|---|
| sous-buts 1 | 81 | 5 | 13 | 99 |
| sous-buts 2 | 69 | 22 | 13 | 104 |
| | 150 | 27 | 26 | 203 |

Tableau 7 : Distribution globale des procédures
et formulation des sous-buts

De façon précise, quelle que soit la formulation des sous-buts, les résultats du tableau 7 révèlent que la procédure PTS est mise en œuvre préférentiellement avec 81,8 % pour sous-buts 1 et 66,3 % pour sous-buts 2. À l'inverse la procédure PTG est minoritaire quelle que soit la formulation des sous-buts. Cependant, la progression dans l'utilisation de PTG est très significative passant de 5 % pour sous-buts 1 à 21,1 % pour sous-buts 2 : $\chi^2$ = 11,54 (valeur critique $\chi^2_{.01}$ = 9,21).

Procédures utilisées
sous l'habillage ARBRE : élèves de 6ème

| | PTS | PG | A | |
|---|---|---|---|---|
| sous-buts 1 | 45 | 3 | 3 | 51 |
| sous-buts 2 | 31 | 19 | 4 | 54 |
| | 76 | 22 | 7 | 105 |

Tableau 8 : Distribution des procédures selon la formulation des sous-buts
pour les 6ème

Les résultats du tableau 8 suggèrent que la procédure PTS est majoritaire quelle que soit la formulation des sous-buts avec 88,2 % pour sous-buts 1 et 57,4 % pour sous-buts 2. La procédure PTG est minoritaire mais progresse très significativement passant de 5,8 % pour sous-buts 1 à 35,2 % pour sous-buts 2 : $\chi^2$ = 14,3 (valeur critique $\chi^2_{.01}$ = 9,21).

Procédures utilisées
sous l'habillage ARBRE : élèves de CM1

| | PTS | PG | A | |
|---|---|---|---|---|
| sous-buts 1 | 36 | 2 | 10 | 48 |
| sous-buts 2 | 38 | 3 | 9 | 50 |
| | 74 | 5 | 19 | 98 |

Tableau 9 : Distribution des procédures et formulations des sous-buts pour les élèves de CM1

Les résultats des élèves de CM1du tableau 9 indiquent qu'ils utilisent majoritairement la procédure PTS quelle que soit la formulation des sous-buts : 75 % et 76 %. La procédure PTG est largement minoritaire et sans différence significative : 4,1 % et 6 % : $\chi^2 < 1$.

Procédures utilisés sous l'habillage ARBRE
et niveau hiérarchique des items

| | PTS | PG | A | |
|---|---|---|---|---|
| 1 objet niveau de base | 75 | 14 | 18 | 107 |
| 2 objets sous-ordonnés | 75 | 13 | 8 | 96 |
| | 150 | 27 | 26 | 203 |

Tableau 10 : Distribution globale des procédures selon le nombre d'objets pour l'habillage « Arbres »

Quel que soit le nombre d'objets de l'énoncé, la procédure PTS est majoritaire avec 70 % pour un objet du niveau de base et 78,1 % pour deux objets de niveau sous-ordonnée. À l'inverse, la procédure PTG est minoritaire avec 13 % pour un objet de niveau de base et 13,5 % pour deux objets de niveau sous-ordonné avec une différence non significative : $\chi^2 = 3{,}3$ (valeur critique $\chi^2_{.05} = 5{,}99$).

Procédures utilisées
sous l'habillage POISSON

| | PTS | PG | A | |
|---|---|---|---|---|
| sous-buts 1 | 81 | 6 | 12 | 99 |
| sous-buts 2 | 74 | 21 | 9 | 104 |
| | 155 | 27 | 21 | 203 |

Tableau 11 : Distribution globale des procédures et formulation des sous-buts

De façon précise, les résultats du tableau 11 suggèrent que la procédure PTS est majoritairement utilisée par l'ensemble des élèves quelle que soit la formulation des sous-buts avec 84,8 % pour le groupe sous-buts 1 et 71,1 % pour le groupe sous-buts 2. À l'inverse, la procédure PTG est minoritaire mais progresse selon la formulation passant de 6 % pour le groupe sous-buts 1 à 20,1 % pour le groupe sous-buts 2. Dans le même temps, les pourcentages d'erreurs ou d'absence de réponses restent stables avec respectivement 12,12 % et 8,65 %. Il existe un effet principale de la variable sous-but : $\chi^2 = 8{,}96$ (valeur critique $\chi^2_{.05} = 5{,}99$).

