



HAL
open science

Améliorer l'acquisition du nombre des GSM grâce aux jeux de bataille et de dominos

Marie Bourven, Marion Kieffer

► **To cite this version:**

Marie Bourven, Marion Kieffer. Améliorer l'acquisition du nombre des GSM grâce aux jeux de bataille et de dominos. Sciences cognitives. 2016. dumas-01357222

HAL Id: dumas-01357222

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01357222>

Submitted on 29 Aug 2016

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

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

ACADÉMIE DE PARIS

UNIVERSITÉ PARIS VI PIERRE et MARIE CURIE

MÉMOIRE POUR LE CERTIFICAT DE CAPACITÉ D'ORTHOPHONISTE

**AMÉLIORER L'ACQUISITION DU NOMBRE DES
GSM GRÂCE AUX JEUX DE BATAILLE ET DE DOMINOS**

SOUS LA DIRECTION DU Pr. MICHEL FAYOL

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2015-2016

Marie BOURVEN

Née le 10 Juin 1992

Marion KIEFFER

Née le 22 Juillet 1990

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons adresser nos sincères remerciements :

À notre Directeur de Mémoire, le Professeur Michel FAYOL, pour sa disponibilité, son soutien, ses remarques et sa bienveillance tout au long de notre mémoire ; et sans qui rien n'aurait été possible.

À Madame Anne MIRASSOU, pour avoir consacré une partie de son temps à notre mémoire.

Aux professeurs des écoles, Monsieur David BOISRAMÉ et Mesdames Nathalie LEBRETON, Christiane JADAUD, Virginie BUREL, Pascale GOURVEZ et Anne-Laure GUIVARCH ; qui ont consacré une partie de leur temps et de leur énergie pour nous aider à réaliser notre mémoire. Nous les remercions de leur intérêt pour notre travail.

Aux directeurs et directrices des écoles maternelles, Monsieur BOISRAMÉ (« Les Quatres Saisons », MONT-SAINT-JEAN), Madame LEFÈBVRE (« François Deforge », SILLÉ-LE-GUILLAUME), Monsieur GARNIER (« St Joseph », SILLÉ-LE-GUILLAUME), Madame BUREL (« Albert Larher », PLOUGONVEN), Madame AURÉGAN (« Le Véléry », PLOURIN-LÈS-MORLAIX) et Madame FOURNIS (« Martin Luther King », PLOURIN-LÈS-MORLAIX) d'avoir accepté de nous accueillir au sein de leurs établissements et d'avoir permis les passations de tests et les entraînements dans leurs écoles.

Aux équipes éducatives et aux personnels des écoles maternelles de Sarthe et du Finistère pour leur accueil et leur aide, en particulier Magalie, Pascale et Sylvie qui ont participé activement au bon déroulement des passations et des entraînements.

À tous les enfants qui ont participé aux passations et aux entraînements avec assiduité et entraîn et qui nous ont permis de réaliser notre étude.

À Olivier et Guillaume qui ont participé à la fabrication des jeux et nous ont conseillées lors de la rédaction de ce mémoire.

À tous nos proches qui nous ont soutenues et se sont rendus disponibles tout au long de ce mémoire. Merci à eux de nous avoir accompagnées pendant toute cette année universitaire.

ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je soussignée, Marion Kieffer, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteurs ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Je soussignée, Marie Bourven, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteurs ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	6
CHAPITRE 1. PARTIE THÉORIQUE	2
I. Le Triple Code	2
1. Les prémisses	2
a. Le code analogique, détection de la numérosité	2
b. Le code verbal	3
c. Le code visuel indo-arabe.....	4
2. Transcodages.....	4
3. Le modèle anatomo-fonctionnel de S. Dehaene et L. Cohen.....	4
II. De la manipulation de la numérosité vers l'élaboration de la cardinalité	5
1. Les compétences numériques précoces chez les nourrissons	5
a. Un système approximatif d'estimation de la numérosité inné	5
b. Un système plus spécifique d'encodage des petites quantités : le subitizing.....	5
c. L'influence des propriétés perceptives et de la mémoire dans le traitement de la numérosité.....	6
2. L'élaboration de la cardinalité.....	7
a. L'influence de l'apprentissage des représentations symboliques sur la représentation analogique	7
b. La comptine numérique.....	7
c. Le dénombrement.....	8
3. Le rôle de la culture et de l'éducation dans le développement de la numération chez l'enfant	9
a. Les différences individuelles avant l'instruction formelle des mathématiques.....	9
b. Le rôle et le poids de la culture	10
c. Le jeu pour améliorer les compétences mathématiques.....	11
III. L'espace et le nombre	11
1. Le Système Approximatif Numérique (SAN)	11
a. Définition	11
b. Localisation du SAN	12
c. Lien entre précision du SAN et compétences mathématiques	12
d. Débats autour du SAN.....	13
2. La corrélation entre espace et nombre	14
a. Lien culturel	14
b. Lien neuro-anatomique.....	14
c. Les performances dans la discrimination du nombre et de l'espace	14
3. Le nombre irrépressible dans l'espace	15
a. Le caractère irrépressible du nombre.....	15
b. L'attraction du nombre dans l'espace.....	15
c. Le biais directionnel entre espace et nombre.....	16
CHAPITRE 2. PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES	17
I. Problématique	17
II. Hypothèses	17
CHAPITRE 3. MÉTHODE	19
I. Méthode expérimentale et population	19
1. Méthode expérimentale	19
2. Population	20
II. Matériel	21
1. Épreuves en groupes	22
a. Épreuve de dénombrement (annexe B).....	22
b. Épreuve de comparaison (annexe C)	22
c. Épreuve d'estimation linéaire ou ligne numérique (annexe D)	23
d. Épreuve d'opérations (annexe E)	23
2. Épreuves individuelles	24
a. Épreuve de sériation numérique (annexe G).....	24
b. Épreuve de conservation numérique (annexe F).....	24
3. Les jeux	25
a. Jeu de bataille (annexe A)	25
b. Jeu de dominos (annexe A)	26
III. Procédure.....	27
1. Épreuves.....	27
a. Épreuves réalisées en groupes	28
b. Épreuves réalisées individuellement	30
2. Entraînements.....	31
a. Entraînement au jeu de dominos	32
b. Entraînement au jeu de bataille	32
c. Réactions face au changement de nombre	33

CHAPITRE 4. ANALYSE DES RÉSULTATS	34
I. Bilan des performances aux séries de tests	34
1. Comparaisons des performances des groupes au pré-test : état initial	34
2. Comparaisons des performances au test du milieu : échange de jeux	36
3. Comparaisons des performances au post-test immédiat : fin des entraînements	37
4. Comparaisons des performances au post-test différé : stabilité des performances	38
II. Bilan par Épreuves	40
1. Épreuve de dénombrement	40
2. Épreuve de comparaison	40
3. Épreuve de conservation numérique	41
4. Épreuve de ligne numérique	41
5. Épreuve d'opérations	42
6. Épreuve de sériation numérique	43
III. Analyse des progressions	43
1. Progression dans l'épreuve de dénombrement	43
2. Progression dans l'épreuve de comparaison	44
3. Progression dans l'épreuve de conservation numérique	45
4. Progression dans l'épreuve de ligne numérique	45
5. Progression dans l'épreuve d'opérations	45
6. Progression dans l'épreuve de sériation numérique	46
IV. Synthèse	47
CHAPITRE 5. DISCUSSION.....	48
I. Les conséquences de l'entraînement aux jeux sur les capacités arithmétiques des enfants 48	48
1. Les compétences arithmétiques mobilisées par les jeux	48
2. Amélioration dans les épreuves spécifiques	49
a. L'épreuve de dénombrement	49
b. L'épreuve de comparaison	50
c. L'épreuve de conservation numérique	50
3. Impact de l'entraînement aux épreuves non spécifiques	51
a. L'épreuve d'opérations	51
b. L'épreuve de ligne numérique	51
c. L'épreuve de sériation numérique	51
4. Interrogation sur la différence de progression entre DOBA et BADO à T4	51
II. Analyse des profils	53
1. Analyse des profils et possible interprétation	53
2. Suggestions de modalités d'intervention	56
III. Biais	57
1. La population	57
2. Les tests	57
a. Les passations	57
b. Les épreuves	58
3. L'entraînement	58
CONCLUSION.....	60
BIBLIOGRAPHIE	61
ANNEXES	67
ANNEXE A : Jeux	67
ANNEXE B : Dénombrement (DEN)	69
ANNEXE C : Comparaison (COMP)	73
ANNEXE D : Estimations linéaires (LIGNE)	75
ANNEXE E : Opérations (OPE)	77
ANNEXE F : Conservation numérique (CONS)	78
ANNEXE G : Sériation numérique (SER)	79
ANNEXE H : Protocole pour les écoles	81
ANNEXE I : Tableau 9	85
ANNEXE J : Tableau 10	86
ANNEXE K : Tableau 13	86
ANNEXE L : Tableau 14	86

LISTE DES ABRÉVIATIONS

BADO : Groupe participant au jeu de bataille puis au jeu de dominos.

COMP : Épreuve de comparaison.

CONS : Épreuve de conservation.

CONT : Groupe contrôle suivant les activités scolaires habituelles.

DOBA : Groupe participant au jeu de dominos puis au jeu de bataille.

DEN : Épreuve de dénombrement.

ET : Écart-type.

GSM : Grande Section de Maternelle.

LIGNE : Épreuve de ligne numérique (estimation linéaire).

Moy : Moyenne.

OPE : Épreuve d'opérations.

SER : Épreuve de sériation numérique.

LISTES DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1 : Exemple des six types de jeu de bataille

Figure 2 : Exemple des six types de jeu de dominos

Figure 3 : Évolution des performances en dénombrement de chaque groupe (CONT, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests (abscisse : sessions, ordonnée : moyennes)

Figure 4 : Évolution des performances en comparaison de chaque groupe (CONT, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests

Figure 5 : Évolution des performances en conservation de chaque groupe (CONT, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests

Figure 6 : Évolution des performances en ligne numérique de chaque groupe (CONT, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests

Figure 7 : Évolution des performances en opérations de chaque groupe (CONT, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests

Figure 8 : Évolution des performances en sériation numérique de chaque groupe (CONT, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests

Figure 9 : Progression des performances en dénombrement de chaque groupe (CONT, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests moins le test initial (abscisse : sessions, ordonnée : moyennes)

Figure 10 : Progression des performances en comparaison de chaque groupe (CONT, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests moins le test initial

Figure 11 : Progression des performances en conservation de chaque groupe (CONT, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests moins le test initial

Figure 12 : Progression des performances en opérations de chaque groupe (CONT, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests moins le test initial

Figure 13 : Progression des performances en sériation de chaque groupe (CONT, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests moins le test initial

Tableau 1 : Calendrier expérimental

Tableau 2 : Répartition de l'échantillon en âge et en sexe (pré-test)

Tableau 3 : Répartition de l'échantillon en âge et en sexe (post-test différé)

Tableau 4 : Répartition des jeux (bataille et domino) durant l'entraînement

Tableau 5 : Moyennes des trois groupes à chaque épreuve à l'état initial

Tableau 6 : Moyennes des trois groupes à chaque épreuve au test du milieu

Tableau 7 : Moyennes des trois groupes à chaque épreuve au post-test immédiat

Tableau 8 : Moyennes des trois groupes à chaque épreuve au post-test différé

Tableau 9 : Récapitulatif de l'ensemble des résultats avec scores des tests et scores de progression (en gras)

Tableau 10 : Comparaison des moyennes des performances des huit enfants en négatif (en gras) par rapport aux huit enfants en positif

Tableau 11 : Comparaison des évolutions positives (+), négatives (-) ou pas de progression (=) à chaque test (en gras, les huit enfants en évolution négative)

Tableau 12 : Moyenne et score de progression des cinq enfants pour chaque test (en gras, les évolutions négatives ou nulles)

Tableau 13 : Récapitulatif des profils de progression en positif ou négatif à chaque test

Tableau 14 : Comparaison des moyennes des profils des enfants en moins bonne progression par rapport aux moyennes générales des enfants entraînés, pour chaque épreuve

INTRODUCTION

Le nombre fait partie intégrante de notre vie quotidienne. Nous l'utilisons pour quantifier, ranger et identifier les éléments. Notre étude fait écho au travail de recherches sur l'acquisition du nombre et de sa compréhension par l'enfant, domaines dans lesquels les orthophonistes sont conduites à intervenir. Notre objectif est de déterminer si la pratique de jeux simples (jeu de dominos et jeu de cartes type Bataille) a un impact plus important sur les performances numériques que celui des activités scolaires utilisées de manière usuelle avec des enfants de Grande Section de Maternelle (GSM).

Dans son modèle du Triple Code, Dehaene (1992) propose une nouvelle architecture cognitive du traitement numérique s'articulant en trois représentations : analogique, verbale (écrite et orale) et indo-arabe. La représentation analogique ou système approximatif numérique apparaît précocement chez les enfants (Xu et coll., 2000). Elle permet de discriminer rapidement de petites et de grandes quantités et grandeurs. L'un des problèmes importants concernant l'acquisition du nombre a trait aux propriétés continues comme l'espace auxquelles le nombre est associé. L'espace et le nombre entretiennent des liens culturel et neuro-anatomique (Hubbard, 2005) dont on soupçonne qu'ils peuvent constituer initialement un obstacle à la compréhension des propriétés du nombre.

Ces difficultés initiales rencontrées par les enfants en mathématiques liées à l'association forte entre quantité discrète (nombre d'entités) et grandeurs continues (espace, longueur ou volume) conduisent à rechercher des moyens pour en faciliter l'acquisition et l'apprentissage, notamment chez les jeunes enfants (Leroy et coll., 2005). Le recours à des activités ludiques est une voie encore trop peu explorée même si certains auteurs ont montré que les jeux et autres activités ludiques développent l'intérêt pour les mathématiques (Ginsburg et coll., 2008).

Dans notre étude, des jeux de bataille et des jeux de dominos ont été utilisés suivant un plan expérimental de changements croisés. Les performances des enfants entraînés ont été comparées avec celles d'un groupe contrôle. Les enfants ont été évalués avant tout entraînement (pré-test) puis après (post-tests) dans différents domaines numériques.

Après avoir détaillé les recherches citées ci-dessus, nous présenterons nos hypothèses ainsi que les résultats de notre étude. Par la suite, nous discuterons ces mêmes résultats afin de conclure à un éventuel impact de l'entraînement sur les capacités arithmétiques des enfants de GSM.

CHAPITRE 1. PARTIE THÉORIQUE

I. Le Triple Code

En 1992, Dehaene^[16] propose une nouvelle architecture cognitive du traitement numérique : le Triple Code. Dans ce modèle, en plus du code verbal et du code arabe déjà exposés, il introduit une représentation de type analogique et explique que l'évaluation de la quantité se fait par des mécanismes primitifs de détection de la numérosité ou de la grandeur (les deux intégrées sous le terme magnitude). Le cœur de notre connaissance arithmétique serait cette capacité à détecter la numérosité, qui est irrépressible, inconsciente et nous confère une intuition primitive de la quantité ou de la grandeur.

1. Les prémisses

Les nombres seraient représentés mentalement dans 3 codes (ou représentations) distincts :

- Code analogique
- Code verbal écrit et oral
- Code indo-arabe

a. Le code analogique, détection de la numérosité

La représentation analogique peut être assimilée à la dimension sémantique du nombre. Elle confère un sens à la quantité de manière approximative sans dépendance à une symbolique visuelle ou verbale. Elle est indépendante de la langue maternelle. Ce système permet de réaliser des calculs approximatifs, d'estimer des quantités ou grandeurs ou de les comparer entre elles. Ce code analogique est universel et très primitif. L'étude menée par Whalen et coll. (1999)^[73] suggère l'existence d'un système inter-espèce de la représentation analogique du nombre aussi appelée système approximatif du nombre (SAN). Cette capacité innée serait présente au même titre chez les animaux et chez les humains.

La représentation analogique peut être imaginée sous la forme d'une ligne numérique mentale orientée dans l'espace de gauche, pour les petites quantités, à droite, pour les plus grandes quantités. Elle serait présente chez les humains de toutes les cultures et ne dépendrait ni du langage ni de l'éducation (Pica et coll., 2004)^[60]. Elle se caractérise par quatre effets:

- *L'effet de taille* : il est plus difficile de comparer deux quantités importantes (56 et 57) que de comparer deux petites quantités (6 et 7), même si l'écart entre elles est le même,
- *L'effet de distance* : la proximité entre deux quantités a un effet sur le temps de traitement nécessaire à leur comparaison et sur l'exactitude de la comparaison. Il est plus facile de comparer deux collections de 20 et 45 objets que deux collections de 40 et 45 objets,
- *L'effet de rapport* : il représente l'écart entre deux quantités non symboliques discriminables par un individu. Par exemple, la valeur du rapport pour un enfant de 6 mois est de 1 sur 2 (il peut discriminer 8 éléments par rapport à 16 mais pas 8 éléments par rapport à 12). L'effet de rapport évolue au cours du développement et résume les effets de taille et de distance,
- L'effet SNARC (Spatial-Numerical Association of Response Codes) : lors d'un jugement de parité sur des nombres, les réponses impliquant un petit nombre (comme 1 ou 2) sont plus rapides avec la main gauche, et celles impliquant les grands nombres (comme 8 ou 9) sont plus rapides avec la main droite.

b. Le code verbal

Cette représentation auditivo-verbale correspond à l'image auditive et visuelle des noms de nombre. Elle est asémantique et dépendante de la langue maternelle. Selon Dehaene, « *Les nombres sont représentés comme des séquences de mots syntaxiquement organisés* » (Chazoule, 2012)^[10]. Chaque quantité est codée selon une séquence de mots qui la détermine de manière abstraite et conventionnelle.

Ce code dépend :

- d'un lexique composé d'un nombre restreint de mots (les numéraux simples allant de « zéro » à « neuf », les numéraux particuliers allant de « onze » à « seize » et les séparateurs comme les dizaines, cent, mille...),
- d'une syntaxe aboutissant à des combinaisons additives (vingt-quatre) et multiplicatives (quatre-vingt),
- de bases : la base décimale est prépondérante en français, la base vicésimale (20) et la base sexagésimale (60) sont également utilisées dans une moindre mesure.

La représentation auditivo-verbale serait nécessaire pour effectuer un calcul mental, un comptage ou un dénombrement précis et pour la connaissance des faits arithmétiques.

c. Le code visuel indo-arabe

Ce système est composé de symboles arbitrairement déterminés. Il est quasiment universel et indépendant de la langue maternelle. Le code verbal arabe ne se retrouve qu'à l'écrit et son apprentissage se fait surtout par enseignement académique. Cette représentation symbolique des quantités comprend dix symboles (de 0 à 9) organisés par la base décimale et selon une notation positionnelle (la valeur du chiffre est donnée par la place qu'il occupe dans le nombre). La combinaison de chiffres entre eux permettant de former indéfiniment de nouveaux nombres est possible grâce à des règles syntaxiques additives et multiplicatives.

Ce système intervient dans le traitement des nombres écrits, dans le jugement de parité et dans les calculs écrits exacts.

2. Transcodages

L'activité de transcodage permet le passage d'un code à l'autre. Elle nécessite la maîtrise des codes numériques d'entrée et de sortie ainsi que la connaissance des règles de conversion des codes (Saad, 2010)^[65]. Deux types de modèles théoriques de transcodage ont ainsi émergé : les modèles sémantique et asémantique. De nombreux auteurs ont étudié les relations entre les représentations. Mc Closkey et coll. (1985)^[50] proposent un modèle sémantique intégrant le sens du nombre au centre des activités de transcodage et de calcul. Barrouillet et coll. (2005)^[11] remettent en cause ce modèle de fonctionnement en proposant un modèle asémantique, développemental et procédural : le modèle ADAPT (A Developmental Asemantic Procedural Transcoding model). Les processus de transcodage des nombres de leur forme verbale vers leur forme arabe ne sont pas systématiquement dépendants de l'accès au sens du nombre. Les représentations verbales et arabes sont mises en relation sans passer systématiquement par le sens du nombre.

3. Le modèle anatomo-fonctionnel de S. Dehaene et L. Cohen

Selon l'opération arithmétique réalisée, des zones cérébrales vont être activées dans les deux hémisphères. Chaque composante du Triple Code a une localisation cérébrale qui lui est propre (Dehaene et coll., 1995)^[19]. Les deux hémisphères fonctionnent de manière symétrique dans le traitement des représentations visuelle arabe (au niveau des aires occipito-temporales) et analogique (au voisinage de la jonction occipito-pariéto-temporale des deux hémisphères).

En revanche, il existe une spécialisation hémisphérique dans le traitement de la représentation auditivo-verbale localisé dans les aires classiquement dédiées au langage (gyrus frontal inférieur et gyrus temporaux supérieur et moyen). L'hémisphère gauche peut traiter les informations numériques verbales alors que l'hémisphère droit n'est capable ni de lire ni de calculer à haute voix (Dehaene, 1997)^[20]. Les aires pariétales occupent une place majeure dans la cognition arithmétique (Tudusciuc et coll., 2007)^[71]. Le sillon intrapariétal semble être mobilisé lors du traitement non symbolique des quantités dès l'âge de quatre ans et son intervention interviendrait dans l'origine du développement des connaissances arithmétiques des adultes (Cantlon et coll., 2006)^[5].

II. De la manipulation de la numérosité vers l'élaboration de la cardinalité

1. Les compétences numériques précoces chez les nourrissons

a. Un système approximatif d'estimation de la numérosité inné

De nombreuses recherches se sont intéressées aux compétences précoces des nourrissons. Pour des quantités non symboliques importantes présentées en modalité visuelle, Xu et coll. (2000)^[75] ont montré que les nourrissons de six mois pouvaient différencier deux quantités dans un rapport de 1 sur 2 (ils différenciaient 8 points de 16 points) mais n'étaient pas encore capables de discriminer les quantités lorsque le rapport était de 2 sur 3 (8 points par rapport à 12 points). Les résultats restaient identiques même en augmentant les quantités (16 points comparés à 32 points) tant que le rapport était de 1 sur 2 (Xu et coll., 2007)^[76]. Lipton et coll. (2003, 2004)^[46;47] ont réalisé une étude similaire en modalité auditive qui a abouti aux mêmes résultats que ceux trouvés en modalité visuelle. Cette compétence précoce d'estimation de la numérosité n'est donc pas spécifique à une modalité sensorielle. En présentant l'information numérique simultanément sous les deux modalités, la discrimination des grandes numérosités peut même être améliorée (Jordan et coll., 2008)^[43]. Les nourrissons de six mois pourraient différencier deux quantités dans un rapport de 2 sur 3 quand les informations visuelles et auditives sont associées.

b. Un système plus spécifique d'encodage des petites quantités : le subitizing

Les nouveau-nés peuvent discriminer de manière précise les petites quantités. Ce système d'encodage précis de la numérosité est présent dès la naissance en se limitant à la détection de deux items (Coubart et coll., 2014)^[14;15]. Starkey et coll. (1980)^[70] ont étudié

les capacités numériques de nourrissons âgés de cinq mois en modalité visuelle pour des petites numérosités. Après une phase d'habituation, ils présentaient une tâche de comparaison de quantités non symboliques et calculaient le temps de fixation des très jeunes enfants. Ils ont conclu que les nourrissons étaient capables de détecter des changements entre deux petites quantités (2 et 3). Ce système est limité au niveau du nombre d'objets traités par les nouveau-nés. Feigenson et coll. (2002)^[26] ont montré que les nourrissons de dix à quatorze mois peuvent comparer des ensembles contenant jusqu'à trois éléments. Au-delà de trois éléments, leur réponse dépend du hasard. Plus récemment, Jansen et coll. (2014)^[42] ont étudié la capacité des enfants de quatre à six ans à discriminer les petites quantités. Les résultats démontraient que le processus de subitizing ne dépasse pas le traitement de trois éléments.

c. L'influence des propriétés perceptives et de la mémoire dans le traitement de la numérosité

Le subitizing n'est pas la seule hypothèse expliquant la capacité précoce de traitement des petites quantités. Simon (1997)^[69] postule l'existence d'un système spatio-temporel qui permettrait aux nourrissons de comparer deux petites quantités entre elles. Ils garderaient en mémoire chaque élément d'un petit ensemble en traitant leurs caractéristiques perceptives (couleur, forme, taille). Les nouveau-nés ne seraient donc pas capables d'encoder précisément des petites numérosités mais ils utiliseraient leurs capacités mnésiques visuelles pour traiter une collection en considérant de manière individuelle les éléments de celle-ci.

Clairfield et coll. (1999; 2001)^[11;12] et Feigenson et coll. (2002)^[27] ont remarqué que les variables continues perturbaient le traitement numérique des très jeunes enfants. Ainsi, les propriétés visuelles telles que la taille, la surface, le volume, la longueur de contour ou la brillance influenceraient les réponses des nourrissons aux tests. Ils ne raisonnaient pas seulement en termes de nombre et se fieraient également aux propriétés visuelles pour comparer deux ensembles. Après une phase d'habituation qui exposait aux bébés plusieurs dispositifs comprenant un nombre identique de carrés de même taille mais disposés différemment, Clairfield et coll. leur ont présenté de nouveaux dispositifs faisant varier soit le nombre soit la longueur de contour des carrés. Les résultats ont montré que les bébés étaient sensibles à un changement de longueur de contour mais pas à un changement du nombre de carrés.

Rousselle et coll. (2004)^[63] ont confirmé ces résultats en montrant l'absence de réaction face à la numérosité des enfants de trois ans lorsque les variables continues étaient contrôlées. Les enfants seraient particulièrement sensibles à la surface occupée par les éléments des collections sur le traitement de la numérosité (Rousselle et coll., 2008)^[64]. Dans la même lignée, Jansen et coll. (2014)^[42] émettent l'hypothèse que le subitizing se fonderait sur une capacité générale de reconnaissance de formes spatiales.

2. L'élaboration de la cardinalité

a. L'influence de l'apprentissage des représentations symboliques sur la représentation analogique

La représentation analogique du nombre serait une compétence innée et indépendante de la culture ou de l'âge. À l'inverse, les représentations symboliques (code verbal et code indo-arabe) dépendent d'un apprentissage implicite et involontaire dans un premier temps puis d'un apprentissage explicite et volontaire induit par l'enseignement scolaire (Fayol, 2008)^[23]. Le code analogique serait un prédicteur (modeste) de la maîtrise des codes symboliques. Plusieurs auteurs ont étudié l'influence du système approximatif du nombre sur les compétences arithmétiques intégrant les codes symboliques (cf III.1.d). Cependant, les études montrent également que les échanges ne seraient pas unilatéraux. En effet, les recherches ayant étudié le développement de la ligne numérique mentale s'accordent à dire que l'estimation des quantités s'améliore en fonction de l'âge. La ligne numérique mentale passe d'une conception logarithmique à une conception linéaire. Ainsi, l'association des représentations symboliques et des quantités qui s'y réfèrent modifie profondément la représentation analogique (Izard et coll., 2008)^[40].

b. La comptine numérique

La comptine numérique est un apprentissage long et progressif qui s'acquiert entre deux et six ans et aboutit à l'acquisition d'une suite stable (énoncée systématiquement dans le même ordre) et conventionnelle (énumérée sans erreur). On distingue quatre étapes dans la construction de la chaîne numérique verbale :

- *Le chapelet* est une suite de noms des nombres indifférenciée qui ne renvoie pas à la notion de quantité,
- *La chaîne insécable* est une suite de noms individualisés. L'enfant ne compte qu'à partir de « un »,

- *La chaîne sécable* permet à l'enfant de commencer son comptage à n'importe quel endroit de la suite,
- *La chaîne bidirectionnelle* permet à l'enfant de faire un comptage à rebours ou entre deux bornes (entre deux noms de nombre).

Le degré de difficulté d'acquisition de la chaîne numérique verbale dépend de la langue maternelle. Les jeunes français ont plus de difficultés à apprendre la comptine numérique car l'organisation du système linguistique français est complexe et oblige les enfants à apprendre par cœur la suite des noms des nombres au moins jusqu'à 16 (Fayol et coll., 1990)^[24]. Ils sont moins performants que leurs pairs chinois qui utilisent un système linguistique plus régulier nécessitant un apprentissage par cœur jusqu'à 10.

La connaissance de la chaîne verbale ne signifie pas que l'enfant est capable de mettre d'emblée en lien le nom d'un nombre et la quantité correspondante. Wynn (1992)^[74] a proposé à des enfants de deux à trois ans des tâches faisant appel ou non au comptage verbal. Cette étude a montré que les enfants peuvent précocement différencier les noms de nombre parmi d'autres mots qui ne sont pas en rapport avec la suite verbale. Cependant, ces premières connaissances du code verbal ne signifient pas que les enfants associent le mot nombre à une cardinalité (que / katr/ fait référence à un ensemble de 4 éléments).

c. Le dénombrement

Le dénombrement est un processus de quantification qui permet de compter exactement l'ensemble des éléments d'une collection (dire combien il y a d'éléments en tout). Le dénombrement nécessite de gérer deux activités simultanément : pointer visuellement et/ou manuellement chaque objet en énonçant la comptine numérique (Camos, 2002)^[4].

