

IMPACT DE LA PEDAGOGIE MONTESSORI SUR LA CONSTRUCTION DU NOMBRE A L'ECOLE MATERNELLE EN FRANCE : APPROCHE COGNITIVE ET DIDACTIQUE

Accès vidéo Conférence

<https://videos.univ-grenoble-alpes.fr/video/20347-copirelem2021-conference-m-c-croset-m-l-gardes/>

Marie-Caroline CROSET

Prag, UGA

marie-caroline.croset@univ-grenoble-alpes.fr

Marie-Line GARDES

Professeure ordinaire, HEP VAUD

marie-line.gardes@hepl.ch

Résumé

Actuellement en France, l'intérêt pour les pédagogies alternatives et en particulier pour la pédagogie Montessori ne cesse de se développer. En témoignent des rééditions ou traductions des ouvrages de Maria Montessori ou des publications d'enseignants (Morin, 2017; Poussin, 2017). Certains de ces auteurs avancent l'argument des mauvais résultats aux études internationales pour justifier ce regain d'intérêt, en particulier par les enseignants. Du côté de la recherche, peu d'études se sont intéressées aux effets de la pédagogie Montessori sur les apprentissages et certains résultats apparaissent contradictoires (pour une revue, voir (Courtier, 2019; Denervaud et Gentaz, 2015; Marshall, 2017). En 2015, notre équipe a débuté une recherche réunissant enseignants et chercheurs et ayant pour objectif général d'évaluer si l'utilisation de la méthode Montessori dans une école maternelle publique du REP + pouvait avoir des effets bénéfiques sur l'apprentissage des mathématiques. Dans cette conférence, nous présentons les résultats de cette étude. D'une part, nous présentons les analyses didactiques visant à comparer les attendus et les pratiques des deux institutions (Montessori et « conventionnelle »). D'autre part, nous détaillons les résultats de l'étude séquentielle du projet, qui montrent une absence de différences significatives entre les enfants des deux institutions concernant leurs compétences numériques. Nous terminons par des questions de formation des professeurs des écoles, et les apports mutuels des recherches en sciences cognitives et en didactique des mathématiques.

I - INTRODUCTION

En 2015, des enseignants d'une école maternelle de l'enseignement public français appliquant la pédagogie Montessori dans leurs classes sont venus solliciter notre équipe de recherche, Brain, Behavior and Learning¹, de l'Institut des Sciences Cognitives - Marc Jeannerod à Lyon. Soucieux d'évaluer à court et long terme les avantages cognitifs d'une telle pédagogie, ils souhaitaient construire et mettre en place un protocole de recherche pour évaluer les effets de leur enseignement sur les apprentissages. Pour répondre à cette demande, le projet Cogmont a été lancé. Ce projet étudie l'impact de la pédagogie Montessori sur des compétences des enfants français en fin de maternelle (6 ans) ayant suivi la pédagogie pendant toute leur scolarité de maternelle (de 3 à 6 ans).

¹ <https://bbl-lab.fr/fr/>

1 La pédagogie Montessori

La pédagogie Montessori a été développée dans la première moitié du 20^e siècle par un médecin italien, Maria Montessori. Elle a étendu son travail sensori-moteur auprès d'enfants handicapés mentaux aux enfants qui se développaient normalement et qui provenaient de milieux défavorisés. À partir de ses observations, Maria Montessori a proposé des principes régissant le développement de l'enfant. Tout d'abord, l'enfant naît avec un « esprit absorbant » (Montessori, 1959) et une motivation à apprendre. Ensuite, l'enfant passe par des « périodes sensibles » (Montessori, 1936) où il est particulièrement attiré par certains apprentissages spécifiques. Il est réceptif pour les assimiler facilement et rapidement. Enfin, Maria Montessori fait valoir que tous les enfants ne progressent pas au même rythme. Il est donc nécessaire de permettre à ces derniers d'exploiter leurs périodes sensibles au moment opportun. Maria Montessori s'inspire de ces principes pour élaborer sa méthode d'enseignement.