Procédures utilisées
sous l'habillage POISSON : élèves de 6ème

| | PTS | PTG | A | |
|---|---|---|---|---|
| sous-buts 1 | 43 | 6 | 2 | 51 |
| sous-buts 2 | 36 | 17 | 1 | 54 |
| | 79 | 23 | 3 | 105 |

Tableau 12 : Distribution des procédures selon la formulation des sous-buts pour les élèves de 6ème

Les résultats obtenus dans le tableau 12 précisent que la procédure PTS est majoritairement utilisée par les élèves de 6ème avec 84,3 % pour le groupe sous-buts 1 et 66,6 % pour le groupe sous-buts 2. À l'inverse, la procédure PTG est minoritaire quelle que soit la formulation des sous-buts passant de 11,76 % pour le groupe sous-buts 1 à 31,48 % pour le groupe sous-buts 2. Dans le même temps, les pourcentages d'erreurs ou d'absence de réponses restent marginales avec respectivement 3,9 % et 1,85 %. La formulation différente des sous-buts a permis aux élèves de 6ème de modifier significativement la procédure de résolution utilisée : $\chi^2$ = 6,13 (valeur critique $\chi^2_{.05}$ = 5,99).

Procédures utilisées
sous l'habillage POISSON : élèves de CM1

| | PTS | PTG | A | |
|---|---|---|---|---|
| sous-buts 1 | 38 | 0 | 10 | 48 |
| sous-buts 2 | 38 | 4 | 8 | 50 |
| | 76 | 4 | 18 | 98 |

Tableau 13 : Distribution des procédures selon la formulation des sous-buts pour les élèves de CM1

Les résultats du tableau 13 suggèrent une utilisation majoritaire de la procédure PTS quelle que soit la formulation des sous-buts chez les élèves de CM1 avec respectivement 79,16 % et 76 % pour les sous-buts 1 et sous-buts 2. À l'inverse, la procédure PTG est minoritaire avec aucune pour les sous-buts 1 et 8 % pour les sous-buts 2. Dans le même temps, les pourcentages liés aux erreurs ou à l'absence de réponses restent stables avec 20,8 % pour les sous-buts 1 et 16 % pour les sous-buts 2. Malgré ces différences, la formulation des sous-buts 1 et 2 n'influence pas significativement les procédures utilisées : $\chi^2$ = 4,18 (valeur critique $\chi^2_{.05}$ = 5,99).

Procédures utilisées sous l'habillage POISSON
et niveau hiérarchique des items

| | PTS | PTG | A | |
|---|---|---|---|---|
| un objet niveau de base | 80 | 13 | 14 | 107 |
| deux objets niveau sous-ordonné | 75 | 14 | 7 | 96 |
| | 155 | 27 | 21 | 203 |

Tableau 14 : Distribution globale des procédures selon le nombre d'objets pour l'habillage POISSON

Les résultats du tableau 14 indiquent que la procédure PTS est majoritaire quel que soit le nombre d'objets avec respectivement 74,76 % et 78,12 % pour un objet de niveau de base et deux objets de niveaux sous-ordonnée. À l'inverse, la procédure PTG reste minoritaire et sans différence notable entre les deux groupe avec 12,14 % et 14,58 %. Dans le même temps les procédures erronées ou absentes pour le groupe dont la formulation concerne un objet de niveau de base se situent à 13 %. Celles du groupe dont la formulation met en avant deux objets de niveau sous-ordonné se situent à 7,29 %. Les différences constatées ne sont pas statistiquement significatives : $\chi^2$ = 1,94 (valeur critique : $\chi^2_{.05}$ = 5,99).

**DISCUSSION**

L'objectif de cette recherche était d'étudier l'influence de la formulation des sous-buts et du nombre d'objets mis en jeu sur la compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques additifs à plusieurs étapes à travers l'analyse des procédures utilisées par des élèves de début (CM1) et de fin (6$^{ème}$) de cycle 3.

Comme précisé dans le cadre théorique, le processus de catégorisation intervient dans la compréhension de certains problèmes à plusieurs étapes, en particulier dans ceux autorisant des procédures de factorisation et de développement. Dans l'étude menée par Coquin-Viennot et Moreau (2003), en l'absence d'un terme structurant, la procédure privilégiée par les élèves consiste à traiter séparément les items. Nous n'avions pas l'intention d'introduire de terme structurant et nous nous attendions ainsi à une utilisation privilégiée de la procédure traitement séparé (TPS). Quel que soit l'habillage considéré (Livres, Arbres et Poissons), cette procédure est effectivement majoritairement utilisée avec respectivement 71,42 %, 73,89 % et 76,35 % pour les habillages « Livres », « Arbres » et « Poissons » contre 14,28 %, 13,3 % et 13,3 % pour la procédure PTG.