Le dénombrement compte cinq principes fondamentaux (Gelman et coll., 1978)^[33] :

- *Le principe d'ordre stable* induit que chaque nom de nombre occupe toujours la même place dans la comptine numérique,
- *Le principe de la correspondance terme à terme* renvoie au fait que chaque élément d'une collection est désigné par un seul nom de nombre,
- *Le principe de cardinalité* correspond au dernier nom de nombre énoncé et représente le nombre total d'éléments de la collection,
- *Le principe d'abstraction* tient compte du fait que les éléments d'une collection ne sont considérés que pour leur caractéristique d'entité distincte,

- *Le principe de non-pertinence de l'ordre* signifie que l'ordre dans lequel les éléments d'une collection sont énumérés n'affecte pas le résultat du comptage tant que le principe de correspondance terme à terme est respecté.

L'apparition du dénombrement dans l'enfance fait débat. Gelman et coll. prétendent que les enfants auraient une connaissance innée de ces principes. L'efficacité du dénombrement durant le développement des compétences arithmétiques dépendrait donc de la meilleure maîtrise des principes et non pas de l'acquisition même de ceux-ci. C'est la théorie des principes premiers (Gelman et coll., 1978)^[33]. En revanche, Fuson (1988)^[30] défend la théorie des principes-après. Selon elle, les principes de dénombrement ne sont pas innés mais acquis progressivement grâce à des activités répétées et produites par imitation. Les enfants n'ont pas d'emblée une compréhension de ces principes mais réalisent les activités de comptage comme une routine sans lien avec la cardinalité. Par l'expérience, ils vont abstraire les concepts et les mettre en relation avec la notion de cardinalité.

3. Le rôle de la culture et de l'éducation dans le développement de la numération chez l'enfant

a. Les différences individuelles avant l'instruction formelle des mathématiques

Les mathématiques ont un rôle essentiel dans le parcours scolaire et professionnel de chaque individu. Des études ont montré que de faibles compétences en mathématiques entraînent des difficultés pour accéder à de plus hauts statuts socioprofessionnels (Geary, 2011)^[31]. Ces compétences se manifestent différemment d'un individu à l'autre. Des travaux récents ont montré qu'elles apparaissent chez l'enfant dès la période préscolaire (Dowker, 2008)^[21] et qu'elles peuvent être prédictives de certaines inégalités futures (Pagani et coll., 2010)^[57].

Ces disparités interindividuelles des compétences en mathématiques entraînent une augmentation des inégalités. Comme l'ont souligné Cens et coll. (2007)^[9], les élèves les plus faibles auront davantage de difficultés à rattraper leurs pairs ayant un meilleur niveau. Ces constats conduisent à préconiser la mise en place précoce d'activités pouvant améliorer les savoirs mathématiques afin d'essayer de pallier ou réduire ces futures différences entre enfants.

Ces différences de compétences en mathématiques se retrouvent en maternelle. L'étude de Leroy et coll. (2005)^[45] a confirmé la faiblesse des performances numériques des enfants francophones issus de milieux sociaux défavorisés. Elle vise à mettre au point des stratégies éducatives pour favoriser l'apprentissage mathématique chez ces enfants.

b. Le rôle et le poids de la culture

De nombreux auteurs se sont penchés sur la question des disparités interculturelles en mathématiques. Les enfants chinois réussissent en général mieux certaines tâches mathématiques par rapport aux enfants américains et cela bien avant l'école élémentaire (Siegler et coll., 2008)^[66]. Malgré tout, des variabilités demeurent dans les performances mathématiques à l'intérieur d'une même culture.

Ces observations ont amené d'autres auteurs à se demander pourquoi de telles différences interculturelles existent. Elles s'expliqueraient en partie par l'éventuel impact des interactions précoces entre parents et enfants. Berkowitz et coll. (2015)^[2] ont montré que la qualité des interactions mathématiques entre parents et enfants au sein du foyer aidait à avoir une meilleure connaissance des mathématiques. Une autre étude a observé que la qualité et la quantité d'expériences liées au nombre se produisant à la maison étaient en lien avec l'augmentation des mots-nombres utilisés par les enfants (Ramani et coll., 2015)^[62].

Ces divergences n'apparaissent que pour certaines activités mathématiques. Jordan et coll. (1992)^[44] ont proposé des tâches numériques sous un format verbal et un format non-verbal à des enfants venant de différents milieux socio-économiques. Les auteurs ont montré que les enfants provenant d'un milieu socio-économique moyen avaient de meilleures performances pour les productions verbales que les enfants issus d'un milieu socio-économique défavorisé. Par contraste, les auteurs n'ont pas relevé de différences pour les épreuves non-verbales.

Siegler (2008)^[66] confirme les résultats précédents. Il observe que la connaissance numérique des enfants issus d'un milieu à faibles revenus est en retard par rapport à celle de leurs pairs issus d'un milieu à revenus intermédiaires avant même l'entrée à l'école. Cet écart peut s'expliquer par des expériences antérieures différentes concernant les activités numériques informelles.

c. Le jeu pour améliorer les compétences mathématiques

Des études ont observé si certaines activités pourraient favoriser la sensibilisation ou préparer à l'acquisition de savoirs mathématiques (Cohen Kadosh et coll., 2013)^[13]. De manière générale, il en ressort que ces activités revêtent un caractère ludique pour les plus jeunes. Les jeux et autres activités ludiques développent l'intérêt pour les mathématiques, les compétences arithmétiques des enfants et leur compréhension des concepts (Ginsburg et coll., 2008)^[35].

Siegler et ses collaborateurs (2008)^[67] ont introduit des jeux de plateau linéaires dans lesquels les enfants doivent avancer leur pion en fonction des points obtenus sur le dé. Ils ont cherché à savoir si ce type de jeux augmentait les performances mathématiques des enfants. Il en ressort que les connaissances des grandeurs numériques des enfants de maternelle issus de familles à revenus moyens étaient supérieures à celles de leurs pairs issus d'un milieu moins aisé. D'autre part, lorsque les enfants suivaient un entraînement régulier à ce type de jeux, les différences en estimation numérique disparaissaient. Siegler en a conclu que les jeux de société numériques offrent un moyen peu coûteux pour réduire l'écart de connaissance numérique entre les enfants provenant de différents milieux socio-économiques, et ce, dès qu'ils commencent l'école.

Ramani et coll. (2012)^[61] ont utilisé un jeu de plateau sur la ligne numérique afin de voir l'éventuel impact qu'il aurait sur les compétences en mathématiques des enfants. Les résultats ont montré que les enfants qui ont les meilleures performances en estimation numérique, à partir du jeu de plateau linéaire, ont de meilleurs résultats dans les activités numériques comme la comparaison de grandeurs, la mémoire des nombres, etc. Ils concluent aussi que ces jeux sur la ligne numérique peuvent être utilisés en classe.

III. L'espace et le nombre

1. Le Système Approximatif Numérique (SAN)

a. Définition

Le SAN est un système mental primitif des représentations non verbales qui prend en charge le sens intuitif du nombre chez les adultes, les enfants, les nourrissons et d'autres espèces animales. Le SAN est une représentation non symbolique des quantités. Elle confère un sens au nombre. Ce serait une compétence innée (Izard et coll., 2009)^[41].

Les hommes et les animaux partagent la capacité à estimer un nombre d'éléments dans un ensemble grâce au SAN sans avoir recours au comptage (Nieder, 2005)^[52]. Cette capacité se retrouve dans n'importe quelle culture, même si celle-ci ne comporte qu'un système restreint de comptage fondé sur la langue : un peuple d'Amazonie (les Mundurucu) a un lexique de mots-nombres ne dépassant pas 5. Cependant, il est en mesure de comparer et d'ajouter approximativement de grandes quantités (Pica et coll., 2004)^[60].

Les approximations numériques produites par le SAN sont typiquement imprécises. Chez l'homme, ces approximations se précisent progressivement de l'enfance à l'âge adulte (Halberda et coll., 2008)^[36]. Les humains sont les seuls à apprendre les concepts et les opérations des mathématiques symboliques. En effet, ces compétences mathématiques reposent sur des représentations symboliques spécifiques à l'homme et acquises par un enseignement explicite (Carey, 2004)^[8].

b. Localisation du SAN

Du point de vue anatomique, les sulcus intrapariétaux bilatéraux réagissent sélectivement au changement de nombre. Ce site intrapariétal codant pour le nombre chez l'homme est compatible avec celui observé chez les macaques (Piazza et coll., 2004)^[59]. Izard et coll. (2008)^[39] ont montré que le sillon intrapariétal était activé lors du traitement des quantités et encore plus simplement lors de la détection d'un chiffre entre des lettres et des couleurs. Eger et coll. (2003)^[22] confirment la présence d'une réponse spécifique au nombre dans le sillon horizontal intrapariétal, toujours en vue de comparer des nombres à des lettres et des couleurs sous différentes modalités.

Ainsi, le sillon intrapariétal fonctionne comme une clé pour la représentation de l'aspect sémantique de la quantité numérique (Nieder et coll., 2009)^[53].

c. Lien entre précision du SAN et compétences mathématiques

Des recherches se sont concentrées sur les différences interindividuelles de précision du sens du nombre non-verbal. Une étude longitudinale a montré qu'il existe des différences dans la précision du SAN chez les enfants de 14 ans (en analysant la performance dans une tâche de comparaison non symbolique). Ces différences sont à mettre en corrélation avec les compétences en mathématique symbolique (mesurée par des tests standardisés de calcul) de la maternelle jusqu'au collège (Halberda et coll., 2008)^[37]. Des résultats plus élevés aux épreuves standardisées en mathématiques sont associés à une meilleure précision du SAN.

Dans une étude longitudinale, Mazzocco et coll. (2011)^[49] ont montré que la précision du SAN, mesurée à la maternelle (trois ans) avant une instruction formelle des mathématiques, prédit de manière sélective les performances en mathématiques à six ans. Les performances des enfants à des tâches numériques non symboliques prédisent la maîtrise ultérieure de mots numériques et une meilleure maîtrise du programme mathématique scolaire.

Ces études suggèrent qu'il existe une connexion fonctionnelle entre le SAN et les mathématiques symboliques avant l'instruction formelle dispensée par l'école et que cette connexion perdure à l'âge adulte.

d. Débats autour du SAN

Plusieurs débats existent autour du SAN. D'une part, le SAN serait représenté sous un format analogique, au même titre que d'autres grandeurs comme l'étendue spatiale et la durée (Meck et coll., 1983)^[51]. D'autre part, certains suggèrent que le SAN serait une partie d'un système plus vaste, comprenant des mécanismes pour le traitement de grandeurs numériques et non numériques. Le temps, l'espace et la quantité feraient partie d'un système général de la grandeur ; ce qui contredit la proposition de plusieurs systèmes indépendants de la grandeur (Cappelletti et coll., 2011; Walsh, 2003)^[7;72].

Certains auteurs se sont demandé dans quelle mesure la précision des grandeurs non numériques était prédictible des compétences en mathématiques. Lourenco et coll. (2012)^[48] ont trouvé que de meilleurs résultats en estimation de nombre et en estimation de superficie de points cumulés (lors de tâches de comparaison) étaient corrélés à de meilleures compétences mathématiques. Les analyses ont ainsi montré que la précision d'estimation du nombre était à mettre en lien avec l'arithmétique (grandeur numérique) et que la précision d'estimation de la superficie de points cumulés était à mettre en lien avec la géométrie (grandeur non numérique).

Plus largement, cette étude suggère que les représentations de grandeurs numériques et non numériques se chevauchent partiellement et vont dans le sens d'un système général de la grandeur. Ces résultats ont aussi été confirmés dans l'étude de Cappelletti et coll. (2009)^[6].

2. La corrélation entre espace et nombre

a. Lien culturel

Depuis l'époque de Pythagore, les représentations numériques et spatiales ont été liées. Certains auteurs se sont penchés sur la question de ce lien entre l'espace et le nombre dans la culture occidentale. En effet, il existe une liaison naturelle entre l'espace et le nombre, comme la notion de mesure ou de géométrie. Des données récentes sur des études comportementales ont montré que certains aspects de la compréhension numérique dépendent de représentations spatiales (Hubbard et coll., 2005)^[38].

Fisher (2001)^[28] a souligné que le traitement de nombres induit systématiquement des biais spatiaux : lors d'un jugement de parité de nombres, la vitesse de réponse est plus rapide avec la main gauche pour les petits nombres tandis que la vitesse de réponse est plus rapide avec la main droite pour les grands nombres.

b. Lien neuro-anatomique

Ces interactions numériques et spatiales vont bien au-delà d'une simple construction culturelle. Le lien entre l'espace et le nombre est aussi de nature neuro-anatomique : l'origine des représentations numériques et spatiales se retrouve dans le lobe pariétal. Plus précisément, les régions neuronales du sillon intrapariétal (y compris les régions ventrale et latérale intrapariétales) seraient impliquées dans les processus numériques et spatiaux (Hubbard et coll., 2008)^[38].

c. Les performances dans la discrimination du nombre et de l'espace

Des recherches ont étudié les comparaisons de grandeurs entre un nombre de points et une superficie de points cumulés. Les résultats ont montré d'une part, que, lors d'une comparaison du nombre de points, les essais congruents (même ratio entre nombre de points et superficie de points) étaient traités plus rapidement que les essais non congruents (plus le nombre de points augmente, plus la surface diminue). D'autre part, la comparaison de superficie de points a révélé que le jugement de superficie est clairement entravé lorsque les informations sur la numérosité sont incompatibles avec les informations sur la dimension continue (surface de points) (Nys et coll., 2012)^[54].

Une autre étude a observé les interactions entre les dimensions discrètes (nombre) et continues (surface) et leur impact sur la performance de comparaison des grandeurs chez les adultes. Les résultats ont montré que, lorsque les participants doivent porter un

jugement sur un nombre d'éléments présentés dans un ensemble, ils semblent incapables d'ignorer les caractéristiques continues des stimuli, telle la superficie totale couverte par la collection de points. Chez les adultes, ce jugement de congruence de taille est un indicateur fiable pour le traitement des numérosités non symboliques (Gebuis et coll., 2009)^[32].

3. Le nombre irrépressible dans l'espace

a. Le caractère irrépressible du nombre

Nous ne pouvons nous empêcher de voir du nombre. Dehaene et coll. (1993)^[17] ont montré qu'il existait une architecture modulaire pour le traitement numérique avec des représentations distinctes mais néanmoins interconnectées des nombres (arabes et verbaux) et la grandeur. Pour représenter cette architecture modulaire, Dehaene propose un modèle des capacités élémentaires de traitement numérique. Dans ce modèle, il inclut la capacité de l'homme à reconnaître de la numérosité, qu'elle soit présentée visuellement ou auditivement. Ce modèle explique aussi les capacités des nourrissons à détecter de la numérosité alors qu'ils ne savent pas compter (Dehaene et coll., 1993)^[18]. Ces données suggèrent que nous ne pouvons pas nous empêcher de voir du nombre, quelle que soit la modalité.

b. L'attraction du nombre dans l'espace

Le but de l'étude de Nys et coll. (2012)^[54] était de savoir si les adultes traitent la numérosité automatiquement. Les résultats concluent que les adultes ne peuvent pas ignorer des informations numériques lors du traitement de collections visuelles non symboliques dans des tâches de comparaison de superficie de points cumulés. Ainsi, le nombre constitue une dimension influente sur laquelle les adultes se basent systématiquement et automatiquement quand ils doivent effectuer des comparaisons de superficie.

Une autre étude a montré l'existence d'une influence réciproque entre l'information numérique et l'information perceptive dès l'âge de trois ans. Rousselle et coll. (2008)^[64] ont aussi remarqué que la sensibilité aux signaux numériques augmentait avec l'âge (cf II.1.c).

Odic et coll. (2013)^[55] ont comparé la discrimination d'une surface à une discrimination de nombre afin de voir si elles se développaient en parallèle. Ils ont constaté que, tout comme l'acuité du nombre, l'acuité de discrimination de surface s'améliore régulièrement pendant l'enfance.

c. Le biais directionnel entre espace et nombre

Ces associations spatiales-numériques se retrouvent dès le plus jeune âge, bien avant l'instruction formelle de la lecture. Les grandeurs numériques culturellement orientées de gauche à droite ont tendance à créer un biais dans les performances spatiales. Certains auteurs se sont demandé pourquoi ce biais allait de gauche à droite. Ils ont remarqué que les enfants de maternelle ordonnaient les items dans cette direction lors d'activités mathématiques. Les enfants qui ne suivaient pas ce biais se montraient davantage immatures. Ces résultats suggèrent que ces associations spatiales-numériques facilitent les représentations des grandeurs (Opfer et coll., 2010)^[56]. De plus, les conclusions de cette étude montrent que la source de ces associations ne provient ni de la connaissance des symboles ni de la pratique de la lecture.

Les hypothèses envisagent que les associations spatiales-numériques seraient traitées par le lobule pariétal supérieur (PSPL). La représentation des grandeurs non symboliques, les associations spatiales-numériques, les informations visuo-spatiales requises pour le pointage (Simon et coll., 2002)^[68] et le traitement de calcul approximatif (addition) (Pesenti et coll., 2000)^[58] dépendraient de cette région PSPL.

CHAPITRE 2. PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES

I. Problématique

Notre intérêt s'est porté sur la capacité des enfants à dissocier le nombre d'objets d'une collection (variable discrète correspondant au cardinal) de la surface occupée par cette même collection (variable continue) afin qu'ils parviennent à se constituer une représentation abstraite de la quantité (le cardinal). Nous cherchons à savoir si la pratique d'activités ludiques (jeux de bataille et dominos) permettrait aux enfants de GSM de décorrélérer les associations entre la surface et la numérosité et d'améliorer en conséquence leurs performances dans les tâches arithmétiques. Deux jeux (bataille et dominos) ont été utilisés suivant un plan expérimental de changements croisés (cross-over design). Les performances des groupes entraînés (BADO et DOBA) ont été comparées à un groupe contrôle. Nous pouvions donc répondre à deux questions : les jeux de bataille et de dominos améliorent-ils les performances des enfants par comparaison avec celles d'un groupe contrôle ; les deux entraînements sont-ils équivalents ou l'un des deux est-il plus efficace que l'autre ?

Les performances des enfants ont été évaluées avant (pré-test) et après entraînements (plusieurs post-tests) dans différents domaines numériques. Le dénombrement, la comparaison et la conservation numérique sont des épreuves spécifiques mobilisées lors de l'entraînement. Les épreuves d'opérations, d'estimation linéaire et de sériation numérique sont non spécifiques et permettent d'observer une éventuelle généralisation à d'autres procédures mathématiques. Les scores relevés aux tests ont permis d'évaluer l'impact des entraînements sur les performances des élèves entraînés.

II. Hypothèses

Hypothèse 1 :

Les groupes d'enfants BADO et DOBA qui ont suivi un entraînement spécifique en pratiquant les jeux de bataille et de dominos devraient améliorer significativement leurs scores aux tâches numériques et arithmétiques aux post-tests (immédiat et différé) par rapport au groupe CONT qui n'a pas suivi d'entraînement.

Hypothèse 2 :

Cette amélioration devrait concerner en priorité les épreuves de dénombrement, de comparaison et de conservation numérique (domaines spécifiquement mobilisés par les jeux) mais moins voire pas du tout les épreuves d'opérations, de ligne numérique ou de sériation numérique.

Question 3 :

Nous nous interrogeons quant à l'équivalence des deux entraînements en ce qui concerne l'amélioration des performances : l'un des deux entraînements induit-il des progrès plus marqués ? Nous n'avons a priori aucune raison de considérer que l'un des deux devrait être plus efficace que l'autre.

CHAPITRE 3. MÉTHODE

I. Méthode expérimentale et population

1. Méthode expérimentale

Afin de vérifier nos hypothèses, nous avons mené une étude durant 5 mois auprès d'enfants scolarisés en GSM et âgés en moyenne de 62,02 mois au début de l'étude.

Les enfants étaient répartis en trois groupes distincts :

- Un groupe d'enfants contrôle qui suivait les activités scolaires, sans entraînement spécifique (CONT),
- Un groupe d'enfants qui suivait l'entraînement au jeu de dominos puis au jeu de bataille (DOBA),
- Un groupe d'enfants qui suivait l'entraînement au jeu de bataille puis au jeu de dominos (BADO).

Les deux groupes expérimentaux ont suivi un entraînement croisé. L'intérêt est de limiter les biais liés au hasard, aux conditions de passation et à la spécificité de chaque groupe.

Notre étude se divise en six phases : quatre phases d'évaluation et deux phases d'entraînement.

Avant tout entraînement, nous avons évalué les compétences arithmétiques de chaque enfant (pré-test). Par la suite, nous avons accompagné les classes expérimentales tous les lundis et jeudis de chaque semaine pour introduire un nouveau jeu. Les enseignants jouaient avec les enfants les mardis et vendredis. Pour une des classes, nous avons accompagné les enfants à toutes les séances d'entraînement. Le protocole que nous avons fourni aux enseignants pour leur expliquer le déroulement de notre action se trouve en annexe H.

Suite à cette première phase de jeux, nous avons à nouveau évalué les trois groupes d'enfants (test du milieu d'entraînement) pour estimer l'impact potentiel de l'entraînement sur les compétences des enfants.

Après les vacances de la Toussaint, les classes expérimentales ont suivi la seconde partie de leur entraînement. Le groupe d'enfants, qui jouait initialement au jeu de dominos, s'est consacré au jeu de bataille et inversement pour l'autre groupe d'enfants.

Cette seconde phase d'entraînement a été suivie d'une troisième session de tests (post-test immédiat). De la fin du mois de janvier jusqu'au début du mois de février, l'ensemble des enfants de l'étude a passé une dernière évaluation (post-test différé) afin de mesurer l'efficacité de l'entraînement proposé et la pérennité de ses effets dans les classes expérimentales.

Voici un tableau récapitulatif de notre étude :

Tableau 1 : Calendrier expérimental

	7 au 18 sept. 2015	21 sept. au 9 oct. 2015	12 au 16 oct. 2015	2 au 20 nov. 2015	23 au 27 nov. 2015	25 janv. au 5 fév. 2016
Groupe CONT	Pré-test	pas d'entraînement	Test du milieu	pas d'entraînement	Post-test immédiat	Post-test différé
Groupe BADO		jeu de bataille		jeu de dominos		
Groupe DOBA		jeu de dominos		jeu de bataille		

2. Population

Les enfants de l'étude sont scolarisés en GSM en Sarthe et dans le Finistère. Nous cherchions trois classes chacune afin d'avoir un échantillon d'enfants représentatif de la population nationale.

Chacune de nous avait deux classes expérimentales et une classe contrôle pour homogénéiser les résultats et limiter les biais liés à un effectif d'enfants trop restreint. Au début de l'étude, nous comptions 29 enfants dans le groupe DOBA, 40 enfants dans le groupe BADO et 40 enfants dans le groupe contrôle.

Les familles fréquentant les différentes écoles de l'étude sont issues de catégories socioprofessionnelles diverses.

- **Critères d'inclusion :**

L'enfant devait être en GSM lors du pré-test. Il devait être régulièrement à l'école de manière à suivre l'enseignement général et, pour les groupes expérimentaux, les phases d'entraînement.

- **Critères d'exclusion :**

Nous avons exclu de notre échantillon les enfants n'ayant pas pu réaliser la totalité des épreuves lors de la passation du pré-test. Au cours de l'étude, nous avons exclu les enfants ayant déménagé, ceux n'ayant pas pu assister à une session de tests ou ceux absents trop longtemps pour suivre correctement les entraînements (plus de deux jours d'absence consécutifs). Nous avons enlevé de notre étude les enfants présentant des scores de 4/4 pour l'épreuve de conservation numérique au pré-test.

- **Critères de non inclusion :**

Nous avons enlevé de notre échantillon les enfants qui n'étaient pas disponibles ou incapables d'être dans les mêmes situations de tests que les autres enfants de l'étude. Entre le début de notre étude et la fin, 18 élèves ont été retirés de notre recherche. Ainsi, nous comptons 25 enfants dans le groupe DOBA, 29 enfants dans le groupe BADO et 37 enfants dans le groupe contrôle. Les tableaux 2 et 3 récapitulent les informations relatives à la population.

Tableau 2 : Répartition de l'échantillon en âge et en sexe (pré-test)

Échantillon population	Effectif	Âge (mois)			Sexe			
		Moyenne	Max.	Min.	Filles		Garçons	
Groupe CONT	40	61,55	67,9	56,5	18	45%	22	55%
Groupe BADO	40	62,03	68,1	56,5	14	35%	26	65%
Groupe DOBA	29	62,49	68,4	56,8	12	41,38%	17	58,62%
Échantillon	109	62,02	68,4	56,5	44	40,46%	65	59,54%

Tableau 3 : Répartition de l'échantillon en âge et en sexe (post-test différé)

Échantillon population	Effectif	Âge (mois)			Sexe			
		Moyenne	Max.	Min.	Filles		Garçons	
Groupe CONT	37	66,58	72,6	61,7	17	45,95%	20	59,46%
Groupe BADO	29	66,42	72,8	61,2	10	34,48%	19	65,52%
Groupe DOBA	25	66,71	73,1	61,5	10	40%	15	60%
Échantillon	91	66,57	73,1	61,2	37	40,66%	54	59,34%

II. Matériel

Pour évaluer chaque enfant, nous avons créé un feuillet de tests issu d'épreuves inspirées par d'autres études et de la batterie TEDI-MATH.

Nous avons testé les enfants par groupes de quatre pour les épreuves de dénombrement, comparaison, estimation linéaire (ligne numérique) et opérations ; ce qui nous a permis de réduire la période de passation de ces tests. Pour les épreuves de sériation et de conservation numériques, nous avons fait des passations individuelles. Pendant les tests, nous avons choisi de ne pas établir de limite de temps.

Toutes les épreuves ont été mises en annexe (annexes B à G).

1. Épreuves en groupes

a. Épreuve de dénombrement (annexe B)

Cette épreuve permet d'évaluer la capacité des enfants à dénombrer différentes quantités. Elle se divise en quatre parties comptant chacune deux items :

a. Un nombre est écrit à gauche de la page et trois cercles contenant des bonbons sont positionnés les uns en dessous des autres à droite de la page. Les enfants doivent associer le nombre (9 pour un item et 12 pour l'autre) au cercle contenant le même nombre de bonbons.

b. Deux carrés contenant des souris (13 pour l'un et 8 pour l'autre) sont situés à gauche de la page et 3 nombres sont proposés à droite de la page (7, 16, 13 pour le premier carré et 7, 9, 8 pour le deuxième). Les enfants doivent relier ou entourer le nombre correspondant au nombre de souris présent dans le carré.

c. Deux cercles contenant des souris (7 pour l'un, 11 pour l'autre) sont placés à gauche de la page et trois cercles contenant des fromages sont placés à droite de la page (8, 6, 7 pour le premier item et 11, 8, 5 pour le deuxième). Les enfants doivent appairer le cercle de souris avec le cercle de fromages contenant le même nombre d'éléments.

d. Deux carrés contenant des souris (14 pour l'un et 6 pour l'autre) sont présentés à gauche de la page. Les enfants doivent écrire le nombre de souris dans des carrés situés à droite de la page.

b. Épreuve de comparaison (annexe C)

Cette épreuve permet d'évaluer la capacité des enfants à juger de la grandeur relative des quantités. Elle se divise en deux parties : une comparaison de numéraux indo-arabes et une comparaison de quantités de points.

a. Pour l'épreuve de comparaison de numéraux indo-arabes, huit paires de cartes sont présentées aux enfants. Les nombres inscrits sur les cartes vont de 1 à 8. Les enfants

doivent entourer le nombre qui représente la plus grande quantité pour chaque paire de cartes. Les quatre premières paires (8/5, 4/3, 1/5, 7/6) respectent la congruence entre quantité et taille graphique. Les quatre dernières paires (1/5, 4/3, 6/7, 8/5) ne respectent pas le principe de congruence : le nombre représentant la plus grande quantité est écrit en plus petite taille graphique que le nombre de moindre quantité.

b. L'épreuve de comparaison de quantités présente sept coccinelles. Chacune d'entre elles a deux ailes contenant un nombre défini de points. Pour chaque coccinelle, les enfants doivent entourer l'aile qui contient le plus de points. Nous avons utilisé des leurres perceptifs : la couleur des points (rouge ou bleu) et la différence de taille entre les points. Trois items respectent le principe de congruence entre la taille et la surface occupée. Pour les quatre autres items, plus les points sont nombreux, plus la surface occupée est faible et les points sont petits.

c. Épreuve d'estimation linéaire ou ligne numérique (annexe D)

Cette épreuve permet d'évaluer la capacité des enfants à apprécier la position relative d'un nombre sur une ligne. Elle se divise en deux parties de trois items chacune. Elle présente aux enfants une ligne commençant par 0 et se terminant par 10.

a. La première partie de l'épreuve demande aux enfants de placer approximativement un nombre écrit dans un cercle (3, 5, 9) situé au-dessus de la ligne. Ils doivent tracer un trait sur cette même ligne pour indiquer la place du nombre.

b. Pour la seconde partie de l'épreuve, un trait est déjà tracé sur la ligne. Les enfants doivent estimer le nombre correspondant au trait et l'écrire dans un cercle placé au-dessus de la ligne.

d. Épreuve d'opérations (annexe E)

Cette épreuve permet d'évaluer la capacité des enfants à réaliser des opérations mentales.