En classe, ces principes impliquent plusieurs spécificités concernant l'environnement offert aux enfants et la posture de l'enseignant. Les classes sont mixtes en termes d'âge (enfants de 3 à 6 ans). Les enfants organisent leur propre emploi du temps quotidien en choisissant leurs activités, le temps qu'ils y consacrent, les personnes avec lesquelles ils travaillent et l'endroit où ils s'assoient. Ils peuvent répéter chaque activité autant de fois qu'ils le souhaitent pendant les trois années d'école. Le matériel utilisé dans ces activités fournit un retour d'information correctif et est en unique exemplaire dans la salle de classe. Ils sont présentés sur de petites étagères dans la classe, regroupés en domaines du programme scolaire, à savoir la vie pratique, les sciences sensorielles, le langage, les mathématiques, la géographie, la biologie, la musique et les arts visuels (Montessori, 1926). Ils sont organisés en fonction de leur niveau de difficulté. L'éducateur présente les activités aux enfants et s'assure que les élèves ne choisissent que des activités dont le niveau de difficulté est approprié. L'enseignant présente une activité en petits groupes ou individuellement à un élève.

Le matériel de mathématiques élaboré par Maria Montessori décompose les concepts en éléments simples et isolés les uns des autres. Chaque matériel est alors inséré dans une progressivité et ne peut être utilisé que si l'élément de concept travaillé précédemment est acquis. Par exemple (cf. Figure 1), le premier matériel, « les barres numériques (1) », permet d'appréhender la notion de quantité avec une grandeur continue, la longueur de la barre. Le second matériel dit des « chiffres rugueux » confronte l'enfant aux symboles de l'écriture chiffrée. Puis, le troisième, « les barres numériques (2) », demande à l'élève d'associer une quantité à un symbole. Ces matériels doivent être proposés dans cet ordre précis. Viennent ensuite des matériels sur la notion de quantité avec des collections discrètes.

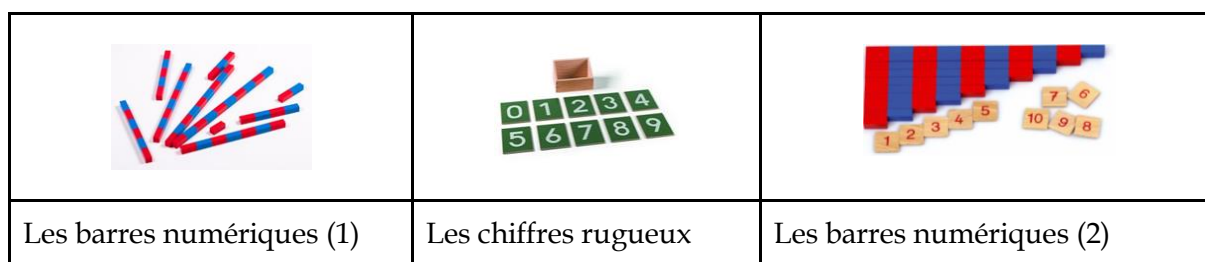


Figure 1. Exemples du matériel de mathématiques Montessori

2 Présentation du projet Cogmont

Selon des études récentes (Courtier, 2019; Denervaud et Gentaz, 2015; Lillard, 2012; Marshall, 2017), les recherches sur l'impact de la pédagogie Montessori sur le développement et les apprentissages sont rares et la plupart ont été réalisées aux États-Unis. Parmi les quelques études existantes, certaines montrent que l'enseignement Montessori donne de meilleurs résultats que d'autres méthodes d'enseignement (par exemple, Besançon et Lubart, 2008; Lillard et al., 2017; Lillard et Else-Quest, 2006; Reed, 2008). D'autres

montrent des résultats similaires ou même en défaveur de l'enseignement Montessori (par exemple, Ansari et Winsler, 2014; Lopata et al., 2005). L'incohérence de ces résultats pourrait être due à des lacunes méthodologiques telles que des variations dans la qualité de la mise en œuvre de la pédagogie Montessori, des groupes contrôles imparfaits ou des échantillons de petite taille.