L'étude menée par Thévenot (2008) relativement à l'influence de la formulation explicite des sous-buts sur la procédure préférentiellement mise en œuvre par les élèves de CM2 pouvait laisser espérer un impact des différentes formulations sur les procédures choisies pour notre étude malgré les conditions de passation différentes. Cet impact s'est avéré significatif pour les élèves scolarisés en 6$^{ème}$ exclusivement. En effet, quel que soit l'habillage considéré, la formulation explicite des sous-buts 2, favorisant la procédure PTG, permet une augmentation significative de l'utilisation de cette procédure. Pour ces élèves, les pourcentages d'utilisation de la procédure PTG passent respectivement de 7,8 % à 31,4 %, de 5,8 % à 35,2 % et de 11,76 % à 31,48 % pour les habillages LIVRE, ARBRE et POISSON. Ce résultat conforte l'implication du processus de catégorisation et en particulier le principe de substituabilité qui est davantage maîtrisée par les élèves de dix/onze ans selon Houdé (1992). La procédure PTG nécessite de considérer, effectivement comme substituables, les bandes dessinées et les romans pour l'habillage LIVRE, les manguiers et les cocotiers pour l'habillage ARBRE et les carpes et les truites pour l'habillage POISSON. Ce principe étant beaucoup moins maîtrisé par les élèves de CM1 la formulation des sous-buts 2 n'a pas permis une augmentation significative de la procédure PTG chez eux. Nous nous attendions à des différences significatives également pour les élèves de CM1. Cela n'a pas été le cas. Les hypothèses 1 et 3 sont donc partiellement validées.

L'utilisation de la procédure PTS de façon majoritaire, même dans le cas de la formulation des sous-buts 2 favorisant pourtant la procédure PTG, indique la construction d'une représentation dépassant la base de texte, niveau sémantique de la représentation, puisque les propositions de l'énoncé ont été réorganisées. Cette réorganisation des propositions de l'énoncé va dans le sens d'un deuxième niveau de représentation : le modèle de situation.

Cette réorganisation des propositions de l'énoncé peut également s'interpréter dans le cadre du modèle de construction-intégration. Si dans un premier temps la stratégie arithmétique liée au cardinal de la collection bandes dessinées et romans a pu être inférée pour l'habillage LIVRE, celle-ci s'est vue progressivement inhibée au fur et à mesure de la lecture de l'énoncé au profit de stratégies arithmétiques liées aux problèmes de type Changement relatifs aux bandes dessinées d'une part et aux romans d'autre part.

Nous nous attentions enfin à un effet significatif du nombre d'objets formulés dans l'énoncé avec une utilisation plus fréquente de la procédure PTG lorsqu'un seul objet de niveau de base est précisé. Les résultats obtenus ne vont pas dans le sens de cette hypothèse puisque les différences observées ne sont pas significatives avec 14 % contre 14,5 % (LIVRE), 13 % contre 13,5 % (ARBRE) et 12,14 % contre 14,58 % (POISSON) pour respectivement les formulations impliquant un seul objet du niveau de base et deux objets de niveau sous-ordonné. Il est important de préciser que Léger, Sander, Richard, Brissiaud, Legros et Tijus (2002) n'ont pu, eux non plus, mettre en évidence l'existence d'un effet principal du nombre d'objets. De plus, nous avons introduit, contrairement aux formulations des auteurs cités, des informations de type spatial dans les énoncés contenant un seul objet de niveau de base. Pour l'habillage LIVRE par exemple, nous avons précisé qu'ils étaient disposés sur deux étagères distinctes. Pour l'habillage ARBRE qu'ils étaient plantés à deux endroits différents du jardin. Pour l'habillage POISSON, ils étaient placés dans deux bassins distincts. Ces éléments, considérés par nous comme des détails, ce sont probablement révélés pertinents dans l'élaboration de la représentation des élèves et vont dans le sens de l'élaboration d'un modèle de situation qui tient compte des détails indiqués dans l'énoncé.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous pensons que la flexibilité dans l'utilisation de procédures distinctes pour résoudre des problèmes isomorphes à plusieurs étapes est un enjeu d'apprentissage pour les élèves du cycle 3. Des différences dans la formulation des énoncés intégrant de façon explicite les sous-buts à atteindre peuvent y contribuer pour les élèves de la fin du cycle. Les sous-buts, explicitement formulés dans les énoncés, se révèlent inopérants, en revanche, pour les élèves du début de cycle du fait probablement de la moins grande maîtrise du principe de substituabilité. Malgré tout, en particulier pour les élèves de CM1, de nouvelles investigations sont à envisager comme la formulation d'énoncés incluant des éléments structurants, la construction d'énoncés n'intégrant pas d'informations de type spatial pour les objets de niveau de base ou encore l'augmentation du nombre d'objets impliqués.

Enfin, nous pensons que le modèle de construction-intégration de Kintsch est approprié pour étudier la compréhension des énoncés de problèmes arithmétiques à plusieurs étapes. L'idée d'un renforcement des liens entre éléments pertinents d'une part, et l'inhibition des éléments non pertinents au fur et à mesure de l'avancée dans la lecture de l'énoncé d'autre part, est séduisante et ouvre de nouvelles perspectives de recherche.