Elle comprend quatre items : deux additions (2+2 ; 1+4) et deux soustractions (3-1 ; 4-2). Les enfants doivent réaliser des opérations mentales sans passer par les numéraux indo-arabes. Les enfants suivent le déroulement de l'opération : nous utilisons une enveloppe dans laquelle des jetons sont ajoutés ou retirés. Nous ne leur montrons pas le résultat car ils doivent le dessiner sur une feuille.

2. Épreuves individuelles

a. Épreuve de sériation numérique (annexe G)

Cette épreuve s'inspire d'un test de la batterie TEDI-MATH. Elle permet d'évaluer la capacité des enfants à classer les quantités dans un ordre croissant. Elle se divise en cinq parties :

a. Trois cartes contenant des ballons rouges (4, 5, 6 ballons) sont présentées de manière aléatoire à l'enfant. Ces cartes respectent le principe de congruence entre la quantité représentée et la surface occupée. Il doit les sérier de manière croissante.

b. Deux cartes contenant des étoiles (7 et 9 étoiles) sont présentées espacées à l'enfant. Nous lui présentons par la suite une carte de huit étoiles. Il doit trouver la place correcte entre trois propositions (à gauche, au milieu, à droite) pour que les cartes soient rangées par ordre croissant.

c. Sept cartes comprenant des quantités différentes de poissons (1, 3, 5, 7, 9, 12, 15 poissons) sont présentées de manière aléatoire à l'enfant. Il doit les ranger par ordre croissant.

d. L'enfant doit introduire dans la série de cartes précédente une huitième carte qu'on lui donne contenant six poissons. Il doit intégrer cette carte à la sériation précédente en maintenant un ordre croissant.

e. Nous proposons à l'enfant quatre cartes présentant des ballons bleus (4, 5, 6, 7 ballons). Ces cartes ne respectent pas le principe de congruence : plus la quantité représentée est importante, plus la surface occupée est faible. L'élève doit sérier les cartes par ordre croissant.

b. Épreuve de conservation numérique (annexe F)

Cette épreuve est extraite de la batterie de tests TEDI-MATH. Elle permet d'évaluer la capacité des enfants à conserver le nombre, même lors de changements physiques. Nous plaçons douze jetons sur la table répartis en deux lignes de six jetons. Nous expliquons à l'enfant que nous possédons chacun une ligne. Les lignes de jetons sont disposées selon quatre configurations :

a. Les jetons des deux lignes sont placés face à face.

b. Nous espaçons notre ligne de jetons sans en modifier le nombre pour que celle-ci occupe une surface plus importante que la ligne de l'enfant. Nous ne modifions pas la ligne de jetons de l'enfant.

c. Les jetons sont replacés dans la configuration initiale, c'est-à-dire en face à face.

d. Nous regroupons les jetons de notre ligne en un tas sans modifier la position des jetons de la ligne de l'enfant.

3. Les jeux

Les entraînements se sont déroulés pendant six semaines, du 21 septembre au 9 octobre 2015 et du 2 au 20 novembre 2015. Lors de la première session d'entraînement, le groupe BADO jouait au jeu de bataille pendant que le groupe DOBA jouait au jeu de dominos. Après les vacances de la Toussaint, les deux groupes ont échangé les jeux. Les enfants jouaient tous les lundis, mardis, jeudis et vendredis. Ils ne jouaient pas le mercredi car certaines écoles étaient fermées.

Nous intervenions les lundis et jeudis afin d'introduire les nouveaux jeux. Les enseignants prenaient en charge les entraînements les mardis et vendredis. Nous avons donc mis en place un protocole strict et détaillé avec eux. Nous sommes parfois intervenues les mardis ou vendredis quand nous sentions que les enfants éprouvaient des difficultés dans la compréhension de la consigne du jeu ou que l'enseignant se retrouvait seul pour s'occuper des groupes d'enfants. Chaque jour, les élèves jouaient pendant 15 minutes, encadrés par un ou deux adultes.

Les jeux de bataille et de dominos se divisent en deux grandes parties de difficulté croissante : la première partie des jeux (dominos et bataille) comprend des cartes représentant des quantités allant jusqu'à 6. La deuxième partie des jeux intègre des cartes représentant des quantités allant jusqu'au nombre 9.

a. Jeu de bataille (annexe A)

Les jeux de cartes utilisés par les enfants sont inspirés de l'étude de Fruitière et coll. (2015)^[29]. Ces jeux respectent les règles du jeu de bataille traditionnel : le joueur qui a la carte présentant le plus de points gagne la manche. Sur chaque carte figure un certain nombre de points représentant les quantités de 1 à 6 pour la première partie de l'entraînement au jeu de bataille et de 1 à 9 pour la seconde partie. Un jeu contient quatre exemplaires de chaque carte (quatre cartes de un point, quatre cartes de deux points, etc...). Les cartes se différencient par la quantité de points représentée sur chaque carte, la taille des points, leur couleur, et la surface qu'ils occupent. Les cartes mesurent 8 x 5,5 cm.

Les jeux de bataille 1, 2 et 3 se composent de 24 cartes et la quantité représentée s'étend de 1 à 6 points. Les jeux de bataille 4, 5 et 6 se composent de 36 cartes et la quantité représentée s'étend de 1 à 9 points.

Les six jeux remplissent les conditions suivantes :

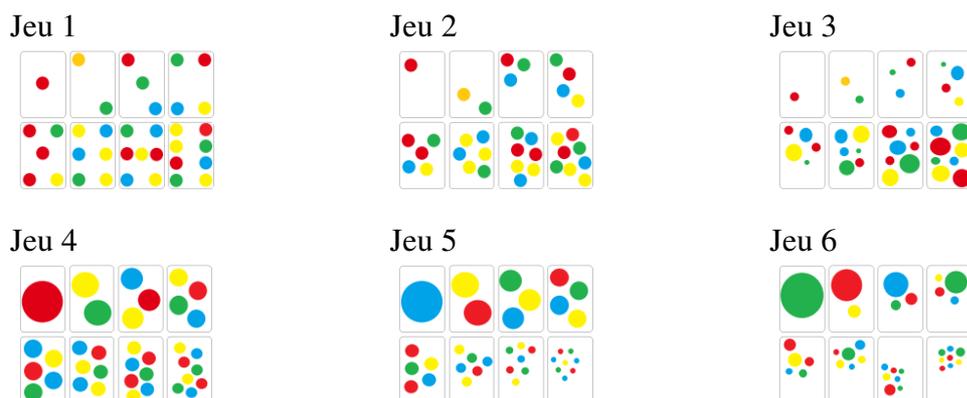
Les jeux 1, 2 et 3 respectent une congruence entre la surface et le nombre de points indiqués sur la carte. Lorsque le nombre de points augmente, la surface occupée augmente également. Ces jeux conservent tout de même des différences : la disposition des points et leur taille sur chaque carte varient.

Le jeu 1 présente les points en constellation de dé et, sur chaque carte, les points ont la même taille. Le jeu 2 contient des cartes présentant les points de taille identique, disposés de manière aléatoire. Le jeu 3 fait varier la taille et la disposition des points au sein d'une même carte.

Le jeu 4 respecte une condition neutre : la surface occupée reste identique même si la taille des points varie.

Les jeux 5 et 6 suivent un principe de non-congruence entre le nombre de points et la surface occupée : quand le nombre de points présents sur la carte augmente, la surface occupée par ces points diminue. Les points dessinés sur une carte du jeu 5 sont tous de la même taille alors que la taille des points au sein d'une même carte peut varier dans le jeu 6.

Figure 1 : Exemple des six types de jeu de bataille



b. Jeu de dominos (annexe A)

Les dominos utilisés par les enfants sont créés à partir de l'article de Brankaer (2015)^[3]. Une moitié du domino représente le numéral indo-arabe écrit, l'autre moitié représente une constellation de points. Les tuiles des dominos mesurent 9 x 5 cm et chaque partie de tuile fait 4,5 x 4,5 cm.

Les jeux de dominos 1, 2 et 3 se composent de 36 tuiles et la quantité représentée s'étend de 1 à 6 points. Les jeux de dominos 4, 5 et 6 se composent de 81 tuiles et la quantité représentée s'étend de 1 à 9 points.

Nous avons créé six jeux différents selon les conditions suivantes :

Chaque moitié de domino représentant les numéraux indo-arabes écrits de 1 à 9 restent inchangés dans tous les jeux. Seule la partie indiquant la constellation de points change de représentation.

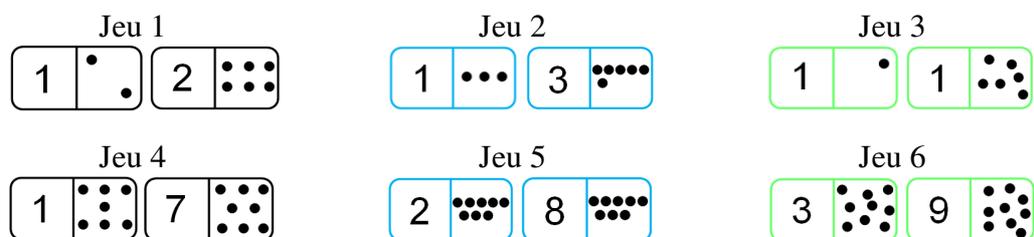
Le jeu 1 (contour noir) comporte une partie de tuile contenant des points sous forme de constellation de dé. Cette constellation est la plus facilement perçue par les enfants.

Le jeu 2 (contour bleu) se compose d'une partie de tuile comprenant des points organisés en ligne.

Le jeu 3 (contour vert) est constitué d'une moitié de tuile contenant des points disposés aléatoirement.

Le jeu 4 (contour noir), le jeu 5 (contour bleu) et le jeu 6 (contour vert) reprennent les mêmes dispositions de constellations de points que les trois premiers jeux. Dans ces trois derniers jeux, nous avons ajouté les numéraux indo-arabes écrits 7, 8 et 9 ainsi que les constellations correspondantes.

Figure 2 : Exemple des six types de jeu de dominos



III. Procédure

1. Épreuves

Les élèves étaient répartis par groupes de quatre enfants et installés dans un lieu calme, pour une durée de 30 à 45 minutes. Le temps était variable selon le groupe. Les enfants recevaient chacun un feuillet au format A4 contenant toutes les épreuves à réaliser. La consigne était collective. Nous la réexpliquions si elle était mal comprise. Ensuite, les

élèves étaient testés individuellement pendant 5 à 10 minutes. Tous les enfants étaient chronométrés pour chaque épreuve.

Les épreuves se déroulaient dans l'ordre suivant :

- Dénombrement
 - Comparaison de nombres
 - Comparaison de quantités
 - Estimation linéaire (ligne numérique)
 - Opérations
 - Sériation numérique
 - Conservation numérique
- } Épreuves en groupes
- } Épreuves individuelles

Les items étaient identiques pour tous les tests, du pré-test au post-test différé. Nous avons fait en sorte de garder l'attention et la motivation des enfants dans chaque épreuve en utilisant des thèmes évocateurs (bonbons, souris, fromages, coccinelles) et en essayant d'alterner la difficulté des épreuves.

Le score total des épreuves est noté sur 42 points.

a. Épreuves réalisées en groupes

Nous avons coté chaque item sur un point. Le score total des épreuves en groupes est noté sur 33 points.

Épreuve de dénombrement (8 points)

Cette épreuve s'est déroulée en quatre exercices.

La consigne pour le premier exercice était la suivante : « Dans les trois cercles, il y a des bonbons. À gauche est écrit un nombre. Trouvez le cercle qui contient le même nombre de bonbons que le nombre écrit ».

Pour le deuxième exercice, voici la consigne : « Combien y a-t-il de souris dans le carré ? Entourez la bonne réponse ».

Pour le troisième exercice, la consigne était : « Il y a un cercle avec des souris et trois cercles avec des fromages. Chaque souris doit avoir son fromage à manger, pas plus, pas moins. Trouvez le cercle de fromages où il y a exactement pareil de souris. Reliez-les ».

Le quatrième et dernier exercice avait pour consigne : « Écrivez dans le carré le nombre de souris que vous voyez ».

Un point était accordé pour chaque bonne réponse.

Épreuve de comparaison (15 points)

Pour le premier exercice, la consigne était la suivante : « Regardez les deux cartes qui sont côte à côte et entourez celle qui représente la plus grande quantité, c'est-à-dire celle qui en a le plus ».

Pour le second exercice, nous donnions comme consigne : « Pour chaque coccinelle, regardez ses deux ailes. Entourez celle qui a le plus de points ».

Un point était accordé pour chaque réponse correcte.

Épreuve d'estimation linéaire ou ligne numérique (6 points)

La consigne du premier exercice était la suivante : « Regardez sur la ligne, zéro est ici et dix est là. Où est-ce que N irait ? Faites un trait sur la ligne là où vous pensez que N irait » (N étant un nombre compris entre 1 et 9).

La cotation se faisait ainsi :

- 1 point si l'enfant plaçait correctement le trait sur la ligne ou s'il se trouvait très proche de la position cible,
- 0 point quand le trait était trop éloigné, absent ou que plusieurs traits étaient dessinés.

Pour le deuxième exercice, la consigne était : « Regardez sur la ligne, zéro est ici et dix est là. Maintenant le trait se trouve sur la ligne, à votre avis à quel nombre pourrait correspondre ce trait ? Vous pouvez écrire votre réponse dans le rond au-dessus de la ligne ».

La réponse des enfants était évaluée ainsi :

- 1 point si la réponse était exacte,
- 0 point si la réponse était fautive.

Après avoir noté chaque item, ces deux tâches nous donnaient un score global.

Épreuve d'opérations (4 points)

Nous n'avons pas utilisé les termes « plus » ou « moins » ou encore « opération », « addition » ou « soustraction » lors de cette épreuve afin que l'enfant ne se sente pas évalué comme lors d'une évaluation scolaire.

Avant de commencer cette épreuve, l'enveloppe vide était présentée aux enfants. La consigne était la suivante : « Regardez, il y a une enveloppe. Elle est vide. Maintenant, regardez combien de jetons je mets dans l'enveloppe. Vous avez bien regardé ? Attention, regardez ce que je fais maintenant (ajout ou retrait de jetons). À présent, dessinez dans le rectangle le nombre de jetons qu'il y a dans l'enveloppe ».

Un point était accordé pour chaque bonne réponse.

b. Épreuves réalisées individuellement

Les enfants étaient testés individuellement à ce moment car il était impossible de faire passer ces épreuves en groupes. Les épreuves suivantes nécessitaient une mise en situation particulière qui nous imposait d'être seule face à l'enfant. Le score total des épreuves en groupe est noté sur 9 points.

Épreuve de sériation numérique (5 points)

Cette épreuve se déroulait en cinq étapes.

Dans le premier exercice, la consigne était la suivante : « Peux-tu ranger les cartes en commençant par celle où il y a le moins de ballons et en allant jusqu'à celle où il y a le plus de ballons ».

Le deuxième exercice se déroulait ainsi : « Regarde les deux cartes (au préalable placées devant l'enfant). Où vas-tu placer la troisième : de ce côté (gauche), de ce côté (droite) ou au milieu ? »

Le troisième exercice se passait en deux étapes :

- Pour la première étape la consigne était : « Peux-tu ranger les cartes en commençant par celle où il y a le moins de poissons et en allant jusqu'à celle où il y a le plus de poissons ? »,
- La consigne pour la deuxième étape était : « Mince, j'ai oublié de te donner cette carte. Où est-ce que tu la mettrais parmi les poissons ? ».

La consigne du dernier exercice était la même que celle du premier exercice.

Un point était accordé pour chaque réponse correcte.

Épreuve de conservation numérique (4 points)

L'épreuve de conservation numérique se composait de quatre phases. Pour chaque configuration, la même consigne était posée: « Regarde tes jetons et regarde mes jetons. Est-ce que c'est toi qui as le plus de jetons ou est-ce que c'est moi qui ai le plus de jetons ou bien avons-nous tous les deux le même nombre de jetons ? Est-ce que tu peux m'expliquer comment tu le sais ? ».

Un point était accordé pour chaque bonne réponse.

2. Entraînements

Nous étions présentes à deux entraînements par semaine (lundis et jeudis). Les enseignants s'occupaient des deux autres sessions d'entraînement (mardis et vendredis). Les enfants ont joué aux jeux de bataille et de dominos pendant six semaines : trois semaines pour le jeu de dominos et trois semaines pour le jeu de bataille.

Les enfants jouaient pendant 15 minutes chaque jour sous la supervision d'au minimum un adulte. Chaque procédure de jeu était expliquée aux enseignants pour que les différents groupes jouent de la même manière.

Nous allions chaque lundi et chaque jeudi introduire un nouveau jeu selon l'ordre établi par le protocole. Cela nous permettait d'être régulièrement au contact des enfants et de veiller à l'application stricte des règles du protocole. Ces jours-là, les enseignants nous tenaient informées du déroulement des séances auxquelles nous n'avions pas assisté.

Voici un tableau récapitulatif de l'ordre des jeux proposés aux enfants :

Tableau 4 : Répartition des jeux (bataille et domino) durant l'entraînement

	21 sept. au 9 oct. 2015						2 au 20 nov. 2015					
	L-M	J-V	L-M	J-V	L-M	J-V	L-M	J-V	L-M	J-V	L-M	J-V
Groupe BADO	Jeu 1	Jeu 2	Jeu 3	Jeu 4*	Jeu 5*	Jeu 6*	Jeu 1	Jeu 2	Jeu 3	Jeu 4*	Jeu 5*	Jeu 6*
Groupe DOBA	Jeu 1	Jeu 2	Jeu 3	Jeu 4*	Jeu 5*	Jeu 6*	Jeu 1	Jeu 2	Jeu 3	Jeu 4*	Jeu 5*	Jeu 6*
Groupe CONT	pas d'entraînement											

Légendes :

- L-M : jeux se déroulant les lundis et mardis,
- J-V : jeux se déroulant les jeudis et vendredis,
- * : jeux allant de 1 à 9 points.

a. Entraînement au jeu de dominos

Les enfants jouaient par groupes de quatre. Chaque enfant disposait de cinq tuiles face découverte. Un tas de cartes face cachée faisait office de pioche. Les règles suivantes étaient systématiquement rappelées au début de chaque séance d'entraînement :

Les enfants jouaient individuellement affrontant leurs trois camarades. Ils jouaient chacun leur tour, les tuiles posées à plat devant eux, face découverte. En laissant les tuiles face visible, les enfants ayant bien intégré la règle pouvaient aider leurs camarades en difficulté.

Une tuile était posée au centre de la table. Les enfants disposaient leurs tuiles de part et d'autre de la tuile centrale.

Les enfants devaient placer en face d'une constellation de points un numéral indo-arabe écrit et en face d'un numéral indo-arabe écrit une constellation de points.

Le but du jeu était d'être le premier à ne plus avoir de tuiles. En moyenne, les enfants jouaient deux parties en 15 minutes.

b. Entraînement au jeu de bataille

Les enfants jouaient par groupes de quatre ou cinq. L'intégralité des cartes du jeu était répartie entre les enfants du groupe. Chaque élève présentait ses cartes face cachée devant lui. Les règles suivantes étaient systématiquement rappelées au début de chaque séance d'entraînement :

Les enfants du groupe retournaient simultanément la première carte de leur jeu. L'enfant qui présentait le plus de point sur sa carte gagnait l'intégralité des cartes mises en jeu pendant la manche.

Lors d'un tour, si plusieurs élèves retournaient la même quantité présentée sur leur carte et que celle-ci était la plus forte, ils procédaient à une « bataille » :

Ils plaçaient une carte face cachée sur la première carte mise en jeu. Une troisième carte, face découverte, venait couvrir les deux précédentes. L'enfant ayant placé la troisième carte présentant le plus de points remportait la manche. Si une situation d'ex-æquo se reproduisait dans un même tour, le processus de « bataille » continuait jusqu'à ce qu'un gagnant soit déterminé.

La partie se terminait lorsqu'un enfant avait remporté l'ensemble des cartes ou que le jeu se partageait entre deux élèves du groupe. En moyenne, les enfants jouaient deux parties en 15 minutes.

c. Réactions face au changement de nombre

Le déroulement de l'entraînement pour les jeux de dominos et de bataille était similaire. Chaque type de jeu se déroulait en deux parties :

- Une première partie contenait des cartes/tuiles présentant des quantités allant de 1 point à 6 points,
- Une seconde partie contenait des cartes/tuiles présentant des quantités allant de 1 point à 9 points.

Nous avons observé les réactions des enfants des deux groupes face à ce changement de quantités.

Pour le groupe DOBA :

Les enfants ont commencé l'entraînement par le jeu de dominos. La règle du jeu leur était rappelée régulièrement. Une nette différence a été notée lors du passage aux plus grandes quantités pour ce jeu. Les enfants ont été mis en difficulté dès l'apparition des quantités 7, 8 et 9. Cette difficulté a nécessité une présence et une vigilance accrues de la part des adultes présents. Malgré cette difficulté, au bout de deux séances de jeu, les enfants se sont rapidement adaptés à ces nouvelles quantités.

Lors du jeu de bataille, les enfants ont maîtrisé les règles plus rapidement. Le passage aux quantités supérieures a eu moins d'effet que pour le jeu de dominos. Ils semblaient plus autonomes lors de l'accroissement des quantités.

Pour le groupe BADO :

Les enfants ont commencé l'entraînement par le jeu de bataille. Ils ont rapidement assimilé les règles. Ceux qui ne maîtrisaient pas totalement les principes de dénombrement ou la chaîne numérique n'étaient pas mis en échec. L'intégration de cartes présentant de plus grandes quantités (7, 8, 9 points) n'a pas posé de problème aux enfants (les règles du jeu étant exactement les mêmes que celles des jeux précédents). Les enfants ont manifesté un regain d'intérêt pour les jeux lorsque les quantités ont augmenté sans pour autant être mis en difficulté.

La deuxième partie de l'entraînement était consacrée au jeu de dominos. La plupart des enfants connaissait déjà le principe du jeu de dominos traditionnel. Ils ont rapidement maîtrisé les règles du jeu, les élèves les plus aguerris aidant ceux moins à l'aise. Nous incitions chaque enfant à participer au jeu de manière autonome, en les sollicitant un à un.

CHAPITRE 4. ANALYSE DES RÉSULTATS

Le but des analyses suivantes est d'évaluer la progression des performances des trois groupes, de comparer leurs scores, de noter les différences et de juger ainsi de leur significativité.

Notre objectif est d'étudier dans quelle mesure la pratique des deux jeux (jeu de bataille et jeu de dominos) permet aux enfants entraînés de dissocier l'espace occupé par les collections du nombre d'éléments que celles-ci comportent : la pratique des jeux induit-elle une dissociation entre ces deux dimensions ?

Dans un premier temps, nous allons analyser les performances au pré-test pour évaluer dans quelle mesure les trois groupes diffèrent. Nous analyserons ensuite les performances lors de la série de tests du milieu d'entraînement, au moment du changement de jeu, ce qui nous permettra d'évaluer l'évolution des scores liée à la pratique d'un premier jeu. Par la suite, nous analyserons les performances des enfants immédiatement après la fin des deux entraînements. Enfin, nous étudierons les résultats des enfants obtenus en différé afin de déterminer l'éventuel impact à plus long terme des pratiques des jeux (tous les scores des tests et les scores des progressions sont répertoriés dans le tableau 9 en annexe I).

Tout d'abord, nous avons comparé les performances des trois groupes au pré-test, avant tout entraînement, afin de vérifier l'absence de différences significatives entre les groupes. Nous devons nous assurer que les performances des groupes étaient homogènes pour tenir compte uniquement de leurs progressions et pour éviter d'induire des biais dans l'étude. Nous avons effectué des analyses de variance (ANOVAs, tests paramétriques) avec les groupes (BADO, DOBA et CONT) comme variable inter-sujets et les scores à chacune des épreuves comme variable dépendante.

I. Bilan des performances aux séries de tests

1. Comparaisons des performances des groupes au pré-test : état initial

Pour nous assurer de l'homogénéité du niveau des enfants entre les trois groupes avant le début des entraînements, nous avons comparé leurs résultats aux différentes épreuves du pré-test. Pour chacune des épreuves, des analyses de variance ANOVA à un facteur intra (à trois modalités : CONT, BADO, DOBA) ont été effectuées.

Nous avons comparé les âges moyens en mois des trois groupes avec, respectivement, CONT=61,84, BADO=61,88 et DOBA=62,44. Les âges de ces groupes ne diffèrent pas significativement, $F < 1$.

Ensuite, pour chaque épreuve du pré-test, nous avons analysé les différences entre les groupes. Le tableau 5 fournit les performances des groupes à l'état initial, lors du pré-test.

Pour l'épreuve de dénombrement (DEN) : les performances (sur 8) ne varient pas d'un groupe à l'autre $F < 1$, avec CONT=4,13 ; BADO=3,79 et DOBA=3,96.

Pour l'épreuve de comparaison de chiffres ou de quantités (COMP), les performances (sur 15) ne varient pas d'un groupe à l'autre $F \approx 1$, avec CONT=9,10 ; BADO=10,29 et DOBA=10,44.

Pour l'épreuve de conservation numérique (CONS) : les performances (sur 4) varient significativement, notamment en raison du score du groupe BADO (2,47) qui est significativement supérieur aux scores des groupes CONT et DOBA (respectivement 1,90 et 1,88), avec $F(2,101)=3,60$ $p < .03$.

Pour l'épreuve de ligne numérique ou d'estimation linéaire (LIGNE) : les performances (sur 6) ne varient pas d'un groupe à l'autre $F < 1$, avec CONT=1,28 ; BADO=1,26 et DOBA=0,85.

Pour l'épreuve d'opérations (OPE) : les performances (sur 4) ne varient pas d'un groupe à l'autre $F < 1$, avec CONT=1,92 ; BADO=1,74 et DOBA=1,81.

Pour l'épreuve de sériation numérique (SER) : les performances (sur 5) ne varient pas d'un groupe à l'autre $F < 1$, avec CONT=1,20 ; BADO=1,24 et DOBA=1,48.

Tableau 5 : Moyennes des trois groupes à chaque épreuve à l'état initial

	Âge	DEN	COMP	CONS	LIGNE	OPE	SER
CONT (=37)	61,55	4,13	9,10	1,90	1,28	1,92	1,20
BADO (=29)	62,03	3,79	10,29	2,47	1,26	1,74	1,24
DOBA (=25)	62,49	3,96	10,44	1,88	0,85	1,81	1,48
Significativité F(2,101)	0,26	< 1	≈ 1	3,60 p<.03	< 1	< 1	< 1

En conclusion, seule l'épreuve de conservation fait apparaître une différence de score : le groupe BADO a une performance moyenne (2,47) supérieure à celle des deux autres, CONT (1,90) et DOBA (1,88). Nous en tiendrons compte dans l'analyse des résultats aux entraînements. Seules les performances en conservation varient significativement. Nous pouvons donc estimer relativement homogènes les trois groupes.

2. Comparaisons des performances au test du milieu : échange de jeux

Les enfants ont effectué une autre série d'épreuves lors de l'échange croisé de jeux (aux vacances de la Toussaint) afin de tester l'existence d'une éventuelle différence de performances entre BADO, DOBA et CONT. Les performances ont à nouveau été soumises à des analyses de variance (ANOVAs) pour comparer les scores des trois groupes à chaque épreuve. Le tableau 6 récapitule les moyennes des trois groupes.

Pour chaque épreuve, une comparaison planifiée a été réalisée. Par ce procédé, nous observons si une différence significative apparaît entre les deux groupes entraînés (BADO et DOBA) et le groupe non-entraîné. Cela permet d'opposer plus précisément ces deux groupes au groupe CONT.

Pour DEN : les différences de performances d'un groupe à l'autre ne sont pas significatives, avec CONT=4,08 ; BADO=4,69 et DOBA=5,04. Une tendance se dégage lors de la comparaison planifiée opposant les groupes BADO et DOBA au groupe CONT.

Pour COMP : les performances montrent une tendance. La comparaison planifiée opposant les groupes BADO et DOBA au groupe CONT montre que les groupes qui ont joué ont amélioré leurs résultats : $F(1,88)=4,70$ $p < .05$, avec CONT=10,46 ; BADO=11,86 et DOBA=12,16.

Pour CONS : les performances suivent une tendance ; cependant, la comparaison planifiée opposant les groupes entraînés au groupe CONT n'est pas significative, avec CONT=1,84 ; BADO=2,34 et DOBA=1,92.

Pour LIGNE : les résultats de la comparaison planifiée opposant BADO et DOBA à CONT ne montrent pas qu'un groupe l'emporte sur l'autre, avec $F < 1$, CONT=0,92 ; BADO=0,86 et DOBA=1,40.

Pour OPE : les performances ne varient pas d'un groupe à l'autre avec $F(2,88)=1,51$ ns, avec CONT=2,51 ; BADO=2,07 et DOBA=2,60.

Pour SER : les performances ne varient pas d'un groupe à l'autre pour $F(2,88)=2,10$ ns, avec CONT=1,84 ; BADO=1,59 et DOBA=2,44.

Tableau 6 : Moyennes des trois groupes à chaque épreuve au test du milieu

	DEN	COMP	CONS	LIGNE	OPE	SER
CONT	4,08	10,46	1,84	0,92	2,51	1,84
BADO	4,69	11,86	2,34	0,86	2,07	1,59
DOBA	5,04	12,16	1,92	1,40	2,60	2,44
Significativité F(2,88)	2,88 p<.10 ns	2,38 p=.09 tendanciel	2,39 p=.09 tendanciel	2,19 p=.12 ns	1,51 ns	2,10 p=.13 ns

En conclusion, les performances pour les épreuves de dénombrement, de comparaison et de conservation numérique observent une variation tendancielle. Les performances aux autres épreuves ne varient pas entre les groupes d'enfants. À mi-parcours, les enfants participant aux entraînements obtiennent des résultats tendanciellement supérieurs à ceux des enfants du groupe CONT aux épreuves de comparaison, de conservation numérique et de dénombrement. Ces épreuves visent spécifiquement les domaines mobilisés lors des entraînements ce qui corrobore, en partie, l'hypothèse 2.

3. Comparaisons des performances au post-test immédiat : fin des entraînements

Pour étudier les résultats à la fin des entraînements, une autre série de tests a été proposée en décembre afin de mesurer l'impact des jeux sur les performances des enfants entraînés (BADO et DOBA) par rapport au groupe CONT.

Une nouvelle série d'analyses de variance (ANOVAs) a été effectuée. Si nécessaire, un test de Tukey HSD a été réalisé, qui permet des comparaisons plus précises portant sur des résultats non anticipés. Pour chaque épreuve, une comparaison planifiée a été réalisée afin d'observer s'il existe une différence significative entre les groupes entraînés (BADO et DOBA) et le groupe CONT. Le tableau 7 récapitule les moyennes des trois groupes à ce test.

Pour DEN : les performances ne varient pas d'un groupe à l'autre $F < 1$, avec CONT=4,76 ; BADO=5,17 et DOBA=5,16.

Pour COMP : les performances varient significativement $F(2,88)=4,52$ $p < .02$, avec CONT=10,13 ; BADO=12,69 et DOBA=12,20. La comparaison planifiée montre que les groupes entraînés (BADO et DOBA) ont 2 points de plus que le groupe CONT, avec $F(1,88)=8,64$ $p < .005$.

Pour CONS : les performances varient significativement $F(2,88)=3,06$ $p = .05$, avec CONT=2,00 ; BADO=2,55 et DOBA=2,32. La comparaison planifiée montre que les performances des enfants entraînés (BADO et DOBA) sont supérieures à celles des enfants CONT, $F(1,88)=5,04$ $p < .05$. Il est à noter que le groupe DOBA a augmenté ses performances au point de rejoindre le groupe BADO dont le score a peu évolué. Les groupes BADO et DOBA obtiennent des scores supérieurs au groupe CONT.

Pour LIGNE : les performances ne varient pas significativement d'un groupe à l'autre $F \approx 1$, avec CONT=0,92 ; BADO=1,34 et DOBA=1,16.

Pour OPE : les performances varient significativement $F(2,88)=4,33$ $p<.02$. Les trois groupes ont progressé mais les performances du groupe DOBA (3,16) sont meilleures que celles des deux autres groupes (BADO=2,14 et CONT=2,70) qui ne diffèrent pas entre elles (Tukey HSD).

Pour SER : les performances ne varient pas significativement d'un groupe à l'autre $F\approx 1$, avec CONT=2,00 ; BADO=2,07 et DOBA=2,76.

Tableau 7 : Moyennes des trois groupes à chaque épreuve au post-test immédiat

	DEN	COMP	CONS	LIGNE	OPE	SER
CONT	4,76	10,13	2,00	0,92	2,70	2,00
BADO	5,17	12,69	2,55	1,34	2,14	2,07
DOBA	5,16	12,20	2,32	1,16	3,16	2,76
Significativité F(2,88)	< 1	4,52 $p<.02$	3,06 $p=.05$	≈ 1	4,33 $p<.02$	≈ 1

En résumé, une différence significative est observée sur les épreuves de comparaison et de conservation numérique chez les groupes entraînés (BADO et DOBA) qui ont enregistré une augmentation plus forte de leurs performances que le groupe CONT. Le groupe DOBA progresse d'autant plus à l'épreuve de conservation numérique qu'il rejoint les performances du groupe BADO qui, quant à lui, évolue à moindre mesure. Le groupe DOBA a plus progressé à l'épreuve d'opérations que les deux autres groupes sur cette session de tests. Les résultats ne sont pas significatifs aux épreuves de dénombrement, de ligne numérique et de sériation numérique.

4. Comparaisons des performances au post-test différé : stabilité des performances

Quatre semaines après les vacances de Noël, les groupes d'élèves ont été soumis à nouveau à l'ensemble des tests. Pour chaque épreuve du post-test différé, nous avons analysé les différences de scores entre les groupes. Le tableau 8 récapitule les moyennes des trois groupes.

Pour DEN : les performances sont significativement meilleures chez les élèves entraînés (BADO=5,90 et DOBA=6,20) que chez ceux du groupe CONT (5,03), avec $F(2,88)=3,83$ $p<.05$. La comparaison planifiée opposant les groupes BADO et DOBA au groupe CONT est significative, $F(1,88)=7,4$ $p<.008$.

Pour COMP : les performances sont également tendanciellement supérieures chez les deux groupes entraînés (BADO=13,24 et DOBA=12,84) que chez le groupe CONT

(11,51) ; $F(2,88)=2,95$ $p=.057$. La comparaison planifiée opposant les groupes BADO et DOBA au groupe CONT est significative, $F(1,88)=5,55$ $p<.05$.

Pour CONS : les groupes BADO (2,48) et DOBA (2,24) ont des scores supérieurs à ceux du groupe CONT (1,90) ; $F(2,88)=3,40$ $p<.05$. La comparaison planifiée opposant les groupes BADO et DOBA au groupe CONT est significative ; $F(1,88)=5,64$ $p<.05$.

Pour LIGNE : les performances ne sont meilleures que dans le groupe DOBA (1,76) par comparaison avec les deux autres groupes (BADO=1,07 et CONT=1,08) qui ne diffèrent pas entre eux (Tukey HSD) ; $F(2,88)=3,36$ $p<.05$.

Pour OPE : de manière similaire, cette épreuve est mieux résolue par le groupe DOBA (3,44) que dans les deux autres groupes (BADO=2,59 et CONT=2,57) qui ne diffèrent pas entre eux (Tukey HSD) ; $F(2,88)=7,24$ $p<.002$.

Pour SER : le groupe DOBA (3,36) fait significativement mieux que les deux autres (BADO=2,62 et CONT=2,24) qui ne diffèrent pas entre eux (Tukey HSD) ; $F(2,88)=4,77$ $p<.05$.

Tableau 8 : Moyennes des trois groupes à chaque épreuve au post-test différé

	DEN	COMP	CONS	LIGNE	OPE	SER
CONT	5,03	11,51	1,90	1,08	2,57	2,24
BADO	5,90	13,24	2,48	1,07	2,59	2,62
DOBA	6,20	12,84	2,24	1,76	3,44	3,36
Significativité F(2,88)	3,83 $p<.05$	2,95 $p=.057$	3,40 $p<.05$	3,36 $p<.05$	7,24 $p<.002$	4,77 $p<.05$

En résumé, les groupes pratiquant les jeux de cartes (bataille) et de dominos (BADO et DOBA) réussissent significativement mieux les épreuves de dénombrement et de conservation numérique comme attendu dans l'hypothèse 2. À l'épreuve de comparaison, les performances des groupes entraînés sont tendanciellement supérieures à celles du groupe CONT. Cela nous permet de valider en partie l'hypothèse 2. Le groupe DOBA réussit mieux l'épreuve d'opérations que les deux autres groupes. Pour les épreuves non spécifiques (LIGNE et SER), le groupe DOBA progresse plus que les deux autres groupes. Les progrès de ce groupe semblent plus marqués que ceux du groupe BADO, ce qui tend à répondre à la question 3.

II. Bilan par Épreuves

Nous avons étudié l'évolution des performances épreuve par épreuve, afin d'analyser dans quelle mesure les élèves des trois groupes ont progressé de septembre (pré-test) à février (post-test différé).

Pour cela, nous avons réalisé des séries d'analyses de variance (ANOVAs) avec les Groupes (CONT, BADO et DOBA) comme variable inter-sujets et les Sessions de tests (T1, T2, T3 et T4) comme variable intra-sujets. Avec T1 : pré-test, T2 : test du milieu, T3 : post-test immédiat et T4 : post-test différé.

1. Épreuve de dénombrement

Concernant le dénombrement, seuls l'effet des Sessions et l'interaction entre Sessions et Groupes sont significatifs, respectivement $F(3,264)=31,63$ $p<.0001$ et $F(6,264)=2,81$ $p<.02$. Comme l'illustre la figure 3 ci-dessous, les groupes progressent tous : ils ne diffèrent pas au pré-test mais les performances s'améliorent plus chez les groupes BADO et DOBA que chez le groupe CONT, cela d'autant plus que les tests avancent dans le temps.

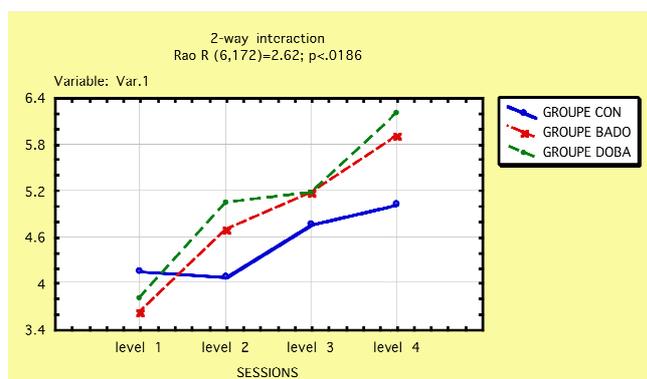


Figure 3 : Évolution des performances en dénombrement de chaque groupe (CONT, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests (abscisse : sessions, ordonnée : moyennes)

2. Épreuve de comparaison

Concernant les comparaisons (chiffres et quantités), les effets des Groupes et des Sessions sont significatifs, mais pas l'interaction entre les deux, avec respectivement $F(2,88)=3,29$ $p<.05$ et $F(3,264)=30,77$ $p<.0001$.

Les groupes entraînés (BADO=12 et DOBA=11,82) font mieux que le groupe CONT (10,22). Tous progressent du pré-test (9,69) aux tests suivants (T2=11,49, T3=11,67

et $T4=12,53$). Les progressions sont parallèles. Les différences initiales au pré-test (non significatives $F(2,101)=1,14$) se maintiennent tout au long des Sessions.

Dans ce cas de figure, l'entraînement aux jeux ne semble pas induire davantage d'amélioration des performances pour les comparaisons que les activités usuelles conduites en classe contrôlée. La figure 4 retrace l'évolution de ces performances.

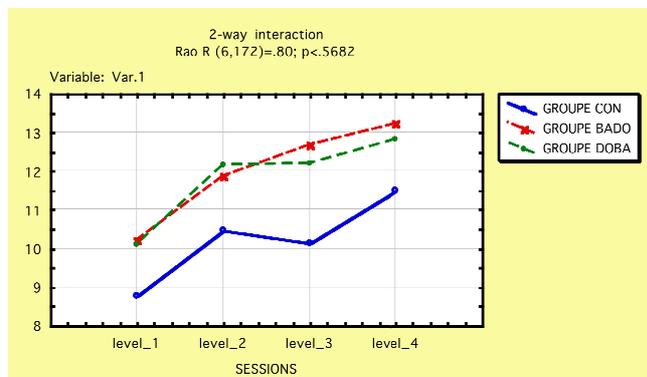


Figure 4 : Évolution des performances en comparaison de chaque groupe (CON, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests

3. Épreuve de conservation numérique

Les performances à l'épreuve de conservation numérique diffèrent significativement entre les groupes (CON=1,88 ; BADO=2,34 ; DOBA=2,05), $F(2,88)=3,13$ $p<.05$, et s'améliorent en fonction des Sessions de tests : de 1,83 au pré-test à 2,03 (T2) puis 2,29 (T3) et enfin 2,20 (T4). L'absence d'interaction entre Sessions et Groupes ($F=1,07$) suggère que l'amélioration des scores vaut pour les trois groupes.

La figure 5 illustre le fait que les différences initiales au pré-test (BADO étant significativement supérieur à CON et DOBA avec $p<.05$) se maintiennent au fil des Sessions.

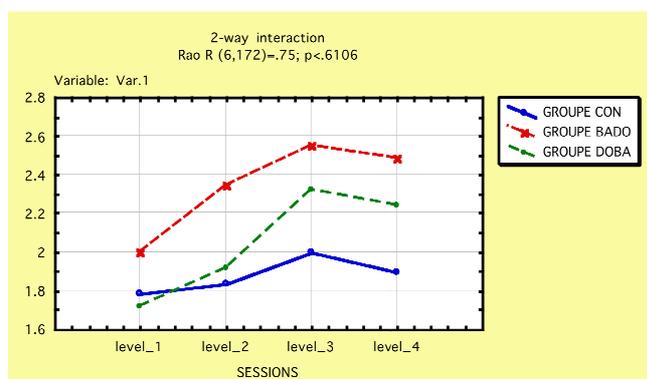


Figure 5 : Évolution des performances en conservation de chaque groupe (CON, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests

4. Épreuve de ligne numérique

Les scores relevés à l'épreuve de ligne numérique font apparaître une évolution complexe, sans tendance dominante et difficile à interpréter. Nous en fournissons les résultats mais nous renonçons à en tenter l'interprétation. De fait, ni l'effet du Groupe ni celui des Sessions ne sont significatifs (respectivement $F < 1$ et $F = 1,12$). Seule l'interaction est significative, $F(2,264) = 3,01$ $p < .01$ mais, comme l'illustre la figure 6 ci-dessous, les variations sont complexes.

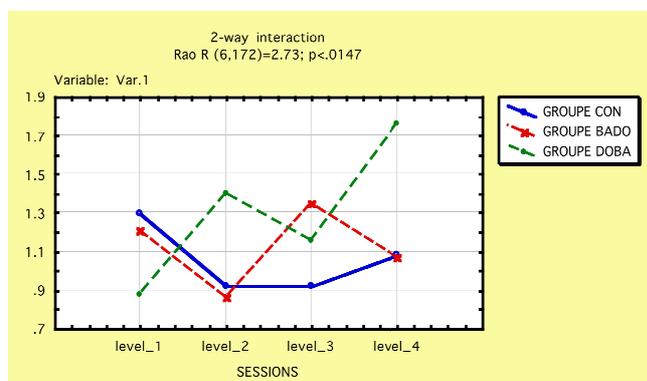


Figure 6 : Évolution des performances en ligne numérique de chaque groupe (CONT, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests

5. Épreuve d'opérations

Les performances aux opérations varient en fonction des Groupes (CONT=2,43 ; BADO=2,12 ; DOBA=2,74) et des Sessions (T1=1,79 ; T2=2,39 ; T3=2,67 et T4=2,86), avec respectivement $F(2,88) = 3,02$ $p = .054$ (marginale) et $F(3,264) = 23,77$ $p < .0001$. L'interaction entre Groupes et Sessions est également significative $F(6,264) = 2,59$ $p < .02$. La figure 7 illustre les évolutions : les performances du groupe CONT progressent de T1 à T2 puis restent approximativement stables en T2, T3 et T4. Celles des deux groupes entraînés, initialement non différentes ($F < 1$), s'améliorent mais les progrès sont plus marqués avec DOBA qu'avec BADO sans que les raisons de cette différence puissent être déterminées.

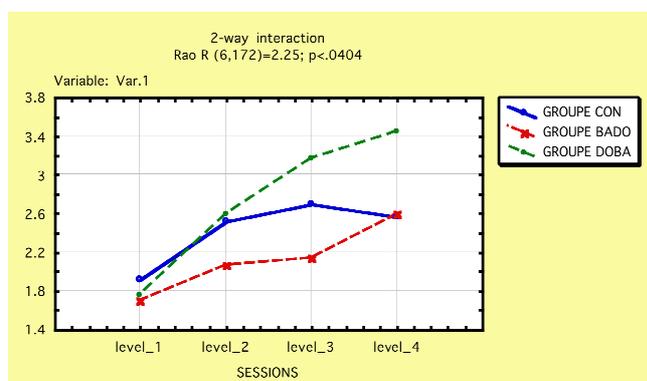


Figure 7 : Évolution des performances en opérations de chaque groupe (CONT, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests

6. Épreuve de sériation numérique

Les performances à cette épreuve varient marginalement en fonction des Groupes (CONT=1,78 ; BADO=1,84 ; DOBA=2,51), avec $F(2,88)=2,79$ $p=0,067$. Elles s'améliorent en fonction des Sessions de tests, de 1,19 (T1) à 1,95 (T2) puis 2,28 (T3) et enfin 2,74 (T4), avec $F(3,264)=36,63$ $p<.0001$.

L'interaction entre les Groupes et les Sessions n'est pas significative ($F<1$), ce qui suggère que la progression est de même intensité pour les trois groupes. Effectivement, les différences au pré-test subsistent au cours des Sessions, comme l'illustre la figure 8.

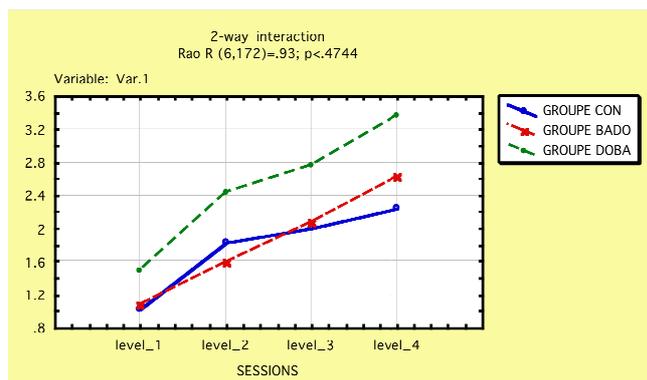


Figure 8 : Évolution des performances en sériation numérique de chaque groupe (CON, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests

III. Analyse des progressions

Nous avons étudié les progressions des enfants en soustrayant leur score initial obtenu à chaque épreuve du pré-test aux scores des autres périodes de tests (soit donc T2-T1 puis T3-T1 et T4-T1). Ces traitements ont l'avantage de réduire le nombre de variables à analyser et, surtout, de contrôler l'effet du score initial sur les performances ultérieures.

Nous avons soumis ces nouvelles variables à des analyses de variances à deux facteurs : l'un Groupe, inter-sujets à trois modalités, et l'autre Progrès, intra-sujets à trois modalités.

1. Progression dans l'épreuve de dénombrement

Les progrès en dénombrement font apparaître un effet des Groupes (CONT=0,46 ; BADO=1,63 ; DOBA=1,67), les deux groupes entraînés ayant des scores proches et faisant significativement mieux que le groupe CONT, avec $F(2,88)=6,22$ $p<.003$. L'effet des Sessions est également significatif, $F(2,176)=17,37$ $p<.0001$, les progrès croissant de T2-T1 (0,74) à T3-T1 (1,69) puis T4-T1 (1,85).

L'absence d'interaction (voir la figure 9 ci-dessous) suggère que les progrès surviennent même en relation avec les activités usuelles des élèves dans les classes. Les jeux proposés ne semblent pas induire d'effet spécifique une fois passée la première phase de jeu (entre le pré-test et T2).

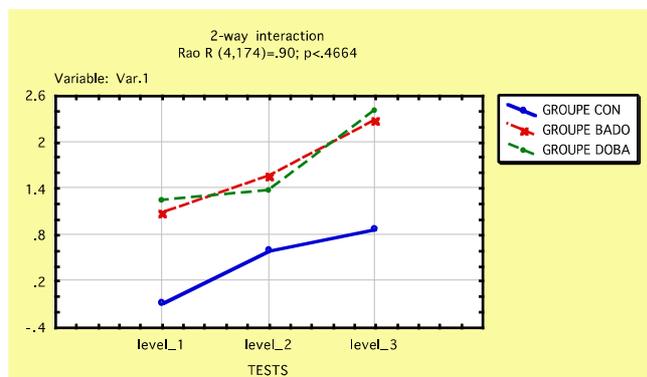


Figure 9 : Progression des performances en dénombrement de chaque groupe (CONT, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests moins le test initial (abscisse : sessions, ordonnée : moyennes)

2. Progression dans l'épreuve de comparaison

Pour ce qui concerne les comparaisons, seul l'effet des Sessions est significatif, avec $F(2,176)=9,37$ $p<.0002$. Les progrès s'effectuent de T2-T1 (1,80) à T3-T1 (1,98) puis restent stables à T4-T1 (2,84). L'absence d'effet des Groupes et d'interaction entre Groupes et Sessions suggère que les évolutions des progrès suivent les mêmes trajectoires une fois passée la première phase d'entraînement, sans que la pratique des jeux n'ait davantage d'influence spécifique (voir figure 10).

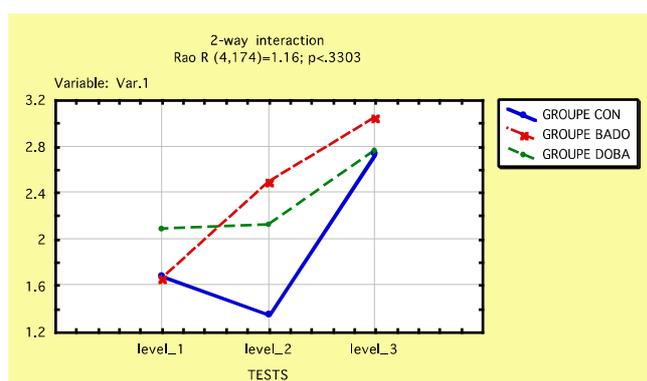


Figure 10 : Progression des performances en comparaison de chaque groupe (CON, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests moins le test initial

3. Progression dans l'épreuve de conservation numérique

Les progrès à l'épreuve de conservation numérique ne dépendent eux aussi que des Sessions : ils s'effectuent de T2-T1 (0,2) à T3-T1 (0,46) puis restent stables en T4-T1 (0,37), avec $F(2,176)=6,77$ $p<.002$. Une fois passée la phase initiale (du pré-test à T2), les performances des deux groupes entraînés sont descriptivement supérieures à celles du groupe CONT dont les variations semblent faibles. Les progressions sont illustrées par la figure 11.

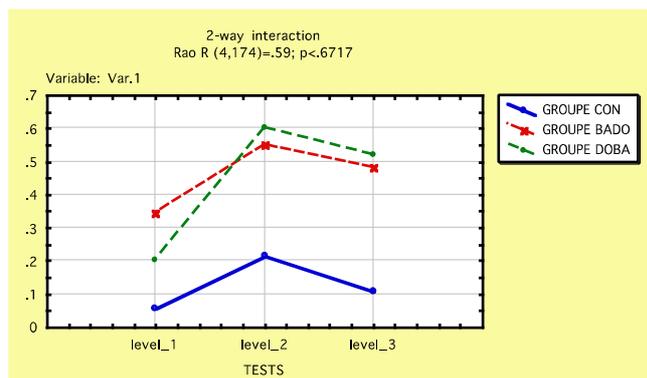


Figure 11 : Progression des performances en conservation de chaque groupe (CONT, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests moins le test initial

4. Progression dans l'épreuve de ligne numérique

Relativement à l'épreuve de ligne numérique, seuls les Groupes diffèrent. La progression de DOBA (0,56) est significativement supérieure à celle de CONT (0,32) et de BADO (0,11), avec $F(2,88)=5$ $p<.01$. Aucun autre effet n'est significatif.

5. Progression dans l'épreuve d'opérations

Les progressions aux opérations suivent des trajectoires différentes. L'effet des Groupes approche de la significativité, $F(2,88)=2,88$ $p=.06$: la progression est plus importante pour DOBA (1,31) que pour BADO (0,57) et CONT (0,67), qui ne diffèrent pas entre eux. Les progressions sont plus fortes au fil des Sessions, de 0,60 en T2-T1 à 0,88 en T3-T1 et 1,07 en T4-T1, avec $F(2,176)=7,32$ $p<.001$.

Toutefois, c'est surtout la progression de DOBA qui explique l'effet des Sessions, comme l'indique l'interaction entre Groupes et Sessions, avec $F(4,176)=2,36$ $p<.056$. De fait, ce groupe poursuit sa progression au fil des tests, contrairement aux autres groupes qui restent relativement stables (voir figure 12).

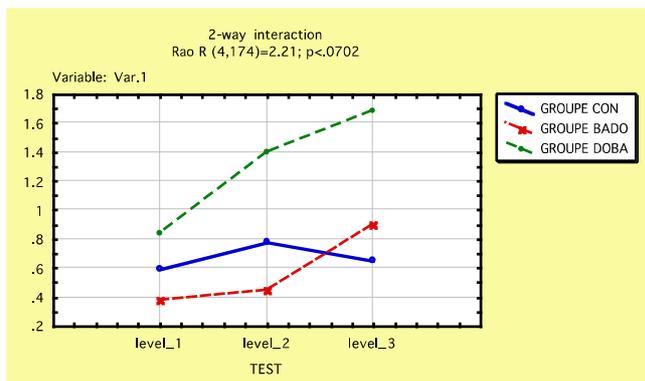


Figure 12 : Progression des performances en opérations de chaque groupe (CONT, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests moins le test initial

6. Progression dans l'épreuve de sériation numérique

Concernant les sériations, seul l'effet des Sessions est significatif, avec $F(2,176)=15,08$ $p<.0001$: de 0,76 en T2-T1 à 1,08 en T3-T1 et enfin 1,55 en T4-T1. Ni les Groupes, ni l'interaction ne sont significatifs.

Là encore, une fois passée la phase initiale d'amélioration des performances associée à la pratique des jeux, les performances progressent de manière équivalente dans les trois groupes (voir figure ci-dessous).

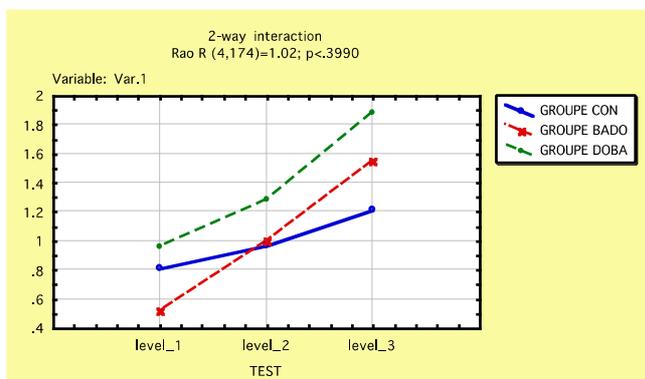


Figure 13 : Progression des performances en sériation de chaque groupe (CONT, DOBA et BADO) en fonction de chaque session de tests moins le test initial

IV. Synthèse

L'analyse des résultats montre que les trois groupes augmentent leurs performances aux épreuves de comparaison, de conservation numérique et de sériation numérique. Les groupes DOBA et BADO obtiennent des résultats significativement meilleurs que le groupe CONT aux épreuves de dénombrement et d'opérations. Les jeux semblent avoir eu un effet lors de phase initiale (du pré-test à T2) sur la progression des performances en dénombrement, comparaison et sériation numérique. Cet effet ne perdure pas au fil des sessions. Chacun des groupes a progressé, cependant les groupes entraînés (BADO et DOBA) ne se démarquent pas du groupe CONT. L'hypothèse 1 n'est pas validée car les groupes entraînés n'ont pas augmenté leurs performances de manière significative par rapport au groupe CONT.

Les groupes pratiquant les jeux de cartes (bataille) et de dominos (BADO et DOBA) réussissent significativement mieux les épreuves de dénombrement et de conservation numérique que le groupe CONT au cours des séries de tests. Cependant, la différence de performances à l'épreuve de comparaison n'est que tendanciellement supérieure. L'hypothèse 2 n'est donc que partiellement validée. Pour l'épreuve de conservation numérique, les groupes entraînés ont progressé au fil des périodes de tests contrairement au groupe CONT qui n'a pas enregistré la même évolution.

Le groupe DOBA a la marge de progression la plus forte à l'épreuve d'opérations, ce qui ne concorde pas avec l'hypothèse 2. Le groupe DOBA obtient de meilleurs résultats que les deux autres groupes (BADO et CONT) aux épreuves d'opérations, de ligne numérique et de sériation numérique à T4. En analysant l'ensemble des progressions des enfants entraînés, nous avons remarqué que huit enfants du groupe BADO étaient en évolution négative entre T1 et T2. Leur manque de progression semble se concentrer sur les trois épreuves précédemment citées.

À l'issue du protocole d'entraînement et des sessions de tests, il semblerait que les performances du groupe DOBA à l'ensemble des épreuves progressent plus que celles du groupe BADO. Les deux protocoles d'entraînement ne paraissent donc pas équivalents en ce qui concerne l'amélioration des performances. Comme soulevé dans la question 3, le protocole d'entraînement du groupe DOBA aurait tendance à être plus efficace que celui proposé au groupe BADO.

CHAPITRE 5. DISCUSSION

Notre étude visait l'amélioration des compétences arithmétiques des enfants ayant participé à des jeux de bataille et de dominos. Nous attendions des progrès significatifs dans les groupes entraînés (BADO et DOBA) par rapport au groupe contrôle, spécialement en dénombrement, en conservation numérique et en comparaison. Les entraînements aux jeux devaient notamment permettre une amélioration de la capacité à dissocier le nombre d'éléments d'une collection de la surface occupée par cette collection.