**Olivier LEBRETON**

***Abstract :*** The objective of this work was to study strategies used by 4th (9-10 years old) and 6th (11-12 years old) grade pupils when they have to read and solve three isomorphic additive multiple-step arithmetic problems. The Construction-Integration model of Kintsch (1988,1998) including different levels of representation and taking text comprehension process flexibility into account is relevant for the present research. Precisely, we studied the impact of sub-goals explicitely mentioned and a number of objects involved in the text on strategies used by pupils. Results indicate that categorization plays a crucial role in the construction of the representation and strategies used. Indeed, 6th grade pupils can only use an alternative strategie related to the specific sub-goal.

***Keywords :*** comprehension, multiple-step problems, wording of problems, episodic situation model, textbase, problem model, construction-integration model.

**Bibliographie**

Blanc N. & Brouillet D. (2003) *Mémoire et compréhension : Lire pour comprendre*. Paris : In Press.

Blanc N. & Brouillet D. (2006) « Le concept de représentation en psychologie cognitive » — in : N. Blanc (éd.) *Le concept de représentation en psychologie* (135-174). Paris : In Press.

Coquin-Viennot D. & Moreau S. (2003) « Highlighting the role of the episodic situation model in the solving of arithmetical problems » — *European Journal of Psychology of Education* 3 (267-279).

Galisson M ;-P (2009) « Le problème d'arithmétique dans la culture primaire » — *Recherches en Education* 6 (9-21).

Gamo S., Taabane L. & Sander E. (2011) « Rôle de la nature des variables dans la résolution de problèmes additifs *complexes » — L'Année Psychologique* 111 (613-640).

Gamo S., Nogry S. & Sander E. (2014) « Apprendre à résoudre des problèmes en favorisant la construction d'une représentation alternative chez des élèves scolarisés en éducation prioritaire » — *Psychologie Française* 59 (215-229).

Houdé O. (1992) *Catégorisation et développement cognitif*. Paris : PUF.

Kintsch W. & Greeno J.-G. (1985) « Understanding and Solving Word Arithmetic Problems » — *Psychological Review* 92 (109-129).

Kintsch W. (1988) « The role of knowledge in discours comprehension : A construction-integration model » — *Psychological Review* 2 (163-182).

Kintsch W. (1998) *Comprehension : a paradigm for cognition*, Cambridge : Cambridge University Press.

Kintsch W. & Lewis A.-B. (1993) « The time course of hypothesis formation in solving arithmetic word problem » — in : M. Denis et G. Sabah (éds.) *Modèles et concepts pour la science cognitive : Hommage à Jean-François Le Ny* (11-23). Grenoble : PU Grenoble.

Lebreton O. (2011) « *Adaptation du modèle de la Construction-Intégration de Kintsch à la compréhension des énoncés et à la résolution des problèmes arithmétiques complexes* » - Thèse, Université de la Réunion.

Léger L. Sander E., Richard J.-F., Brissiaud R., Legros D. & Tijus C. (2002) « Propriétés des objets et résolution de problèmes mathématiques » — *RFP* 139 (97-106).

Levain J.-P., Le Borgne P. & Simard A. (2006) « Apprentissage de schémas et résolution de problèmes en SEGPA » — *RFP* 155 (95-109).

Riley M.-S, Greeno J.-G. & Heller J.-L. (1983) « Development of children's problem solving ability in arithmetic » — in : H. P. Ginsberg (ed.) *The development of the mathematical thinking* (153-196). New York : Academic Press.

Sander E. (2018) « La résolution de problèmes arithmétiques à énoncés verbaux » — *ANAE* 156 (611-619).

Thevenot C., Barrouillet P. & Fayol M. (2004) « Représentation mentale et procédures de résolution de problèmes arithmétiques : L'effet du placement de la question » — *L'Année Psychologique* 104 (683-699).

Thevenot C., Devidal M., Barrouillet P. & Fayol M. (2007) « Why does placing the question before an arithmetic word problem improve performance ? A situation model account » — *The Quartely Journal Of Experimental Psychology* 60 (43-56).

Thevenot C. (2008) « Représentations mentales et stratégies de résolution de problèmes arithmétiques verbaux chez enfants de CM2 » — *L'Année Psychologique* 108 (617-630).

Vergnaud G. (1990) « La théorie des champs conceptuels » — *Recherches en Didactiques des Mathématiques* 10 (133-170)

Voyer D. & Goulet M.-P. (2013) « La compréhension de problèmes écrits d'arithmétiques au regard de l'habileté en lecture d'élèves de sixième année (11 ans) » — *Revue des Sciences de l'Éducation* 39 (491-513).