I. Les conséquences de l'entraînement aux jeux sur les capacités arithmétiques des enfants

1. Les compétences arithmétiques mobilisées par les jeux

Nous avons conçu un protocole dans le but d'améliorer les capacités arithmétiques précédemment citées. Notre entraînement intégrait le jeu de bataille et le jeu de dominos. Il devait aider les enfants à prendre conscience des leurs perceptifs entraînés par la mise en relation de la surface, de la densité, de la longueur et du nombre au sein d'une collection d'éléments.

Les jeux de bataille proposés aux élèves de GSM comprenaient trois configurations de points à faire varier chaque semaine dans 3 conditions : congruente, non-congruente, neutre. Ces différents jeux incitaient implicitement les enfants à compter puis à comparer.

Chaque enfant devait utiliser le dénombrement pour déterminer qui avait la plus grande quantité. Grâce à ces jeux, nous voulions que les enfants utilisent de manière rapide et spontanée les stratégies de dénombrement.

Les jeux de dominos permettaient d'améliorer la capacité des enfants à comprendre et à se représenter des grandeurs numériques. Ce type de jeu développerait leur capacité à connecter un nombre symbolique à la grandeur qu'il représente (Brankaer, 2015)^[3]. Les enfants devaient comparer et dénombrer les points sur les tuiles puis les apparier aux numéraux indo-arabes qui leur correspondaient.

Pour déterminer un éventuel impact de l'entraînement sur les capacités arithmétiques des enfants, nous avons comparé les résultats des trois groupes (CONT, BADO et DOBA). Les groupes entraînés ont plus progressé que le groupe CONT entre T1 et T2 mais cet effet ne s'est pas maintenu, hormis en conservation numérique. Les performances des enfants des groupes BADO et DOBA restent meilleures que celles du

groupe CONT aux épreuves de dénombrement, de conservation numérique et de comparaison (à moindre mesure), même si les trois groupes ont progressé à ces épreuves. Nous constatons donc que les entraînements aux jeux de bataille et de dominos ont permis des progrès en conservation numérique plus importants que ceux obtenus avec l'enseignement scolaire classique. Ce phénomène ne se généralise pas aux autres épreuves.

En comparant les deux groupes entraînés, nous nous sommes aperçues que les performances du groupe DOBA semblaient meilleures que celles du groupe BADO à l'ensemble des épreuves (sauf pour la conservation numérique) à T4. Ce constat pourrait être dû à deux phénomènes. D'une part, huit enfants du groupe BADO semblaient particulièrement en difficulté sur les épreuves de ligne numérique, d'opérations et de sériation numérique à T2. Nous analyserons ce phénomène plus loin dans le chapitre. D'autre part, nous pourrions soupçonner que l'ordre des entraînements au jeu de dominos puis au jeu de bataille aurait un impact plus important sur les performances aux épreuves des tests.

2. Amélioration dans les épreuves spécifiques

a. L'épreuve de dénombrement

Nous nous attendions à une amélioration des performances en dénombrement car les deux jeux mobilisent cette capacité.

Dans le jeu de bataille comme dans le jeu de dominos, les enfants devaient compter le nombre de points dessinés sur leur carte ou leur tuile. Pour les jeux de dominos, les enfants devaient également appairier la quantité représentée sur la tuile au numéral indo-arabe correspondant.

Comme présenté dans le chapitre précédent, les performances à cette épreuve s'améliorent plus chez les groupes BADO et DOBA que chez le groupe CONT, cela d'autant plus que les tests avancent dans le temps. L'analyse des progressions dans cette épreuve montre que tous les enfants ont progressé. La différence de progression entre les groupes entraînés et le groupe CONT n'est toutefois pas significative. Cela suggère que les progrès surviennent même en relation avec les activités usuelles des élèves dans les classes. En effet, le dénombrement est aussi utilisé à l'école dans les activités scolaires car le programme scolaire stipule que les enfants en fin de GSM doivent « *dénombrer une quantité en utilisant la suite orale des nombres connus* ». Cela permet d'expliquer pourquoi des progrès en dénombrement sont relevés dans les trois groupes.

b. L'épreuve de comparaison

Nous nous attendions à une amélioration des performances en comparaison. En effet, au même titre que le dénombrement, ce processus intervient aussi dans la pratique des jeux.

Les enfants devaient comparer des quantités pour désigner celui qui a le plus de points dans le jeu de bataille et celui qui a le nombre de points correspondant au numéral indo-arabe indiqué sur la tuile dans le jeu de dominos.

Les enfants BADO et DOBA font mieux que les enfants du groupe CONT, surtout lors de la phase initiale de l'entraînement. Cependant, les trois groupes progressent. L'entraînement aux jeux ne semble pas avoir un impact significatif sur les progressions des enfants entraînés à l'épreuve de comparaison par rapport au programme scolaire habituel suivi par les élèves du groupe CONT. En effet, celui-ci stipule que l'enfant doit savoir en fin de GSM : « *comparer des collections d'objets avec des procédures numériques et non numériques* ».

c. L'épreuve de conservation numérique

Nous nous attendions à une amélioration dans l'épreuve de conservation numérique, processus également utilisé dans les jeux.

Nous avons intégré, dans le jeu de bataille et le jeu de dominos, différentes conditions et constellations de points. En effet, le jeu de bataille variait dans trois configurations : congruente, neutre et non-congruente. Le jeu de dominos comprenait trois conditions : constellation en dé, ligne de points et disposition aléatoire. Ces différentes présentations de points devaient amener les enfants à comprendre que le cardinal ne changeait pas même en modifiant la disposition spatiale et la taille des points sur les cartes.

L'amélioration des performances vaut pour les trois groupes mais l'analyse des progressions montre que les performances des groupes entraînés sont significativement supérieures à celles du groupe CONT. En ce qui concerne la conservation numérique, nous pouvons considérer que l'entraînement aux jeux de bataille et de dominos a été plus efficace que les activités usuelles du programme scolaire suivies par le groupe CONT. Ainsi, un entraînement par le jeu induisant les enfants à dissocier le nombre d'éléments d'une collection de l'espace occupée par cette même collection améliore les performances des enfants entraînés à l'épreuve de conservation numérique.

3. Impact de l'entraînement aux épreuves non spécifiques

a. L'épreuve d'opérations

Nous nous attendions à une amélioration des capacités opératoires par effet de généralisation des performances grâce aux entraînements.

La progression du groupe DOBA était plus importante que les progressions des groupes BADO et CONT, qui quant à elles étaient équivalentes. Pour rappel, il est attendu des enfants à la fin de l'école maternelle de « *dire combien il faut ajouter ou enlever pour obtenir des quantités ne dépassant pas dix* ».

L'écart significatif entre la progression du groupe DOBA et celle des groupes BADO et CONT sous-tendrait que l'entraînement DOBA serait plus efficace que les activités scolaires usuelles ou que l'entraînement BADO pour l'épreuve d'opérations.

b. L'épreuve de ligne numérique

Nous pouvions nous attendre à un effet de généralisation de l'entraînement et donc à une amélioration des performances en ligne numérique. Pourtant, comme souligné dans l'hypothèse 2, l'entraînement n'a pas eu d'effet sur les performances des enfants entraînés à cette épreuve.

c. L'épreuve de sériation numérique

Il n'y a pas eu d'amélioration des performances des enfants entraînés à l'épreuve de sériation numérique. Une fois passée la phase initiale d'amélioration des performances liée à la pratique des jeux, les performances progressent de manière équivalente pour le groupe CONT et le groupe BADO tandis que DOBA enregistre une meilleure progression que ces deux derniers. L'entraînement DOBA proposé aux enfants semblerait plus efficace que l'enseignement scolaire habituel ou que l'entraînement BADO en ce qui concerne les capacités de sériation numérique.

4. Interrogation sur la différence de progression entre DOBA et BADO à T4

Comme vu précédemment, nous nous sommes interrogées sur la différence de progression entre DOBA et BADO à T4.

Nous avons remarqué que huit enfants du groupe BADO étaient « en négatif » dans la progression des tests entre T1 et T2. Nous les avons comparés à huit autres enfants du

même groupe ayant les mêmes scores initiaux mais progressant entre T1 et T2 (cf tableau 10 annexe J).

Nous nous demandions pourquoi le groupe DOBA faisait mieux que le groupe BADO sur les épreuves de ligne numérique, d'opérations et de sériation numérique. Nous nous sommes aperçues que huit enfants du groupe BADO étaient en évolution négative à T2 par rapport à leurs camarades du même groupe. Ces huit enfants ont eu des difficultés à rattraper leur retard au regard des enfants du même groupe ayant eu quasiment les mêmes scores initiaux mais progressant de T1 à T2.

De manière générale, les huit enfants en évolution négative à T2 n'ont pas ou peu progressé sur les épreuves de ligne numérique, d'opérations et de sériation numérique de T2 à T4. Il semblerait que ces enfants aient moins bénéficié de l'effet de l'entraînement sur ces épreuves non spécifiques que les autres enfants de leur groupe, qui obtiennent de meilleures progressions au fil des sessions de tests. Cela pourrait en partie expliquer pourquoi le groupe DOBA fait mieux à ces épreuves que le groupe BADO. Il apparaît que la plupart des enfants recensés dans le tableau 11 ont peu ou pas progressé dans l'épreuve de conservation numérique contrairement aux autres enfants qui ont participé à l'entraînement. L'entraînement semble avoir eu peu voire pas d'effet sur la progression de ces enfants à l'épreuve de conservation numérique.

Tableau 11 : Comparaison des évolutions positives (+), négatives (-) ou pas de progression (=) à chaque test (en gras, les huit enfants en évolution négative)

	DENOM			COMP			CONS			LIGNE			OPE			SER		
	T2	T3	T4	T2	T3	T4	T2	T3	T4	T2	T3	T4	T2	T3	T4	T2	T3	T4
Zia	+	+	+	+	+	+	=	=	=	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Enzo	+	=	+	+	+	+	=	=	=	-	-	-	+	=	+	+	+	+
Morgann	-	-	+	-	+	+	=	=	=	+	=	=	+	=	=	-	-	-
Nathan	+	+	+	+	-	-	=	=	=	=	=	=	+	+	+	=	=	=
Perrine	-	-	+	+	+	+	=	=	=	+	+	+	-	-	-	=	+	+
Mathias	+	+	+	=	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	=	+	+	+
Alwena	+	+	+	-	-	=	=	+	=	=	+	=	+	+	+	-	-	-
Mattéo	=	+	-	+	+	+	-	-	-	-	=	-	+	+	+	+	+	+
Lucie	+	+	+	-	=	-	-	=	=	-	-	-	+	+	+	=	=	=
Elise	+	+	=	=	-	-	=	=	=	=	=	-	+	+	+	+	+	+
Maëna	+	+	+	-	+	+	-	=	+	=	=	=	-	-	+	-	+	+
Louka	+	+	+	=	+	+	=	=	-	=	=	=	+	+	+	-	-	-
Naomie	+	+	+	=	+	+	=	=	=	-	+	-	-	=	+	=	=	=
Kylian	+	+	+	+	+	+	=	=	=	=	-	-	=	+	+	=	+	+
Raphaël	-	+	-	+	+	+	=	=	=	=	+	+	=	+	=	-	=	=
Léo	+	=	=	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Cette observation des seize enfants a permis de dégager certains profils que nous analyserons plus particulièrement par la suite.

II. Analyse des profils

Nous avons constaté que certains enfants ne progressaient pas tous de la même manière (tableau 12). Nous étudierons plus en détail ces cas en essayant de proposer une interprétation des raisons de cette faible progression. Nous tenterons de suggérer par la suite des modalités d'intervention si nous le pouvons. L'analyse de ces profils nous aidera aussi par la suite à critiquer notre travail en vue de l'améliorer.

Tableau 12 : Moyenne et score de progression des cinq enfants pour chaque test (en gras, les évolutions négatives ou nulles)

	DENOM			COMP			CONS			LIGNE			OPE			SER		
	T2	T3	T4															
Morgann (BADO)	-1	-3	2	-2	1	3	0	0	0	1	0	0	1	0	0	-1	-1	-1
Moyenne	-0,67			0,67			0			0,33			0,33			-1,00		
Erwan (DOBA)	1	1	0	-1	0	-3	1	0	0	0	0	-1	0	1	1	0	1	1
Moyenne	0,67			-1,33			0,33			-0,33			0,33			0,67		
Raphaël (BADO)	-3	1	-1	3	3	2	0	0	-1	0	1	2	0	1	0	-1	0	0
Moyenne	-1,00			2,67			-0,33			1,00			0,33			-0,33		
Alwena (BADO)	2	3	3	-3	-2	0	0	1	0	0	2	0	2	2	1	-2	-2	-1
Moyenne	2,67			-1,67			0,33			0,67			1,67			-1,67		
Perrine (BADO)	-2	-1	3	2	2	2	0	0	0	1	4	1	-3	-3	-1	0	2	1
Moyenne	0			2,00			0			2,00			-2,33			1,00		

1. Analyse des profils et possible interprétation

Nous avons décidé de comparer cinq enfants ayant les moins bonnes progressions suite aux sessions de tests (cf tableau 13 annexe K).

Morgann (BADO) âgé de 4 ans et 8 mois lors du pré-test, moyenne générale de progression aux sessions de tests : -0,06.

Lors de la passation des épreuves, il était le plus jeune du groupe. Le manque de maturité de Morgann que nous constatons et relayé par la maîtresse pourrait expliquer en partie ce défaut de progression.

Il ne suit pas la progression de l'ensemble des enfants, notamment en dénombrement et conservation numérique. En effet, il ne progresse ni en dénombrement, ni en conservation numérique, ni en sériation numérique.

De manière générale, le profil de progression de Morgann est négatif (-0,06). En le comparant aux moyennes des groupes entraînés (BADO et DOBA) (cf tableau 14 annexe L), Morgann obtient des résultats en dessous des moyennes pour chaque épreuve.

Erwan (DOBA) âgé de 5 ans et 1 mois lors du pré-test, moyenne générale de progression aux sessions de tests : 0,06.

Erwan a toujours été en retrait dans les jeux proposés. Il était souvent aidé par un adulte lors des entraînements. Du fait de ses difficultés en mathématiques (par exemple, la comptine numérique n'était connue que jusqu'à 3 au pré-test, à la fin de l'entraînement il la connaissait jusqu'à 10 mais avait besoin de l'amorce d'un tiers), l'instituteur lui proposait des séances de soutien. Comme Morgann, il est en dessous de la moyenne générale des groupes entraînés pour chaque épreuve. Nous remarquons que sa moins bonne progression se situe lors du dernier test (T4). Erwan progresse de T1 à T3 (0,17 à 0,33) mais il chute en T4 (-0,33). C'est notamment l'épreuve de comparaison qui le met en difficulté car nous observons une baisse de 3 points entre T4 et T1.

De manière générale, Erwan ne progresse pas ou très peu par rapport aux autres enfants ayant suivi un entraînement. Au vu de son profil de progression, nous supposons qu'Erwan a des difficultés à consolider ses apprentissages car ses progrès ne se sont pas maintenus dans le temps.

Raphaël (BADO) âgé de 5 ans et 10 mois lors du pré-test, moyenne générale de progression aux sessions de test : 0,39.

Raphaël est un petit garçon très discret. Lors des passations de tests, il manquait beaucoup d'attention et il avait constamment besoin de la présence de l'adulte pour pouvoir se concentrer sur une tâche. Il pouvait prendre quatre fois plus de temps que ses camarades pour réaliser la même tâche. L'institutrice faisait le même constat sur le comportement de Raphaël en classe.

A l'instar d'Erwan, Raphaël ne progresse pas ou très peu par rapport à ses camarades dans chacune des épreuves. De manière générale, ses résultats sont moins bons que ceux des enfants entraînés dans quasiment toutes les épreuves, sauf l'épreuve de dénombrement. En effet, même si sa progression est faible en dénombrement, il est au-dessus de la moyenne générale. Il progresse marginalement à l'épreuve de ligne numérique, même si sa moyenne reste en dessous de celle de ses camarades.

Nous observons dans le profil de Raphaël de meilleurs résultats à T3 dans quasiment chaque épreuve puis ses résultats régressent en T4. En effet, pour l'épreuve de dénombrement il passe de +1 à T3 à -1 en T4 ; pour l'épreuve de comparaison, il passe de +3 à T3 à +2 à T4 ; pour la comparaison, son résultat qui est stable jusqu'à T3 devient inférieur au score initial et pour l'épreuve d'opérations, il passe de +1 point en T3 pour revenir à son score initial en T4. Raphaël profite en partie de l'effet des entraînements lors de la passation du test T3 mais, lorsqu'il est testé à distance des entraînements, il ne maintient pas ses performances.

Alwena (BADO) âgée de 4 ans et 10 mois lors du pré-test, moyenne générale de progression aux sessions de tests : 0,33.

Alwena est une petite fille très réservée qui pouvait se montrer anxieuse lors des sessions de tests et ne sollicitait pas l'adulte quand elle n'avait pas compris la consigne. Des cinq profils d'enfants, Alwena est celle qui a le plus de moyennes supérieures aux moyennes des enfants entraînés. Ses performances sont négatives de T2 à T3 pour l'épreuve de comparaison pour revenir à son score initial à T4 (9/15). Ses résultats sont en dessous de la moyenne générale dans l'épreuve de sériation numérique et de comparaison.

Elle progresse surtout en dénombrement en passant de 4/8 à T1 à 7/8 à T4. En T3, Alwena progresse quasiment à chaque épreuve. Cependant, elle revient à son score initial pour ces mêmes épreuves à T4. Il apparaît que l'entraînement au jeu a eu un effet immédiat sur ses performances mais qu'il n'y a pas eu de continuité dans ses progrès à distance de l'arrêt des jeux.

Perrine (BADO) âgée de 4 ans et 11 mois lors du pré-test, moyenne générale de progression aux sessions de tests : 0,44.

Perrine est une petite fille qui se laisse facilement distraire, surtout lors des sessions de tests en groupes. Cette enfant a un profil de progression en dents de scie. En effet, dans l'épreuve de dénombrement, elle passe de 2/8 en T1 à 0/8 en T2, puis 1/8 en T3 pour finir à 5/8 en T4. Il en va de même pour l'épreuve de ligne numérique où elle commence à 0/4 en T1, puis fait 1/4 en T2 pour arriver à 4/4 en T3 et finir à 1/4 en T4.

Malgré ses irrégularités de performances, Perrine fait mieux que la moyenne des enfants entraînés dans les épreuves de comparaison, de ligne numérique et de sériation numérique. Elle ne suit pas la progression générale des autres enfants. Elle obtient une moyenne en dessous de celles de ses camarades dans les épreuves de dénombrement, de conservation numérique (épreuves spécifiquement travaillées lors des entraînements) et d'opérations.

À la suite de l'analyse des cinq profils, la plupart des difficultés décrites semblent liées à un défaut de consolidation en mémoire à long terme des concepts travaillés lors de l'entraînement. Cette constatation conduit à suggérer qu'un prolongement des jeux pourrait améliorer les performances aux tâches arithmétiques.

2. Suggestions de modalités d'intervention

En tenant compte des effets des entraînements sur les performances des groupes, des analyses des profils mais aussi de notre sens clinique et de nos échanges avec les différents enseignants, nous avons essayé de développer quelques points pour enrichir les entraînements :

- Être en petits groupes pour les entraînements (pas plus de trois enfants) avec un adulte. L'adulte joue un rôle de soutien et peut, par la même occasion, s'apercevoir de difficultés arithmétiques chez les enfants. Cette configuration de groupe permet aussi de maintenir l'attention des enfants ou de motiver ceux qui commencent à se lasser.
- Proposer une période de jeux plus longue afin de consolider les concepts vus lors de l'entraînement.
- Proposer des activités de manipulation d'objets afin de mobiliser davantage le processus de conservation : classer ou ranger des objets puis les faire varier spatialement afin de montrer à l'enfant que le nombre d'items reste le même.
- Amener l'enfant à être acteur de son apprentissage et favoriser son autonomie dans les jeux pour le motiver durant la phase d'entraînement et lui donner confiance en lui.
- Varier les modalités d'encodage pour permettre à l'enfant d'intégrer l'information correctement en mémoire et de pouvoir la récupérer facilement. Nous tentions déjà de le proposer avec les jeux de bataille et de dominos. Il s'agirait de davantage faire varier les configurations de jeux.
- Varier les supports d'enseignement en favorisant l'apprentissage par le jeu (comme indiqué dans le programme d'enseignement de l'école maternelle) : jeu de cartes, jeu de plateau... Le jeu de plateau peut aussi être utilisé pour préparer à l'estimation linéaire (Gendre et coll, 2012)^[34].
- Proposer des petites activités arithmétiques pour notamment préparer :
 - aux opérations : utiliser les représentations digitales pour faire des opérations « combien de doigts à enlever ou rajouter pour faire N ? » comme souligné dans le mémoire de Fruitière et coll. (2015)^[29]. Utiliser des petits problèmes en situation réelle pour intéresser l'enfant.

- au dénombrement : compter le nombre de points sur un dé et avancer en fonction sur un jeu de plateau linéaire.

- aux comparaisons : en faisant varier les tailles ou les couleurs de points, trouver là où il y en a le plus. Par exemple, regarder celui qui a le plus de doigts levés entre plusieurs enfants.

III. Biais

1. La population

Au début de l'étude, l'ensemble de la population comprenait 109 élèves. L'étude se déroulant sur 5 mois, elle ne comprenait plus que 91 enfants au post-test différé soit une différence de 16,5% par rapport à l'échantillon initial. Le groupe CONT est passé de 40 enfants à 37 soit 7,5% de pertes. Le groupe DOBA est passé de 29 élèves à 25 soit 13,8% de pertes. Le groupe BADO perd 27,5% de son effectif de départ en passant de 40 enfants à 29. Il serait intéressant de reproduire cette étude à partir d'une population plus nombreuse.

2. Les tests

Les tests utilisés pour évaluer les compétences des enfants sont inspirés des épreuves créées par Gendre et coll. (2012)^[34] et Fruitière et coll. (2015)^[29]. Nous avons également créé une épreuve de sériation numérique inspirée de la batterie de tests TEDI-MATH. Il existe des biais potentiels concernant les passations et les épreuves.

a. Les passations

Pour les épreuves de dénombrement, de comparaison, de ligne numérique et d'opérations, les passations des épreuves se faisaient par groupes de quatre à cinq élèves ce qui induisait des limites. Nous devions canaliser les élèves perturbateurs, remobiliser les élèves en baisse d'attention ou de motivation et nous assurer que chaque enfant ait compris la consigne. Il fallait rester vigilantes aux tentatives de copie malgré les dispositions mises en place (organisation de la salle de passation, installation de livres entre les élèves). Les enfants n'allaient pas tous au même rythme durant les passations, ce qui pouvait majorer les effets précédents. Nous ne pouvions pas procéder à des passations individuelles qui auraient été chronophages et auraient entraîné un délai trop important entre le premier et le

dernier enfant testé. Nous étions également limitées par l'organisation du programme scolaire. Il était important de ne pas trop empiéter sur les activités faites en classe.

Nous avons tenté de chronométrer chaque enfant à chaque épreuve des tests dans le but d'accroître la sensibilité de ceux-ci. Là encore, les conditions de passation par groupes d'élèves ne permettaient pas d'obtenir des résultats sensibles et fiables. Malgré l'intérêt certain qu'elles auraient pu apporter, nous avons donc décidé de ne pas tenir compte des données temporelles dans notre étude.

Les passations des tests ne se déroulaient pas dans les mêmes conditions (salle, moment de la journée) selon les écoles. Nous avons remarqué que les élèves étaient plus attentifs le matin que l'après-midi. Nous mettions environ 30 minutes pour faire passer l'ensemble des épreuves de groupes. Il était difficile pour des enfants de GSM de rester attentifs pendant cette période.

Malgré la modification des items de tests (papillons à la place de coccinelles), nous reconnaissons un effet re-test pouvant avoir un impact sur les résultats obtenus. En effet, les tests étant espacés de quelques semaines (cf tableau 1 ; Chap 3, I,1), les enfants pouvaient se souvenir du principe des épreuves.

b. Les épreuves

Lors de la correction du pré-test, nous avons constaté un effet plafond pour l'épreuve d'estimation de la grandeur (parmi deux quantités montrées à l'enfant puis cachées, l'enfant devait désigner la plus importante des deux). La plupart des enfants obtenait la totalité des points à cette épreuve. Bien que concernée par les entraînements, nous l'avons donc supprimée du protocole d'évaluation. Elle n'était pas assez sensible et ne permettait pas de mettre en évidence une progression des performances des enfants.

Nous avons écarté de notre étude dix élèves qui obtenaient la totalité des points à l'épreuve CONS dès la phase de pré-test. Cette suppression a eu un impact sur la population mais était nécessaire pour éviter d'induire des biais dans l'analyse des résultats.

3. L'entraînement

Chaque enfant des groupes DOBA et BADO inclu dans l'étude a participé aux deux jeux proposés. Les élèves jouaient en classe entière par groupes de quatre. Cette organisation nécessitait une attention accrue des adultes encadrant les séances de jeux. Il était parfois difficile de s'assurer que tous les enfants participaient au jeu durant la séance.

Par exemple, les élèves les plus performants pouvaient parfois jouer à la place d'autres enfants sans que ceux-ci ne vérifient la fiabilité de la réponse. Il fallait rester vigilant au fait que chaque enfant joue et solliciter individuellement les moins à l'aise pour s'assurer de leur participation aux jeux. Il serait intéressant de reproduire l'étude avec un effectif d'encadrants plus important.

Les enfants ont apprécié jouer aux jeux proposés et les professeurs ont trouvé l'entraînement intéressant et en adéquation avec le programme scolaire. Certains d'entre eux comptent réutiliser les jeux à l'avenir. Même si la redondance avait un intérêt pour l'apprentissage, une lassitude s'est installée chez certains élèves au fil des séances. Il serait judicieux de varier davantage les jeux au cours de l'entraînement.

Les élèves ont participé trois semaines aux jeux de bataille et trois semaines aux jeux de dominos. En variant les conditions de jeu, une future étude pourrait proposer un entraînement plus long, ce qui faciliterait l'apprentissage et consoliderait les acquis.

CONCLUSION

Notre étude s'inscrit dans la lignée des recherches portant sur le développement de la cognition numérique. Celles-ci suggèrent que les enfants confondent initialement les variables continues et les variables discrètes lors du traitement des collections. Nous cherchions ici à améliorer la capacité d'enfants de GSM à dissocier les quantités (le nombre) d'éléments d'une collection de la surface et de la disposition spatiale occupée par cette collection. Notre matériel se composait de jeux de cartes suivant le principe du jeu de bataille (dénombrer et comparer les points sur les cartes) et de dominos (associer une quantité de points à un numéral indo-arabe).

L'entraînement n'a pas eu d'effet significatif sur l'ensemble des épreuves passées par rapport aux résultats du groupe CONT. Notre première hypothèse n'est donc pas validée. Cependant, les groupes entraînés ont enregistré une progression supérieure à celle du groupe CONT à l'épreuve de conservation numérique. Ils ont également obtenu de meilleures performances aux épreuves de dénombrement et de comparaison que celles du groupe CONT, même si les trois groupes ont progressé à ces épreuves. Si l'entraînement a eu un effet plus ou moins important sur les performances des enfants aux épreuves spécifiques, cet effet ne s'est pas généralisé aux épreuves non spécifiques (opérations, ligne numérique et sériation). Notre seconde hypothèse est donc partiellement validée. Enfin, nous avons observé que le groupe DOBA faisait significativement mieux que le groupe BADO aux épreuves d'opérations et de sériation numérique au dernier test. L'entraînement DOBA semblerait donc plus efficace que l'entraînement BADO ce qui répond à la question 3, sans pouvoir en déterminer les raisons.

Notre étude a permis d'apporter de nouvelles perspectives de recherches en psychologie du développement et en orthophonie. Les jeux de bataille et de dominos ont permis une amélioration des performances en conservation numérique significativement plus importante qu'avec un enseignement scolaire habituel. Nous retrouvons de meilleurs résultats aux épreuves de dénombrement et de comparaison. Cependant, suite à l'entraînement, les progrès ne se sont pas généralisés à l'ensemble des épreuves passées. Nous pouvons conclure à un effet de l'entraînement limité aux épreuves spécifiques et pas toujours significatif par rapport à l'enseignement habituel. L'efficacité des deux jeux proposés reste donc à démontrer. Il serait intéressant de proposer cet entraînement sur un temps plus long avec un panel d'enfants plus important. Cet entraînement pourrait aussi être utilisé avec des enfants présentant un trouble des apprentissages numériques.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Barrouillet, P. (2005). *Un nouveau modèle de transcodage des nombres : aspects développementaux, neuropsychologiques et computationnels*. LEAD - Laboratoire d'Étude de l'Apprentissage et du Développement. Archives ouvertes HAL.
- [2] Berkowitz, T., Schaeffer, M. W., Maloney, E. A., Peterson, L., Gregor, C., Levine, S. C., et Beilock, S. L. (2015). Math at home adds up to achievement in school. *Science (New York, N.Y.)*, 350(6257), 196-198.
- [3] Brankaer, C., Ghesquière, P., et De Smedt, B. (2015). The Effect of a Numerical Domino Game on Numerical Magnitude Processing in Children With Mild Intellectual Disabilities. *Mind, Brain, and Education*, 9(1), 29-39.
- [4] Camos, V. (2002). La quantification dans les populations déficientes. *Glossa*, 82(4), 1-13.
- [5] Cantlon, J. F., Brannon, E. M., Carter, E. J., et Pelphrey, K. A. (2006). Functional Imaging of Numerical Processing in Adults and 4-y-Old Children. *PLOS Biol*, 4(5), e125.
- [6] Cappelletti, M., Freeman, E. D., et Cipolotti, L. (2009). Dissociations and interactions between time, numerosity and space processing. *Neuropsychologia*, 47(13), 2732-2748.
- [7] Cappelletti, M., Freeman, E. D., et Cipolotti, L. (2011). Numbers and time doubly dissociate. *Neuropsychologia*, 49(11), 3078-3092.
- [8] Carey, S. (2004). Bootstrapping & the origin of concepts. *Daedalus*, 133(1), 59-68.
- [9] Cens, I., Dupé, C., et Monnier, A.-L. (2007). L'évaluation internationale PISA 2003 : compétences des élèves français en mathématiques, compréhension de l'écrit et sciences : dossier. *Les Dossiers. DEPP*, 240p.
- [10] Chazoule, G. (2012). *Représentations analogiques et représentations symboliques des quantités. Leurs relations entre quatre et six ans*. (phdthesis). Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II. LAPSCO - Laboratoire de psychologie sociale et de psychologie cognitive.
- [11] Clearfield, M. W., et Mix, K. S. (1999). Number Versus Contour Length in Infants' Discrimination of Small Visual Sets. *Psychological Science*, 10(5), 408-411.
- [12] Clearfield, M. W., et Mix, K. S. (2001). Amount Versus Number: Infants' Use of Area and Contour Length to Discriminate Small Sets. *Journal of Cognition and Development*, 2(3), 243-260.

- [13] Cohen Kadosh, R., Dowker, A., Heine, A., Kaufmann, L., et Kucian, K. (2013). Interventions for improving numerical abilities: Present and future. *Trends in Neuroscience and Education*, 2(2), 85-93.
- [14] Coubart, A., Izard, V., Spelke, E. S., Marie, J., et Streri, A. (2014). Dissociation between small and large numerosities in newborn infants. *Developmental Science*, 17(1), 11-22.
- [15] Coubart, A. (2014). *Un ou deux systèmes de représentation de la numérosité chez le nouveau-né ?* Université Paris Descartes. Laboratoire Psychologie de la Perception.
- [16] Dehaene, S. (1992). *Cognition*, 44, 1-42.
- [17] Dehaene, S., Bossini, S., et Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122(3), 371-396.
- [18] Dehaene, S., et Changeux, J. P. (1993). Development of elementary numerical abilities: a neuronal model. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5(4), 390-407.
- [19] Dehaene, S. et Cohen, L. (1995). *Mathematical Cognition*, 1, 83-120.
- [20] Dehaene, S. (1997). Comment notre cerveau calcule-t-il ? *Pour la Science*, 236, 50-7.
- [21] Dowker, A. (2008). Individual differences in numerical abilities in preschoolers. *Developmental Science*, 11(5), 650-654.
- [22] Eger, E., Sterzer, P., Russ, M. O., Giraud, A.-L., et Kleinschmidt, A. (2003). A supramodal number representation in human intraparietal cortex. *Neuron*, 37(4), 719-725.
- [23] Fayol, M. (2008). L'acquisition de l'arithmétique élémentaire. *médecine/sciences*, 24(1), 87-90.
- [24] Fayol, M., Camos, V. et Roussel, J-L. (1990). Acquisition et mise en œuvre de la numération par des enfants de 2 à 9 ans. In : *La Neuropsychologie du calcul*, ed. Solal. 1-22.
- [25] Fayol, M. (2012). *L'acquisition du nombre*, Paris, Puf, 128p.
- [26] Feigenson, L., Carey, S., et Hauser, M. (2002). The representations underlying infants' choice of more: object files versus analog magnitudes. *Psychological Science*, 13(2), 150-156.
- [27] Feigenson, L., Carey, S., et Spelke, E. (2002). Infants' Discrimination of Number vs. Continuous Extent. *Cognitive Psychology*, 44(1), 33-66.
- [28] Fischer, M. H. (2001). Number processing induces spatial performance biases. *Neurology*, 57(5), 822-826.

- [29] Fruitière, H., et Lemarié, K., (2015). *Effets d'un entraînement sur les compétences arithmétiques s'enfants de Grande Section de Maternelle*. Université Paris VI - UPMC - Orthophonie.
- [30] Fuson, K. C. (1988). *Children's counting and concepts of number*. Springer-Verlag New York, 446p.
- [31] Geary, D. C. (2011). Consequences, Characteristics, and Causes of Mathematical Learning Disabilities and Persistent Low Achievement in Mathematics. *Journal of developmental and behavioral pediatrics : JDBP*, 32(3), 250-263.
- [32] Gebuis, T., Cohen Kadosh, R., de Haan, E., et Henik, A. (2009). Automatic quantity processing in 5-year olds and adults. *Cognitive Processing*, 10(2), 133-142.
- [33] Gelman, R., et Gallistel, C.R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA : Harvard University Press, 260p.
- [34] Gendre, N., et Pautonnier, L. (2012). *Peut-on améliorer les performances arithmétiques par des entraînements aux configurations de doigts ou à un jeu de plateau linéaire ?* Université Claude Bernard Lyon1 - ISTR - Orthophonie.
- [35] Ginsburg, H. P., Lee, J. S., et Boyd, J. S. (2008). *Mathematics Education for Young Children: What It Is and How to Promote It. Social Policy Report. Volume 22, Number 1*. Society for Research in Child Development.
- [36] Halberda, J., et Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the « Number Sense »: The Approximate Number System in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Developmental Psychology*, 44(5), 1457-1465.
- [37] Halberda, J., Mazocco, M. M. M., et Feigenson, L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, 455(7213), 665-668.
- [38] Hubbard, E. M., Piazza, M., Pinel, P., et Dehaene, S. (2005). Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(6), 435-448.
- [39] Izard, V., Dehaene-Lambertz, G., et Dehaene, S. (2008). Distinct cerebral pathways for object identity and number in human infants. *PLoS Biology*, 6(2), e11.
- [40] Izard, V., Pica, P., Spelke, E., et Dehaene, S. (2008). Comment les nombres se répartissent dans l'espace: Une intuition originelle logarithmique. *médecine/sciences*, 24(12), 1014-1016.
- [41] Izard, V., Sann, C., Spelke, E. S., et Streri, A. (2009). Newborn infants perceive abstract numbers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(25), 10382-10385.

- [42] Jansen, B. R. J., Hofman, A. D., Straatemeier, M., van Bers, B. M. C. W., Raijmakers, M. E. J., et Van der Maas, H. L. J. (2014). The role of pattern recognition in children's exact enumeration of small numbers. *British Journal of Developmental Psychology*, 32(2), 178-194.
- [43] Jordan, K. E., Suanda, S. H., et Brannon, E. M. (2008). Intersensory redundancy accelerates preverbal numerical competence. *Cognition*, 108(1), 210-221.
- [44] Jordan, N. C., Huttenlocher, J., et Levine, S. C. (1992). Differential calculation abilities in young children from middle- and low-income families. *Developmental Psychology*, 28(4), 644-653.
- [45] Leroy, V., Van Reybroeck, M., Balteau, A., Content, A., Gadiuseux, Ch., Grégoire, J., et Schelstraete, M-A. (2005). Mise au point de stratégies éducatives pour le cycle 5-8 visant à améliorer les compétences en langage oral et à favoriser l'apprentissage des mathématiques chez les enfants francophones de milieu social défavorisé. Diffusion, Université Libre de Belgique. 1-25.
- [46] Lipton, J. S., et Spelke, E. S. (2003). Origins of number sense. Large-number discrimination in human infants. *Psychological Science*, 14(5), 396-401.
- [47] Lipton, J. S., et Spelke, E. S. (2004). Discrimination of Large and Small Numerosities by Human Infants. *Infancy*, 5(3), 271-290.
- [48] Lourenco, S. F., Bonny, J. W., Fernandez, E. P., et Rao, S. (2012). Nonsymbolic number and cumulative area representations contribute shared and unique variance to symbolic math competence. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(46), 18737-18742.
- [49] Mazzocco, M. M. M., Feigenson, L., et Halberda, J. (2011). Preschoolers' precision of the approximate number system predicts later school mathematics performance. *PloS One*, 6(9), e23749.
- [50] McCloskey, M., Caramazza, A., et Basili, A. (1985). Cognitive mechanisms in number processing and calculation: Evidence from dyscalculia. *Brain and Cognition*, 4(2), 171-196.
- [51] Meck, W. H., et Church, R. M. (1983). A mode control model of counting and timing processes. *Journal of Experimental Psychology. Animal Behavior Processes*, 9(3), 320-334.
- [52] Nieder, A. (2005). Counting on neurons: the neurobiology of numerical competence. *Nature Reviews. Neuroscience*, 6(3), 177-190.
- [53] Nieder, A., et Dehaene, S. (2009). Representation of number in the brain. *Annual Review of Neuroscience*, 32, 185-208.

- [54] Nys, J., et Content, A. (2012). Judgement of discrete and continuous quantity in adults: number counts! *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (2006), 65(4), 675-690.
- [55] Odic, D., Libertus, M. E., Feigenson, L., et Halberda, J. (2013). Developmental change in the acuity of approximate number and area representations. *Developmental Psychology*, 49(6), 1103-1112.
- [56] Opfer, J. E., Thompson, C. A., et Furlong, E. E. (2010). Early development of spatial-numeric associations: evidence from spatial and quantitative performance of preschoolers. *Developmental Science*, 13(5), 761-771.
- [57] Pagani, L. S., Fitzpatrick, C., Archambault, I., et Janosz, M. (2010). School readiness and later achievement: A French Canadian replication and extension. *Developmental Psychology*, 46(5), 984-994.
- [58] Pesenti, M., Thioux, M., Seron, X., et Volder, A. D. (2000). Neuroanatomical Substrates of Arabic Number Processing, Numerical Comparison, and Simple Addition: A PET Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(3), 461-479.
- [59] Piazza, M., Izard, V., Pinel, P., Le Bihan, D., et Dehaene, S. (2004). Tuning curves for approximate numerosity in the human intraparietal sulcus. *Neuron*, 44(3), 547-555.
- [60] Pica, P., Lemer, C., Izard, V., et Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science (New York, N.Y.)*, 306(5695), 499-503.
- [61] Ramani, G. B., Siegler, R. S., et Hitti, A. (2012). Taking it to the classroom: Number board games as a small group learning activity. *Journal of Educational Psychology*, 104(3), 661-672.
- [62] Ramani, G. B., Rowe, M. L., Eason, S. H., et Leech, K. A. (2015). Math talk during informal learning activities in Head Start families. *Cognitive Development*, 35, 15-33.
- [63] Rousselle, L., Palmers, E., et Noël, M.-P. (2004). Magnitude comparison in preschoolers: what counts? Influence of perceptual variables. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87(1), 57-84.
- [64] Rousselle, L., et Noël, M.-P. (2008). The development of automatic numerosity processing in preschoolers: Evidence for numerosity-perceptual interference. *Developmental Psychology*, 44(2), 544-560.
- [65] Saad, L. (2010). *Transcodage des nombres chez l'enfant: approche développementale, inter-linguistique et différentielle*. Université de Bourgogne, Dijon. LEAD - Laboratoire d'Étude de l'Apprentissage et du Développement.

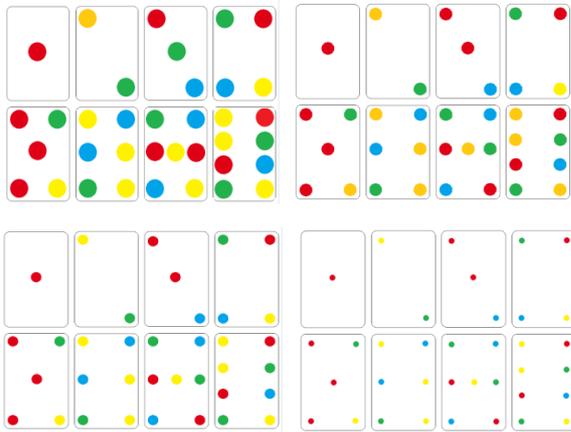
- [66] Siegler, R. S., et Mu, Y. (2008). Chinese Children Excel on Novel Mathematics Problems Even Before Elementary School. *Psychological Science*, 19(8), 759-763.
- [67] Siegler, R. S., et Ramani, G. B. (2008). Playing linear numerical board games promotes low-income children's numerical development. *Developmental Science*, 11(5), 655-661.
- [68] Simon, O., Mangin, J.-F., Cohen, L., Bihan, D. L., et Dehaene, S. (2002). Topographical Layout of Hand, Eye, Calculation, and Language-Related Areas in the Human Parietal Lobe. *Neuron*, 33(3), 475-487.
- [69] Simon, T. J. (1997). Reconceptualizing the origins of number knowledge: A « non-numerical » account. *Cognitive Development*, 12(3), 349-372.
- [70] Starkey, P., et Cooper, R. G. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science (New York, N.Y.)*, 210(4473), 1033-1035.
- [71] Tudusciuc, O., et Nieder, A. (2007). Neuronal population coding of continuous and discrete quantity in the primate posterior parietal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(36), 14513-14518.
- [72] Walsh, V. (2003). A theory of magnitude: common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(11), 483-488.
- [73] Whalen, J., Gallistel, C. R., et Gelman, R. (1999). Nonverbal Counting in Humans: The Psychophysics of Number Representation. *Psychological Science*, 10(2), 130-137.
- [74] Wynn, K. (1992). Children's acquisition of the number words and the counting system. *Cognitive Psychology*, 24(2), 220-251.
- [75] Xu, F., et Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74(1), B1-B11.
- [76] Xu, F., et Arriaga, R. I. (2007). Number discrimination in 10-month-old infants. *British Journal of Developmental Psychology*, 25(1), 103-108.

ANNEXES

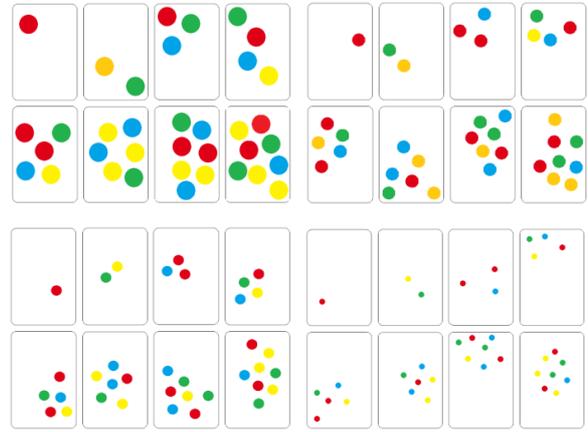
ANNEXE A : Jeux

Jeu de bataille

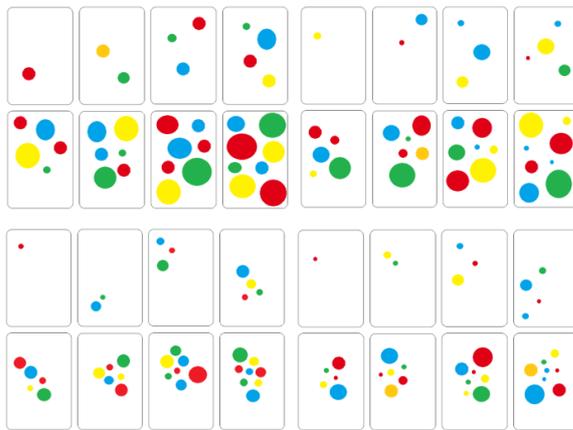
Jeu 1 (situation congruente)



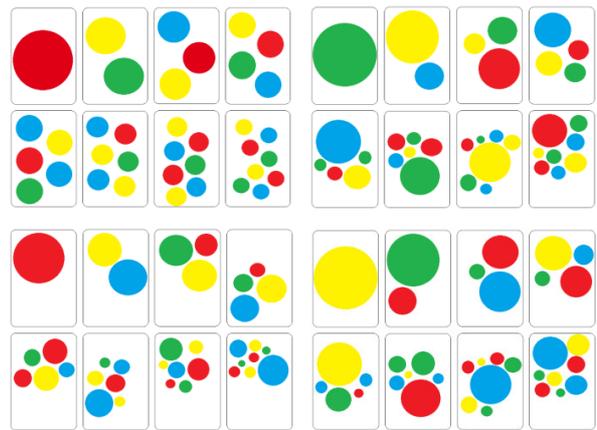
Jeu 2 (situation congruente)



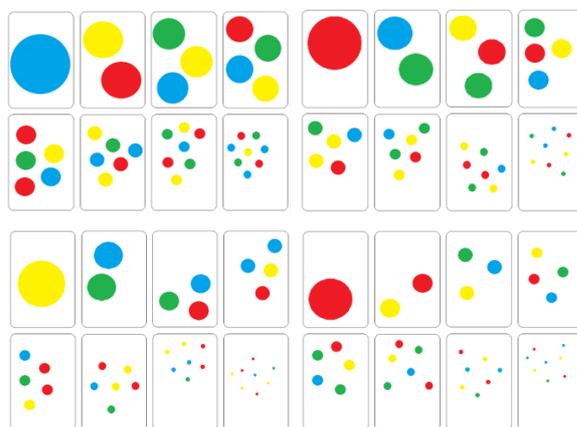
Jeu 3 (situation congruente)



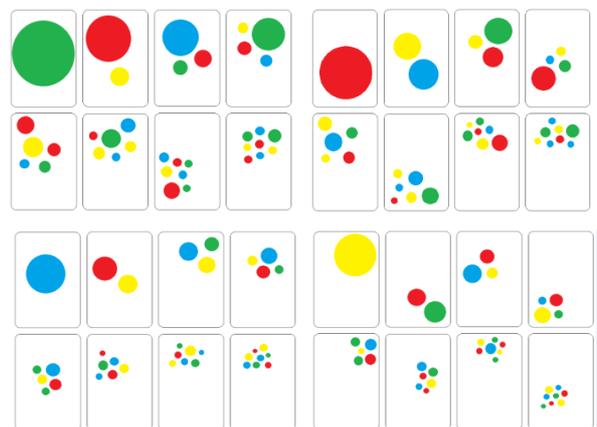
Jeu 4 (situation neutre)



Jeu 5 (situation non congruente)

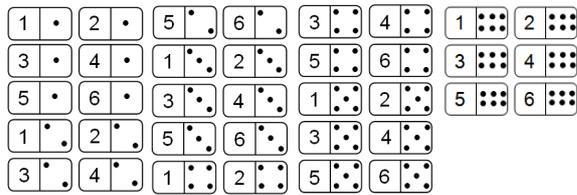


Jeu 6 (situation non congruente)

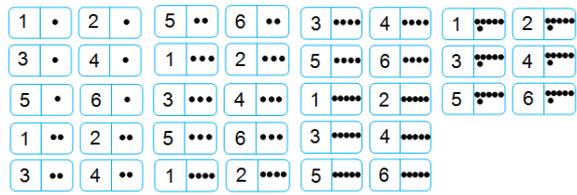


Jeu de dominos

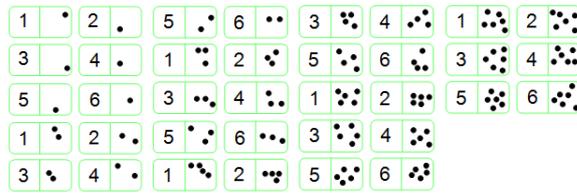
Jeu 1



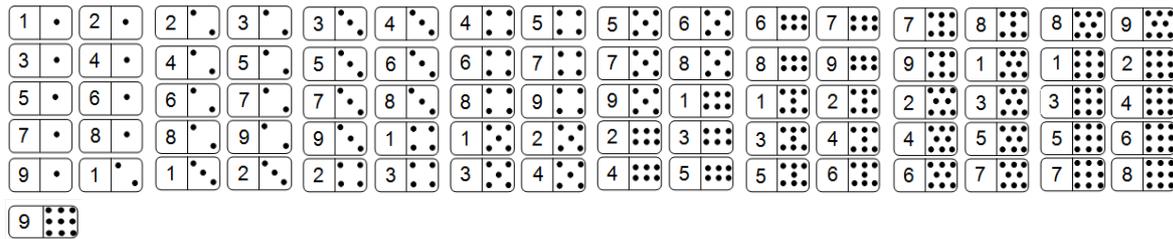
Jeu 2



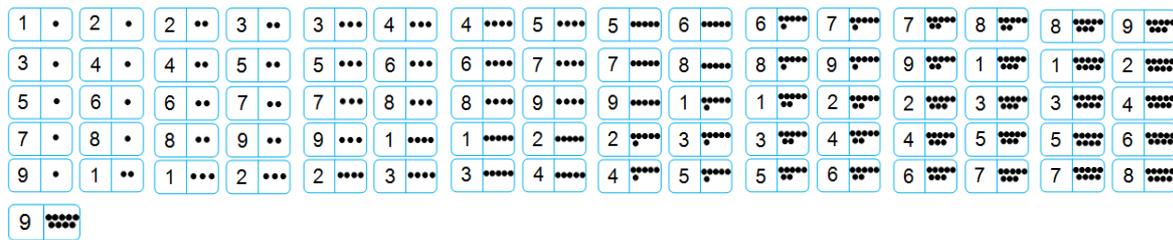
Jeu 3



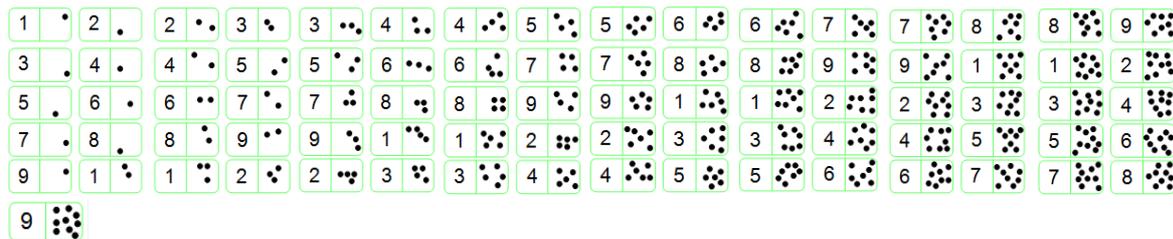
Jeu 4



Jeu 5



Jeu 6

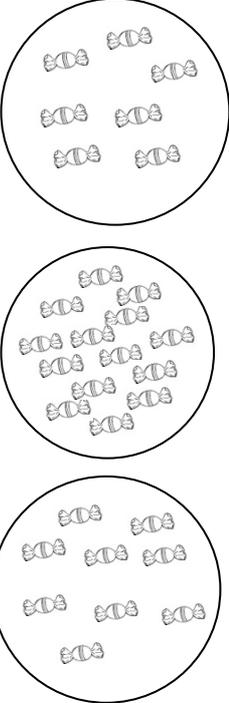


ANNEXE B : Dénombrement (DEN)

Dénombrement :

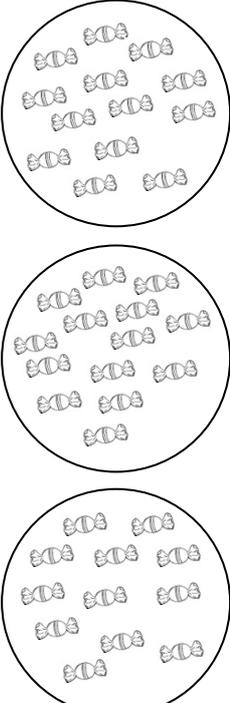
1. Dans les trois cercles, il y a des bonbons. À gauche est écrit un nombre. Trouve le cercle qui contient le même nombre de bonbons que le nombre écrit.

9



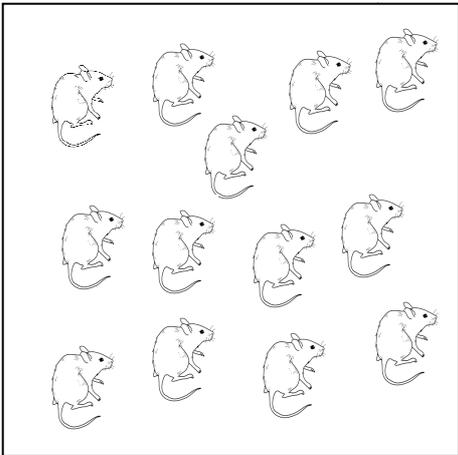
The first circle contains 8 candies. The second circle contains 12 candies. The third circle contains 10 candies.

12



The first circle contains 12 candies. The second circle contains 10 candies. The third circle contains 10 candies.

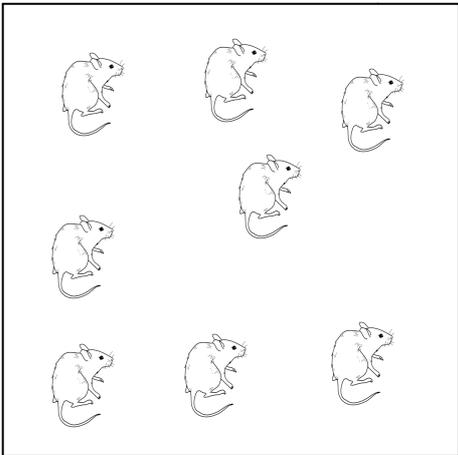
2. Combien y a-t-il de souris dans le carré ? Entoure la bonne réponse.



7

16

13

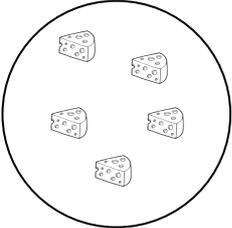
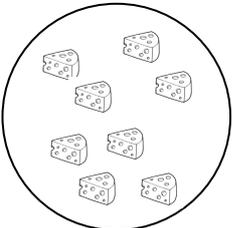
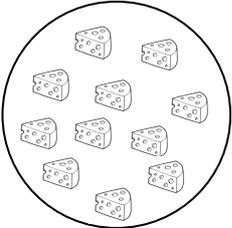
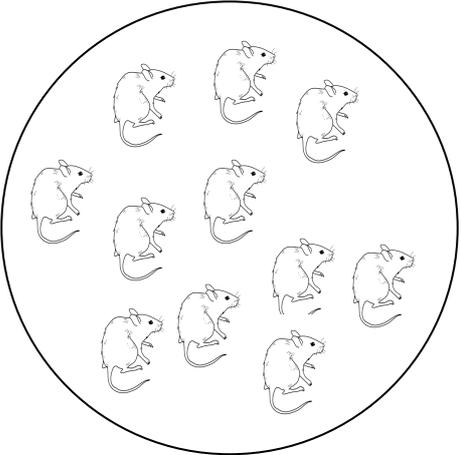
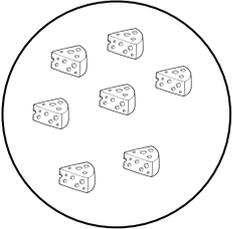
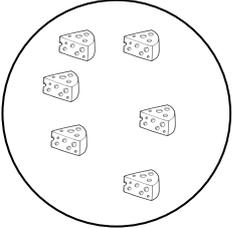
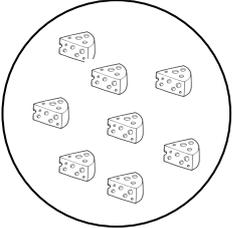
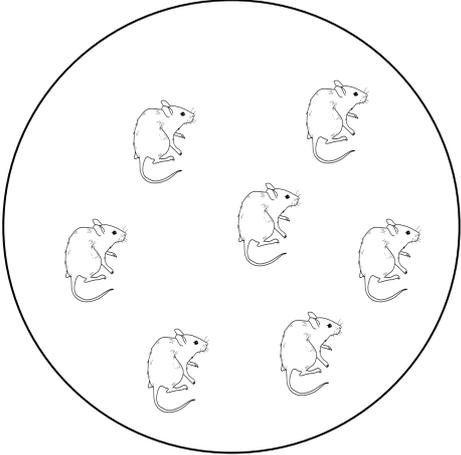


7

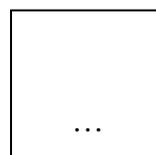
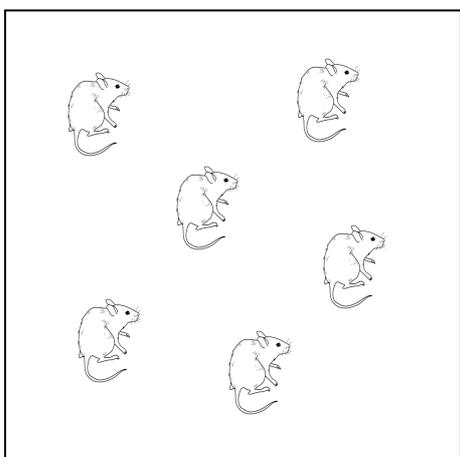
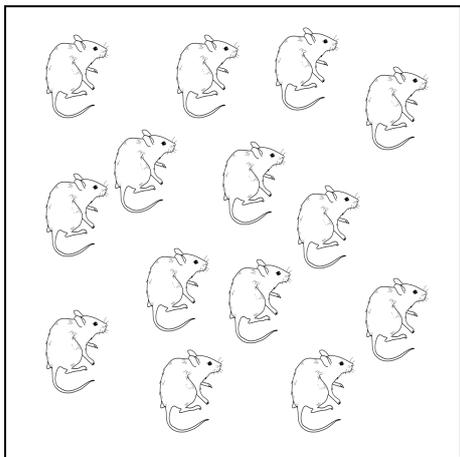
9

8

3. Il y a un cercle avec des souris et trois cercles avec des fromages. Il faut que chaque souris ait un fromage à manger, pas plus, pas moins. Trouve le cercle de fromages où il y a exactement pareil de souris. Relie-les.



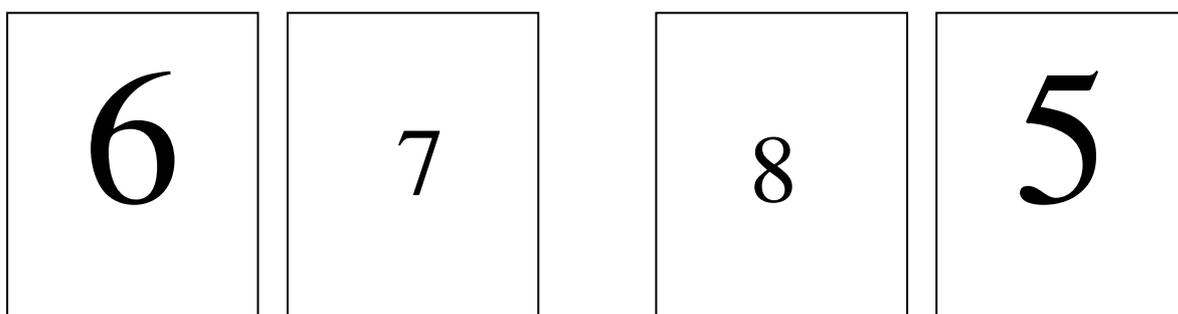
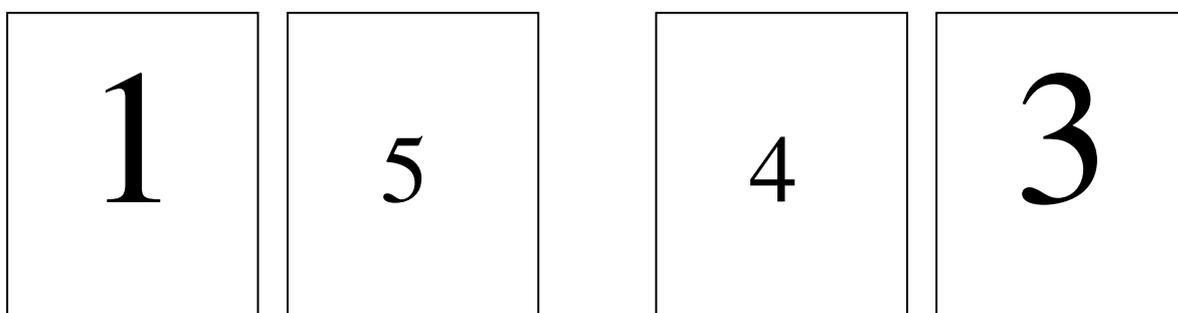
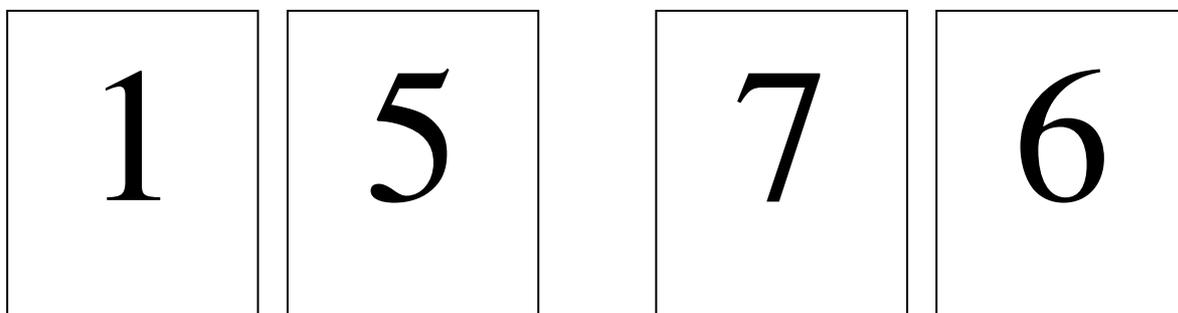
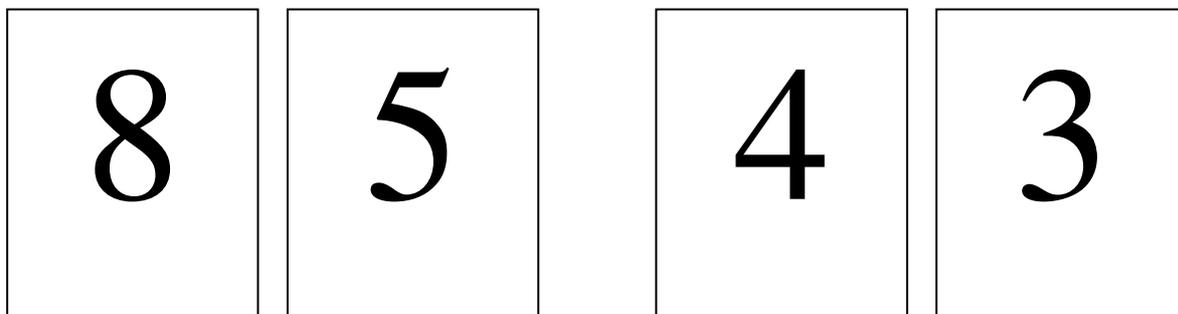
4. Écris le nombre de souris que tu vois.



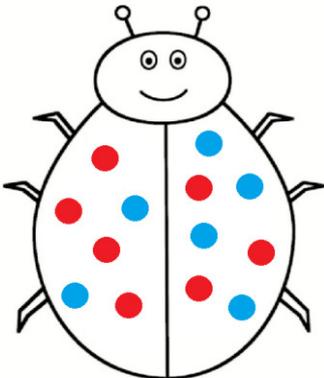
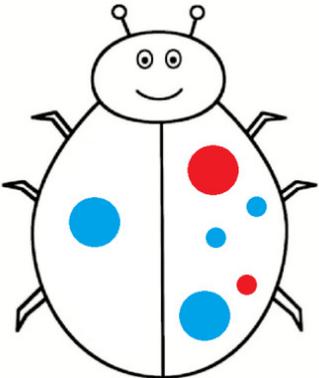
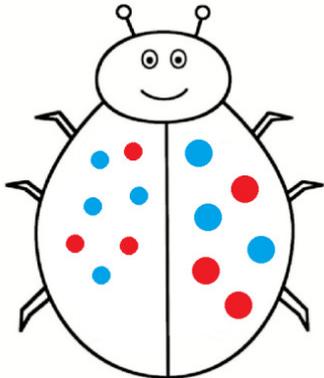
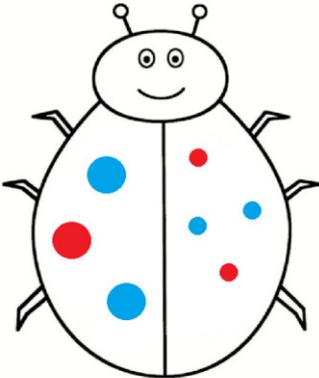
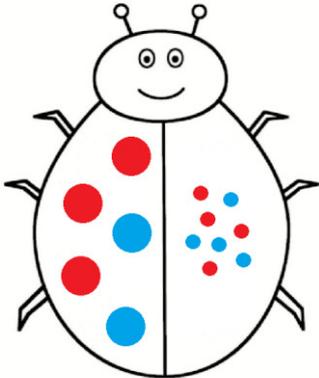
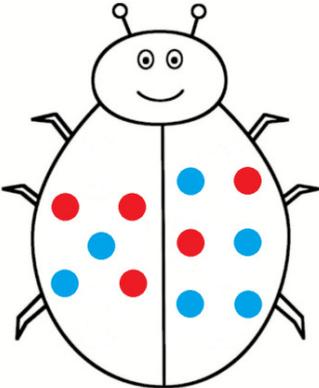
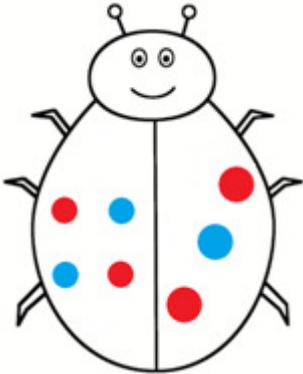
ANNEXE C : Comparaison (COMP)

Comparaison :

1. Tu dois regarder les deux cartes qui sont côte à côte et entourer celle qui a le nombre qui représente la plus grande quantité, c'est-à-dire celle où il y en a le plus



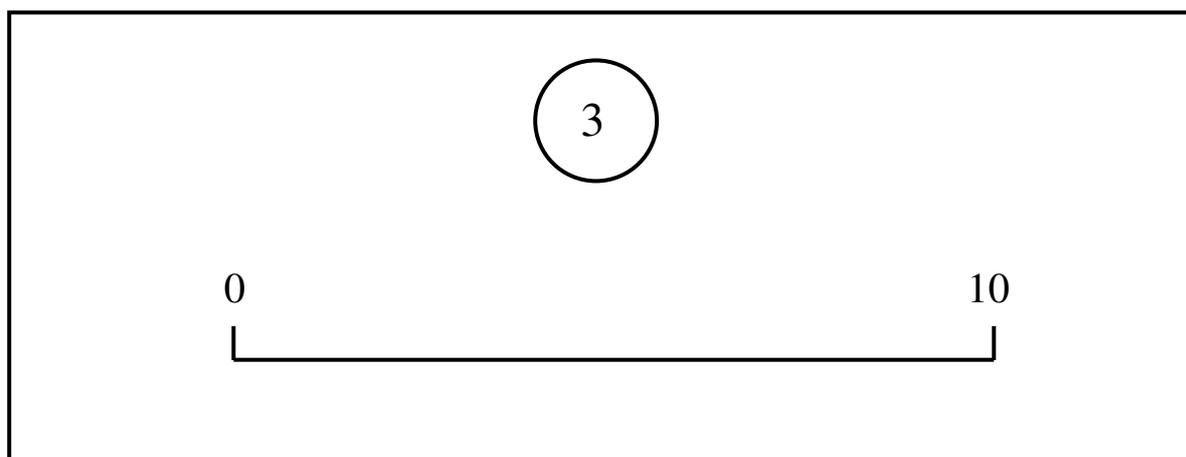
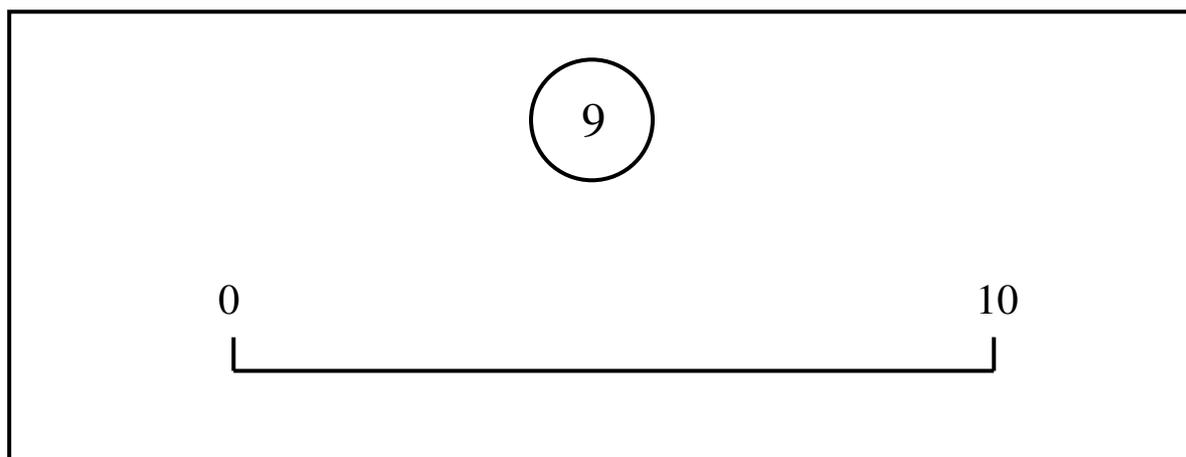
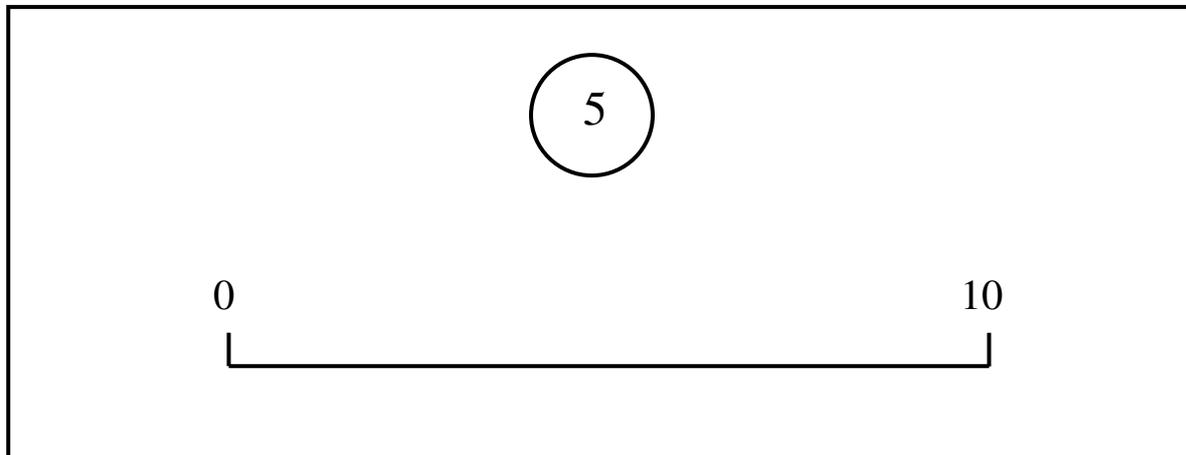
2. Pour chaque coccinelle, regarde ses deux ailes. Entoure celle qui a le plus de points.



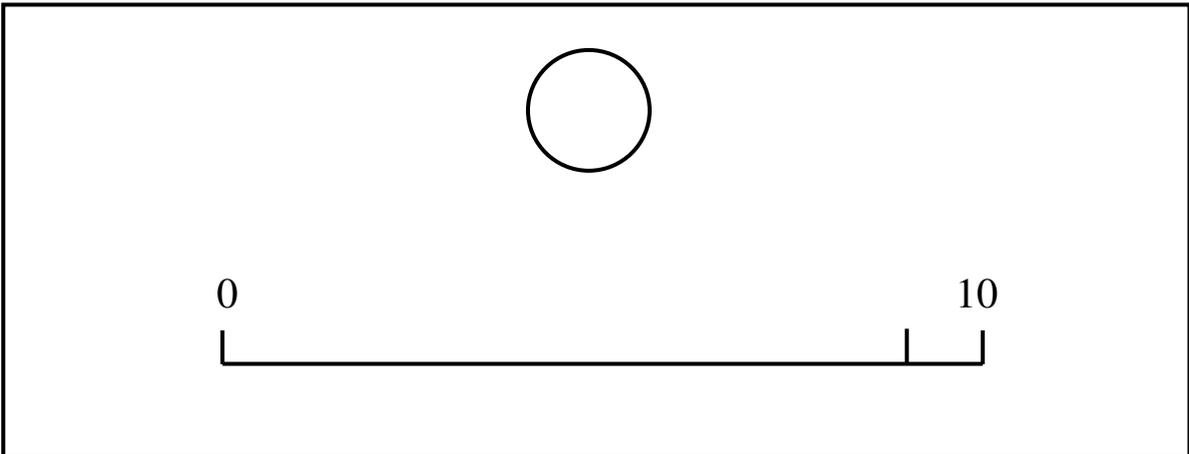
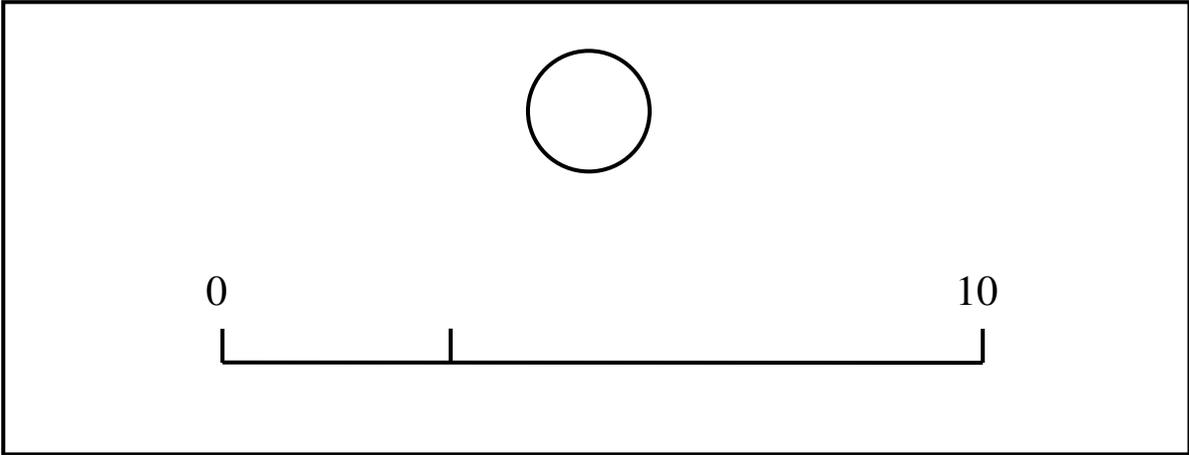
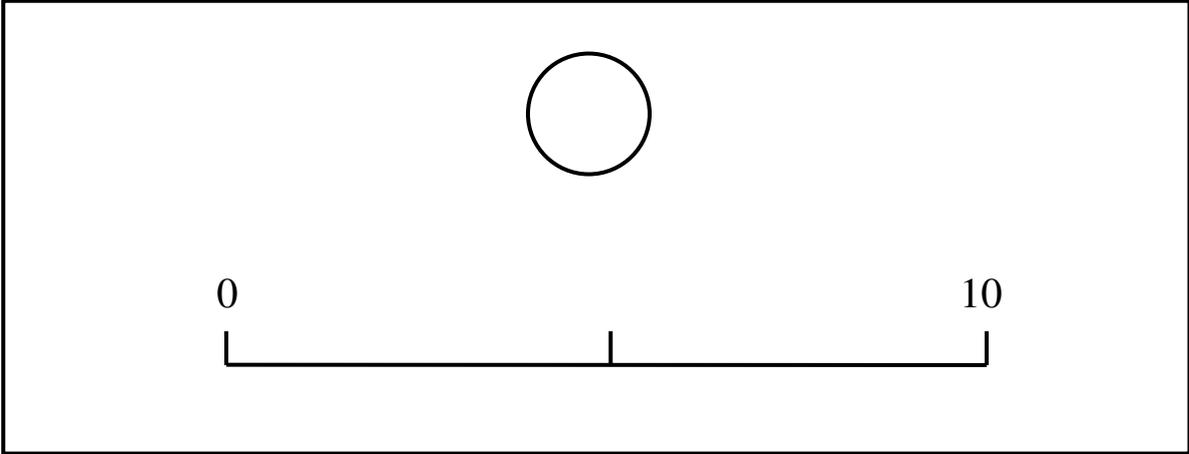
ANNEXE D : Estimations linéaires (LIGNE)

Ligne numérique :

1. Tu as une ligne qui commence à 0 et qui finit à 10. Place sur cette ligne le nombre qui est écrit juste au-dessus.



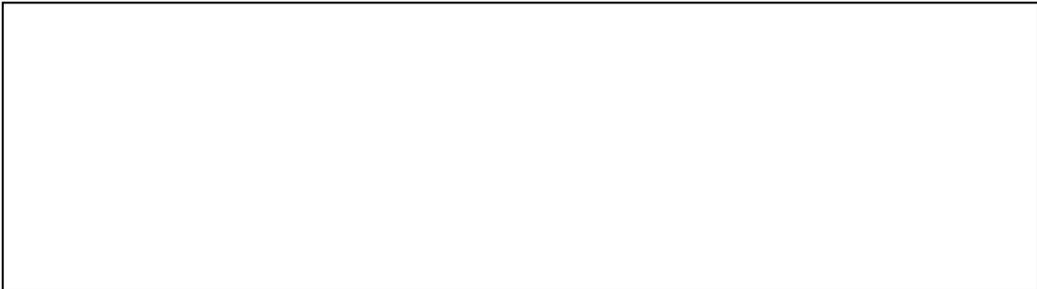
2. Maintenant, tu as un trait sur la ligne. D'après toi, quel est ce nombre ? Écris-le dans le cercle.



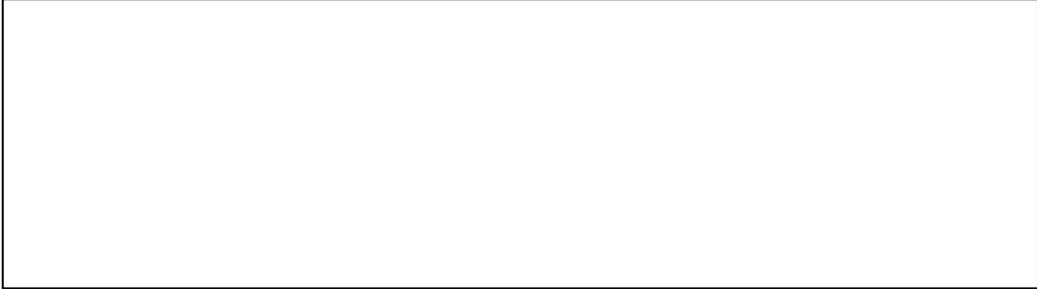
ANNEXE E : Opérations (OPE)

Opérations :

Regardez, il y a un sachet. Il est vide (montrer l'intérieur du sachet). Maintenant regardez combien de jetons je mets dans le sachet. Vous avez bien regardé ? Maintenant regardez ce que je fais (ajout ou retrait de jetons). À présent, dessinez dans ce rectangle (montrer le bon rectangle) le nombre de jetons qu'il y a dans le sachet.

1) 

2) 

3) 

4) 

ANNEXE F : Conservation numérique (CONS)

4.C Conservation numérique (2 items)

→ GSM/3M période 2 et supérieur

Faites passer systématiquement tous les items.

Est-ce que c'est toi qui as le plus de jetons, est-ce moi qui en ai le plus ou bien avons-nous tous les deux le même nombre de jetons ?

Est-ce que tu peux m'expliquer comment tu sais que ...

Et maintenant, est-ce que c'est toi qui as le plus de jetons, est-ce moi qui en ai le plus ou bien avons-nous tous les deux le même nombre de jetons ?

	4.C.1			4.C.2								
	Equivalence des deux rangées			Elargissement d'une rangée			Equivalence des deux rangées			Jetons en tas		
Qui a le plus de jetons ? (1 ^{er} essai)	Moi	Toi	=	Moi	Toi	=	Moi	Toi	=	Moi	Toi	=
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Qui a le plus de jetons ? (2 ^{ème} essai)	Moi	Toi	=	Moi	Toi	=	Moi	Toi	=	Moi	Toi	=
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pourquoi ?												
	Justification empirique			<input type="checkbox"/> recomptage <input type="checkbox"/> mise en correspondance <input type="checkbox"/> autre :			Justification empirique			<input type="checkbox"/> recomptage <input type="checkbox"/> mise en correspondance <input type="checkbox"/> autre :		
	Justification logique			<input type="checkbox"/> invariance de la quantité <input type="checkbox"/> réversibilité <input type="checkbox"/> autre :			Justification logique			<input type="checkbox"/> invariance de la quantité <input type="checkbox"/> réversibilité <input type="checkbox"/> autre :		
	Notation			2 - 1 - 0			Notation			2 - 1 - 0		

Additionnez les scores des sous-épreuves 4.C.1 et 4.C.2 pour obtenir le score total de l'épreuve 4.C : Conservation numérique.

Total 4.C _____

16

Représentations des conditions :

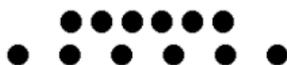
Équivalence des deux rangées :



Rangée de l'enfant

Rangée de l'examineur

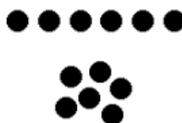
Élargissement d'une rangée :



Rangée de l'enfant

Rangée de l'examineur

Jetons en tas :



Rangée de l'enfant

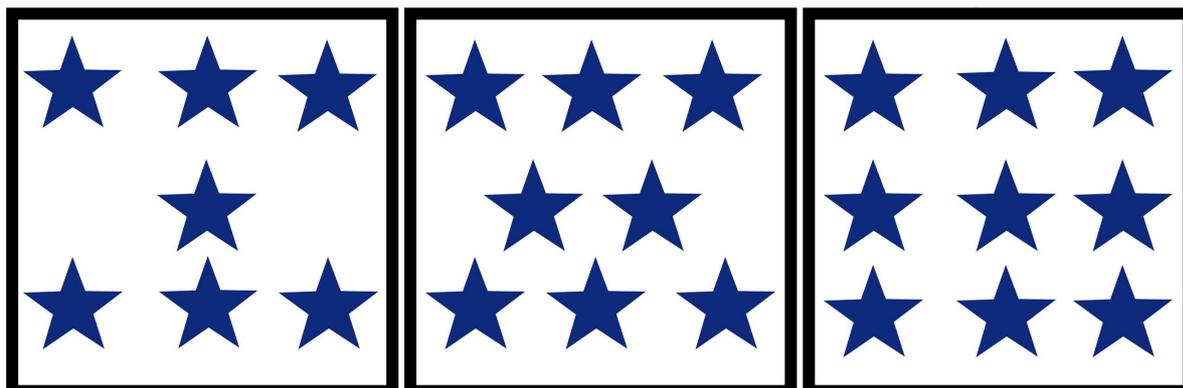
Rangée de l'examineur

ANNEXE G : Sériation numérique (SER)

1. Peux-tu ranger les cartes en commençant par celle où il y a le moins de ballons et en allant jusqu'à celle où il y a le plus de ballons.



2. Regarde les deux cartes. Où vas-tu placer la troisième carte pour les ranger comme on vient de faire: de ce côté (gauche), de ce côté (droite) ou au milieu ?



3. 1^{ère} partie : Peux-tu ranger les cartes en commençant par celle où il y a le moins de poissons et en allant jusqu'à celle où il y a le plus de poissons ?

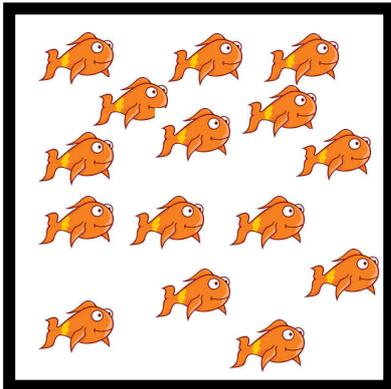
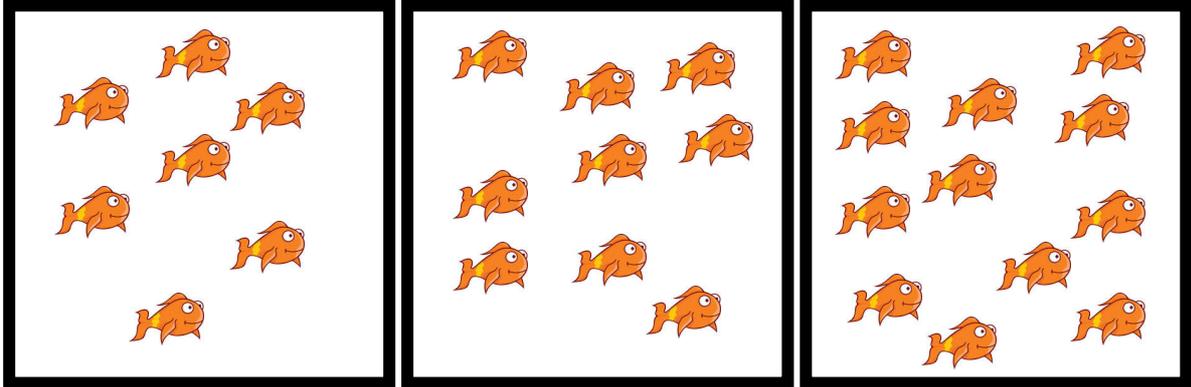
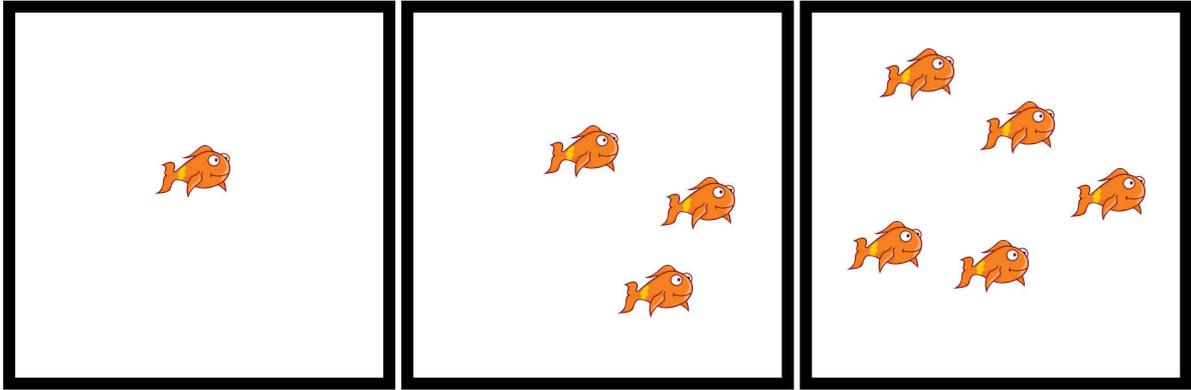
2^e partie : Mince j'ai oublié de te donner cette carte, où est-ce que tu la mettrais ?

4.A Sériation numérique (2 items)

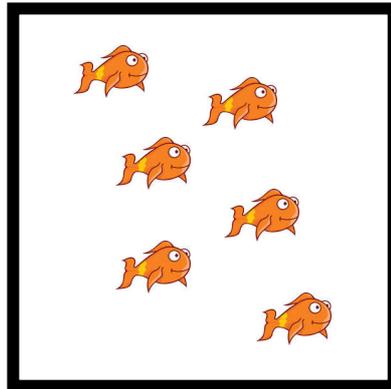
4.A.1 Sériation de patterns d'arbres → MSM/2M et supérieur

Peux-tu ranger les cartes en commençant par celle où il y a le moins d'arbres et en allant jusqu'à celle où il y a le plus d'arbres ?
J'ai oublié de donner cette carte. Où la mettrais-tu ?

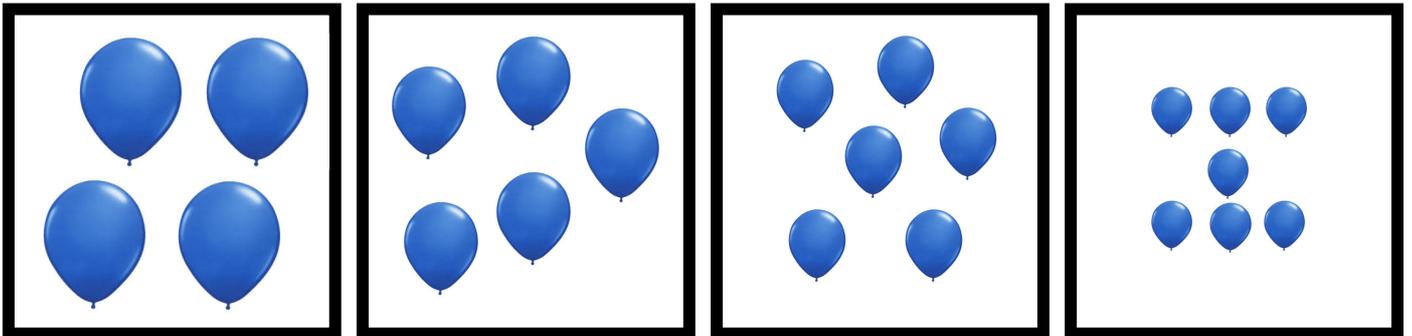
Ordre correct	Placement correct de la carte avec 5 arbres	Observations	Notation
OUI-NON	OUI-NON		2 - 1 - 0



2^e partie :



4. Peux-tu ranger les cartes en commençant par celle où il y a le moins de ballons et en allant jusqu'à celle où il y a le plus de ballons ?



Récapitulatif pour les écoles

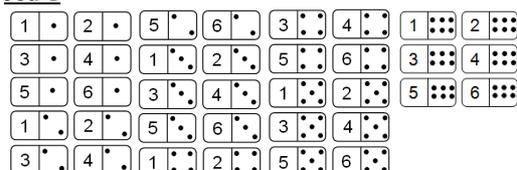
Problématique générale :

Les difficultés rencontrées par les enfants en mathématiques conduisent à rechercher des moyens pour en faciliter l'acquisition et l'apprentissage, notamment chez les jeunes enfants. Le recours à des activités ludiques est une voie encore trop peu explorée. Notre objectif est précisément de déterminer si la pratique de jeux simples (jeu de dominos, jeu de cartes : bataille) a un impact sur certaines performances mathématiques supérieur à celui des activités scolaires utilisées de manière usuelle avec des enfants de GSM.

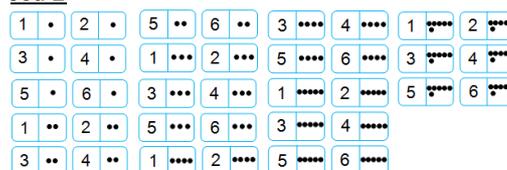
Nous étudierons l'effet d'un jeu de dominos et d'un jeu de bataille (cartes) pour évaluer l'influence de ces 2 pratiques par comparaison avec les résultats obtenus avec un groupe contrôle (activité usuelle). Les comparaisons porteront sur les performances initiales, avant tout entraînement (pré-test) puis après entraînement (plusieurs post-tests). Les performances analysées aborderont le dénombrement, les comparaisons, la ligne numérique, la conservation, etc.

Jeu de dominos :

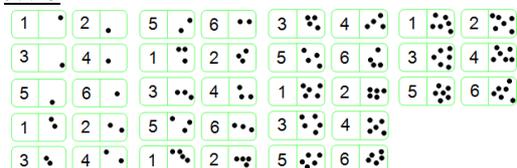
Jeu 1



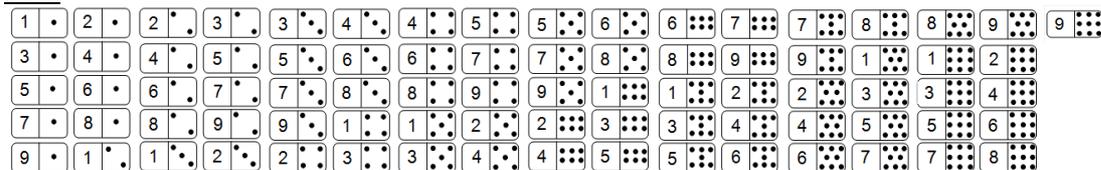
Jeu 2



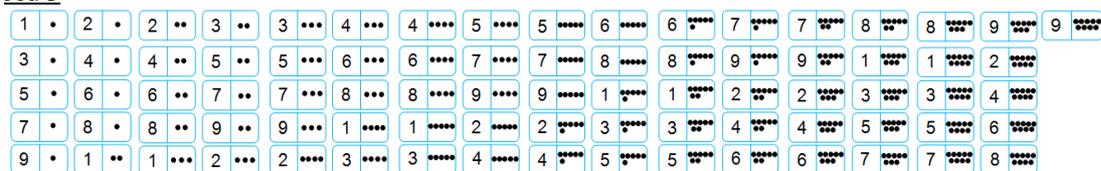
Jeu 3



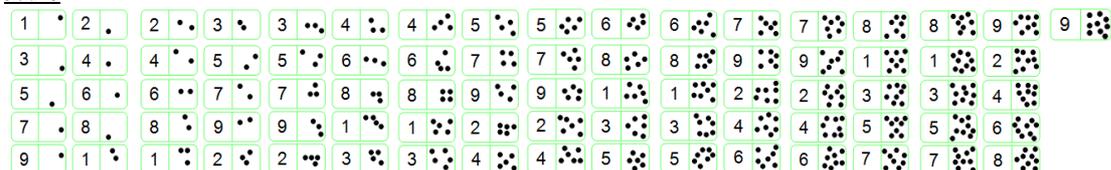
Jeu 4



Jeu 5

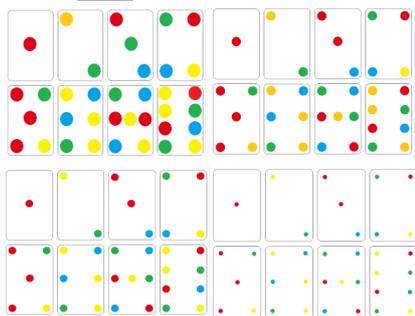


Jeu 6

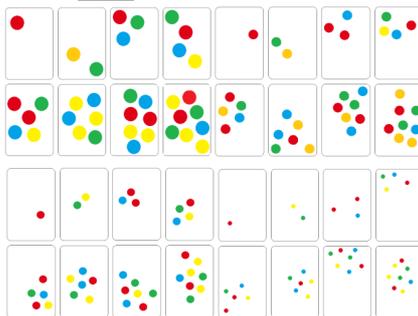


Jeu de bataille :

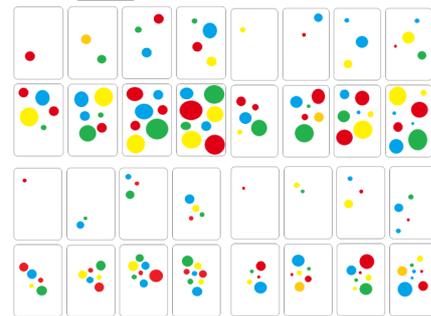
Jeu 1



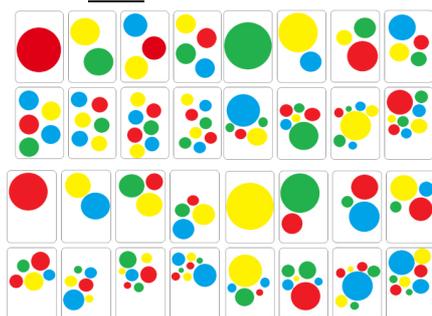
Jeu 2



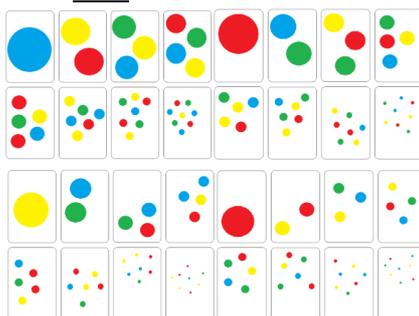
Jeu 3



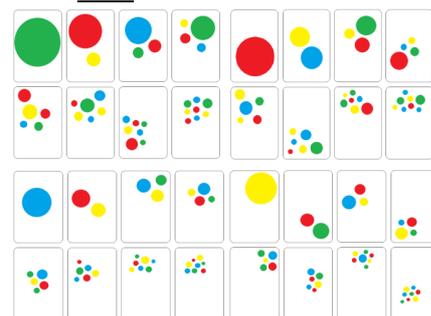
Jeu 4



Jeu 5



Jeu 6



Les tests :

- Dénombrement

Pour ce test,

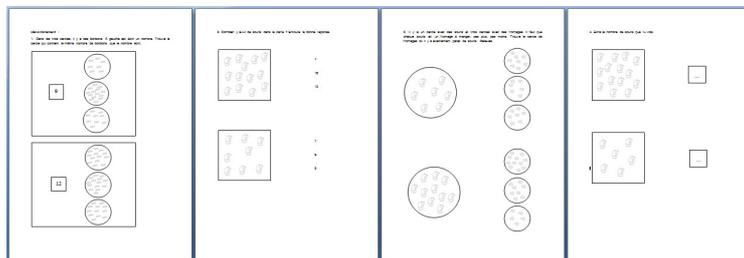
1^{ère} page : Dans les trois cercles, il y a des bonbons. À gauche est écrit un nombre. Trouve le cercle qui contient le même nombre de bonbons que le nombre écrit.

2^e page : Combien y a-t-il de souris dans le carré ? Entoure la bonne réponse.

3^e page : Il y a un cercle avec des souris et trois cercles avec des fromages. Il faut que chaque souris ait un fromage à manger, pas plus, pas moins.

Trouve le cercle de fromages où il y a exactement pareil de souris. Relie-les.

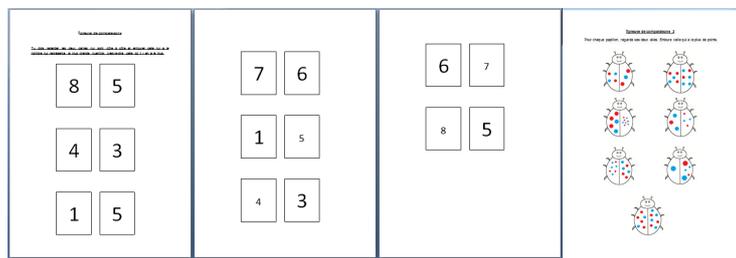
4^e page : Écris le nombre de souris que tu vois.



- Comparaison

Partie 1 : Tu dois regarder les deux cartes qui sont côte à côte et entourer celle qui a le nombre qui représente la plus grande quantité, c'est-à-dire celle où il y en a le plus.

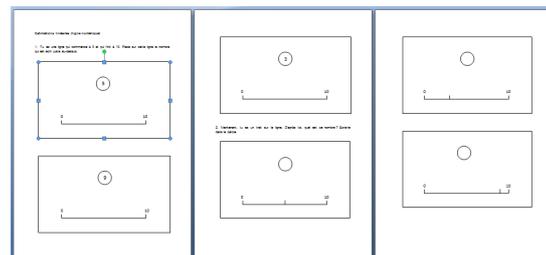
Partie 2 : Pour chaque coccinelle, regarde ses deux ailes. Entoure celle qui a le plus de points.



- Estimation linéaire → ligne numérique

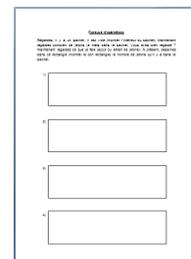
1^{ère} partie : Tu as une ligne qui commence à 0 et qui finit à 10. Place sur cette ligne le nombre qui est écrit juste au-dessus.

2^e partie : Maintenant, tu as un trait sur la ligne. D'après toi, quel est ce nombre ? Écris-le dans le cercle



- **Opérations (test inspiré du Tedi Math)**

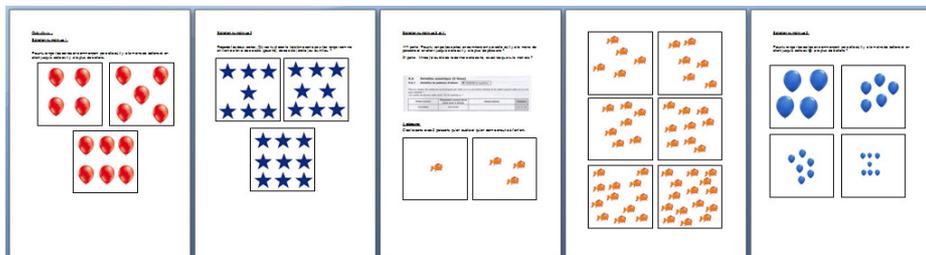
Regardez, il y a un sachet. Il est vide (montrer l'intérieur du sachet). Maintenant regardez combien de jetons je mets dans le sachet. Vous avez bien regardé ? Maintenant regardez ce que je fais (ajout ou retrait de jetons). À présent, dessinez dans ce rectangle (montrer le bon rectangle) le nombre de jetons qu'il y a dans le sachet



- **Sérialisation numérique :**

1. Peux-tu ranger les cartes en commençant par celle où il y a le moins de ballons et en allant jusqu'à celle où il y a le plus de ballons ?

2. Regarde les deux cartes. Où vas-tu placer la troisième carte pour les ranger comme on vient de faire: de ce côté (gauche), de ce côté (droite) ou au milieu ?

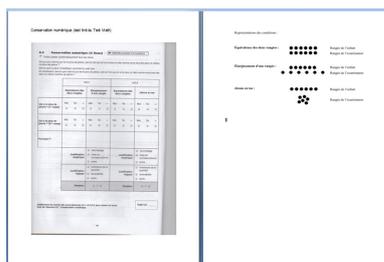


3. Peux-tu ranger les cartes en commençant par celle où il y a le moins de poissons et en allant jusqu'à celle où il y a le plus de poissons ?

4. 2^e partie : Mince j'ai oublié de te donner cette carte, où est-ce que tu la mettrais ?

5. Peux-tu ranger les cartes en commençant par celle où il y a le moins de ballons et en allant jusqu'à celle où il y a le plus de ballons ?

- **Conservation (test inspiré du Tedi Math)**



Organisation pour les jeux de domino et de bataille :

Les dominos sont composés de 6 jeux.

1^{re} semaine : domino 1 → lundi et mardi, domino 2 → jeudi et vendredi

2^e semaine : domino 3 → lundi et mardi, domino 4 → jeudi et vendredi

3^e semaine : domino 5 → lundi et mardi, domino 6 → jeudi et vendredi

Le jeu de bataille est aussi composé de 6 jeux. Il suivra la même organisation que le jeu de domino. Pour plus de précisions, se référer à l'emploi du temps.

Planning (emploi du temps) à consulter sur les feuilles suivantes.

Les épreuves :

- Nous ferons passer les épreuves par groupe de 4 enfants.
- Si possible dans un endroit calme.
- Nous fournissons et faisons passer toutes les épreuves

Les jeux :

- Les groupes de jeu seront composés de 4 enfants, les enfants devront toujours rester dans les mêmes groupes. Pour l'école de Mont St Jean → groupe de 5
- Nous serons dans les écoles 2 fois par semaine (lundi et jeudi) pour présenter le nouveau jeu aux maîtres et maîtresses.
- Les enfants doivent jouer tous les jours environ 10 à 15 min.
- Un horaire fixe serait préférable pour les jeux lors de la période d'entraînement, sous réserve de l'organisation de l'emploi du temps de la classe.
- Pas d'entraînement au jeu le mercredi car certaines écoles sont fermées.
- Tous les jeux seront fournis dès le début de l'entraînement.

Nous aurons 2 classes témoins afin de limiter au maximum les biais.

Planning

Nous voulions procéder ainsi :

Du 1 au 4 septembre : voir les maîtresses/maîtres et leur donner l'autorisation parentale, à faire signer.

Du 7 au 18 septembre : faire connaissance avec les enfants et récupérer les feuilles d'autorisation parentale signées. Faire passer les tests aux enfants.

Du 21 septembre au 9 octobre : entraînements tous les jours avec le 1^{er} jeu, par groupe de 4, environ 10-15 min.

Du 12 au 16 octobre : post-test du milieu.

Du 19 au 30 octobre : vacances de la Toussaint.

Du 2 au 20 novembre : entraînements tous les jours avec le 2^e jeu.

Du 23 au 27 novembre : post-test de fin des entraînements.

Fin janvier/début février : post-test, changer les items des tests est à confirmer. Confirmer la semaine auprès des maîtres/maîtresses.

Emploi du temps

Du Lundi 07/09/2015 au Vendredi 18/09/2015 (sauf les Mercredis) : Test pré-entraînement Présence de Marie et Présence de Marion				
Lundi	21/09/2015	Jeu de bataille 1/ domino 1	Présence de Marie	Présence de Marion
Mardi	22/09/2015	Jeu de bataille 1/ domino 1		
Mercredi	23/09/2015	Repos		
Jeudi	24/09/2015	Jeu de bataille 2/ domino 2	Présence de Marie	Présence de Marion
Vendredi	25/09/2015	Jeu de bataille 2/ domino 2		
Lundi	28/09/2015	Jeu de bataille 3/ domino 3	Présence de Marie	Présence de Marion
Mardi	29/09/2015	Jeu de bataille 3/ domino 3		
Mercredi	30/09/2015	Repos		
Jeudi	01/10/2015	Jeu de bataille 4/ domino 4	Présence de Marie	Présence de Marion
Vendredi	02/10/2015	Jeu de bataille 4/ domino 4		
Lundi	05/10/2015	Jeu de bataille 5/ domino 5	Présence de Marie	Présence de Marion
Mardi	06/10/2015	Jeu de bataille 5/ domino 5		
Mercredi	07/10/2015	Repos		
Jeudi	08/10/2015	Jeu de bataille 6/ domino 6	Présence de Marie	Présence de Marion
Vendredi	09/10/2015	Jeu de bataille 6/ domino 6		
Du Lundi 12/10/2015 au Vendredi 16/10/2015 (sauf Mercredi) : Test du milieu Présence de Marie et Présence de Marion				
Du Samedi 17/10/2015 au Samedi 31/10/2015 : Vacances scolaires				
Lundi	02/11/2015	Jeu de dominos 1/ bataille 1	Présence de Marie	Présence de Marion
Mardi	03/11/2015	Jeu de dominos 1/ bataille 1		
Mercredi	04/11/2015	Repos		
Jeudi	05/11/2015	Jeu de dominos 2/ bataille 2	Présence de Marie	Présence de Marion
Vendredi	06/11/2015	Jeu de dominos 2/ bataille 2		
Lundi	09/11/2015	Jeu de dominos 3/ bataille 3	Présence de Marie	Présence de Marion
Mardi	10/11/2015	Jeu de dominos 3/ bataille 3		
Mercredi	11/11/2015	Repos		
Jeudi	12/11/2015	Jeu de dominos 4/ bataille 4	Présence de Marie	Présence de Marion
Vendredi	13/11/2015	Jeu de dominos 4/ bataille 4		
Lundi	16/11/2015	Jeu de dominos 5/ bataille 5	Présence de Marie	Présence de Marion
Mardi	17/11/2015	Jeu de dominos 5/ bataille 5		
Mercredi	18/11/2015	Repos		
Jeudi	19/11/2015	Jeu de dominos 6/ bataille 6	Présence de Marie	Présence de Marion
Vendredi	20/11/2015	Jeu de dominos 6/ bataille 6		
Du Lundi 23/11/2015 au Vendredi 27/11/2015 (sauf Mercredi) : Post-test immédiat Présence de Marie et Présence de Marion				
De fin janvier 2016 à début février 2016 (sauf les Mercredis) : Post-test différé Présence de Marie et Présence de Marion				

ANNEXE I : Tableau 9

Tableau 9 : Récapitulatif de l'ensemble des résultats avec scores des tests et scores de progression (en gras)

	DENOM		COMP		CONS		LIGNE		OPE		SER	
	Score test		Score test		Score test		Score test		Score test		Score test	
	Moy	ET	Moy	ET	Moy	ET	Moy	ET	Moy	ET	Moy	ET
CONT T1	4,16	2,20	8,78	4,94	1,78	0,95	1,30	1,15	1,92	1,44	1,03	1,34
CONT T2	4,08	1,88	10,46	4,05	1,84	0,92	0,92	0,80	2,51	1,00	1,84	1,26
Score progression	-0,08	1,53	1,68	3,31	0,05	1,03	-0,38	1,01	0,59	1,21	0,81	1,20
CONT T3	4,76	2,33	10,13	4,47	2,00	0,91	0,92	1,06	2,70	1,41	2,00	1,73
Score progression	0,59	2,06	1,35	4,12	0,22	0,95	-0,38	1,19	0,78	1,55	0,97	1,30
CONT T4	5,03	2,03	11,51	3,52	1,90	0,77	1,08	1,01	2,57	1,09	2,24	1,50
Score progression	0,86	1,87	2,73	3,36	0,11	0,94	-0,22	1,40	0,65	1,27	1,22	1,42
BADO T1	3,62	1,93	10,21	3,40	2,00	0,65	1,21	1,50	1,69	1,47	1,07	1,03
BADO T2	4,69	1,95	11,86	2,85	2,34	1,11	0,86	1,03	2,07	1,33	1,59	1,86
Score progression	1,07	1,67	1,66	2,89	0,34	1,01	-0,34	1,32	0,38	1,61	0,52	1,35
BADO T3	5,17	1,93	12,69	3,06	2,55	0,87	1,34	1,26	2,14	1,27	2,07	1,93
Score progression	1,55	1,68	2,48	3,17	0,55	0,99	0,14	1,73	0,45	1,86	1,00	1,60
BADO T4	5,90	1,42	13,24	2,71	2,48	0,99	1,07	1,19	2,58	1,02	2,62	1,90
Score progression	2,28	2,05	3,03	3,53	0,48	1,02	-0,14	1,62	0,90	1,54	1,55	1,62
DOBA T1	3,80	1,58	10,08	3,46	1,72	0,98	0,88	0,73	1,76	0,86	1,48	1,33
DOBA T2	5,04	2,24	12,16	2,64	1,92	0,86	1,40	1,32	2,60	0,96	2,44	1,58
Score progression	1,24	2,44	2,08	2,63	0,20	0,91	0,52	1,19	0,84	0,85	0,96	1,43
DOBA T3	5,16	1,82	12,20	2,94	2,32	0,95	1,16	0,85	3,16	1,07	2,76	1,27
Score progression	1,36	1,78	2,12	2,54	0,60	1,22	0,28	0,84	1,40	1,08	1,28	1,34
DOBA T4	6,20	1,66	12,84	2,58	2,24	1,05	1,76	1,20	3,44	0,65	3,36	1,35
Score progression	2,40	1,83	2,76	2,95	0,52	1,19	0,88	1,39	1,68	1,03	1,88	1,36

ANNEXE J : Tableau 10

Tableau 10 : Comparaison des moyennes des performances des huit enfants en négatif (en gras) par rapport aux huit enfants en positif

	Moyenne des performances T2-T1	Moyenne des performances T3-T1	Moyenne des performances T4-T1	Moyenne générale
Zia	-0,67	0	1,33	0,22
Enzo	1	0,67	1,17	0,94
Morgann	-0,33	-0,50	0,67	-0,06
Nathan	1,17	-1,33	0	0,67
Perrine	-0,33	0,67	1	0,44
Mathias	1,17	1,33	1,17	1,22
Alwena	-0,17	0,67	0,50	0,33
Mattéo	1	1,67	1,33	1,33
Lucie	-0,17	0,50	0,50	0,28
Elise	1	1	0	0,67
Maëna	-0,17	1,50	2,00	1,11
Louka	0,50	1	0,83	0,78
Naomie	-0,17	1,50	1,50	0,94
Kylian	0,50	1,17	1,83	1,17
Raphaël	-0,17	1	0,33	0,39
Léo	2,17	2,83	3,33	2,78

ANNEXE K : Tableau 13

Tableau 13 : Récapitulatif des profils de progression en positif ou négatif à chaque test

	Morgann (BADO)	Erwan (DOBA)	Raphaël (BADO)	Alwena (BADO)	Perrine (BADO)
T2-T1	-	+	-	-	-
T3-T1	-	+	+	+	+
T4-T1	+	-	+	+	+
Progression générale	-	+	+	+	+

ANNEXE L : Tableau 14

Tableau 14 : Comparaison des moyennes des profils des enfants en moins bonne progression par rapport aux moyennes générales des enfants entraînés, pour chaque épreuve

	Moyenne groupes entraînés	Morgann	Erwan	Raphaël	Alwena	Perrine
DENOM	4,95	-	-	+ (5,25)	+ (6)	-
COMP	11,91	-	-	-	-	+ (14,5)
CONS	2,20	-	-	-	+ (2,25)	-
LIGNE	1,21	-	-	-	+ (1,5)	+ (1,5)
OPE	2,43	-	-	-	+ (3,25)	-
SER	2,18	-	-	-	-	+ (2,75)

AMÉLIORER L'ACQUISITION DU NOMBRE DES GSM GRÂCE AUX JEUX DE BATAILLE ET DE DOMINOS

Notre recherche avait pour objectif d'améliorer les compétences arithmétiques des enfants de GSM par la pratique de deux jeux (bataille et dominos) que nous avons créés. Nous cherchions à savoir si cette pratique ludique permettait aux enfants de dissocier le nombre d'objets d'une collection de la surface occupée par cette même collection. Le groupe BADO jouait au jeu de bataille puis au jeu de dominos et inversement pour le groupe DOBA. Les performances de ces enfants entraînés ont été comparées à celles d'un groupe contrôle (CONT) qui suivait les activités scolaires habituelles. Grâce au test ANOVA, la comparaison des performances des trois groupes avant et après les entraînements a permis d'observer chez les enfants entraînés une progression en conservation et l'amélioration des performances en dénombrement par rapport au groupe CONT. Le groupe DOBA a enregistré de meilleures performances au dernier test que le groupe BADO et CONT, ce qui nous laisse supposer une meilleure efficacité de l'entraînement au jeu de dominos puis au jeu de bataille que l'inverse. Cette étude serait à reproduire sur une population plus importante et sur un temps plus long afin de confirmer nos résultats.

Mots-clés : compétences arithmétiques, enfants GSM, entraînements ludiques, conservation, dénombrement.

Our research is aimed at improving the arithmetic skills in kindergarten children with two games - Strip Jack Naked and dominoes – that we have created. We wanted to find out whether these fun activities could enable the children to identify and ungroup a number of objects in a given collection. The BADO group first played the card game and then dominoes and conversely for DOBA group. The performances of these two groups were then compared to those of a control group, the CONT group who had followed their usual school activities. The ANOVA test was then applied to compare the performances of the three groups before and after the above-mentioned activities. BADO and DOBA group showed greater progress in conservation and counting than the CONT group. What is more, the DOBA group performed better in the last ANOVA test than BADO and CONT groups, which indicates that playing dominoes before Strip Jack Naked may be more efficient than playing in the reverse order. To confirm these results it would be necessary to work with a greater number of children and over a longer period of time.

Keywords: arithmetic skills, Kindergarten children, fun activities, conservation, counting.

Nombre de pages : 60 pages rédactionnelles et 20 pages d'annexes

Nombre de références bibliographiques : 76