Le projet Cogmont se distingue des études antérieures pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la plupart des recherches qui étudient l'impact de la pédagogie Montessori expliquent les résultats en s'interrogeant sur les spécificités pédagogiques de cette éducation. Le fait que les classes soient multi-âges ou que les enfants soient libres de leurs choix ou que le matériel proposé soit unique sont autant d'arguments régulièrement invoqués pour expliquer cette pédagogie (Marshall, 2017). Dans ce projet, notre volonté est d'expliquer les résultats, quels qu'ils soient, par un éclairage didactique. Notre équipe intègre des chercheurs en psychologie cognitive et en didactique des mathématiques et cherche à s'enrichir de l'interaction de ces deux communautés. Un travail didactique approfondi a permis de comprendre quels étaient les contenus mathématiques à enseigner dans la pédagogie Montessori. Ce travail sera présenté en section 2 dans ces actes. Ce projet est aussi novateur car il se situe en France et se déroule dans une école publique, dans un environnement éducatif prioritaire. L'étude est de longue durée, les enfants suivant un même type d'enseignement pendant 3 ans. Le groupe témoin et le groupe expérimental sont dans la même école et les enfants ont été répartis au hasard. Cette méthodologie de recherche consiste en une étude transversale, randomisée et contrôlée sur un échantillon d'enfants dans une école maternelle publique de milieu défavorisé. L'ensemble de ces résultats est accessible dans Courtier (2019) et sera présenté dans ces actes en section 3. Enfin, dans un souci de communication pour la Copirelem, nous avons cherché à identifier les apports de notre recherche en formation des enseignants. Ces apports seront présentés en section 4. Nous précisons qu'une partie de cet article a déjà donné lieu à des publications (Courtier et al., 2021 ; Croset et Gardes, 2019, 2020 ; Gardes et Courtier, 2018).

II - ANALYSES DIDACTIQUES

L'objectif des analyses didactiques était de comparer les contenus à enseigner dans le domaine de la construction du nombre des deux institutions : nous distinguons d'une part l'institution « Montessori », et d'autre part l'institution « Conventionnelle ». L'idée est de caractériser ces contenus à enseigner pour comprendre les éventuelles différences des compétences numériques des élèves évalués dans le projet Cogmont.

1 La construction du nombre

Afin de décrire les contenus à enseigner, nous avons construit une organisation mathématique de référence (au sens de Bosch et Gascón, 2005) de la construction du nombre. Nous avons utilisé le modèle T4tel² développé par (Chaachoua, 2020; Chaachoua et Bessot, 2016). Chaachoua propose d'associer à un concept un ensemble de types de tâches génériques (*comparer des nombres*, ou *coder une quantité* par exemple), précisés par une liste de variables (*nature des nombres*, *représentation des nombres*, ...). Chaque variable peut prendre différentes valeurs (la variable *nature des nombres* peut prendre les valeurs *nombres entiers/ décimaux/ rationnels*, la variable *représentation des nombres* les valeurs *code arabe/ code verbal*, ...). L'élaboration de ce modèle de référence repose sur des travaux issus de la didactique des mathématiques (pour une synthèse, voir Margolinas et Wozniak, 2012) et de la psychologie cognitive (pour une synthèse, voir Fayol, 2012). L'objectif est de pouvoir cartographier ce qu'est l'apprentissage du nombre chez un

² « T4 » renvoie au quadruplet praxéologique (Type de tâches, Technique, Technologie, Théorie) issu de la TAD et l'acronyme « Tel » pour Technology Enhanced Learning.

enfant de 3 à 6 ans. Toute la démarche d'élaboration³ de ce modèle de référence est accessible dans Croset et Gardes (2019, 2020) et nous proposons d'en décrire seulement les grandes lignes dans cet article.

Une première question se pose : qu'est-ce que le domaine⁴ « de la construction du nombre » ? Le nombre permet d'exprimer à la fois une quantité d'une collection (3 cubes) et un rang dans une liste (le 3^e cube). Cependant, le nombre peut être aussi présenté comme détaché de situations concrètes. C'est le cas lorsqu'on utilise le code symbolique du nombre que ce soit l'écriture chiffrée 3 ou le code verbal trwa. Adjage (2007, p. 11) écrit sur ce sujet : « *Un objet mathématique [...] est donc un objet « détaché » de l'éventuel contexte physico-empirique qui a pu lui donner naissance : par exemple en passant de 3 élèves, 3 bonbons, 3 images à 3.* ». Rencontrer le nombre sous sa forme décontextualisée peut aider à la construction du concept de nombre (Dillon et al., 2017). Toutefois, dans le domaine qui nous intéresse, même lorsque le nombre est présenté sous une forme « détachée » ou « décontextualisée », il n'y a pas d'enseignement explicite du système de numération : les élèves peuvent travailler différentes représentations du nombre mais il n'y a pas d'enseignement de la correspondance entre la position du chiffre et le nombre de groupements ni de la « grammaire » de l'écriture des nombres. La construction du concept de nombre précède donc les activités de groupements et d'échanges (Margolinas et Wozniak, 2012, p. 112). Ainsi, nous considérons que le domaine de la construction du nombre se décline en trois thèmes d'étude (Croset et Gardes, 2019) : le premier où le nombre permet de mesurer une quantité, le second où le nombre permet d'indiquer une position et le troisième où le nombre est détaché des grandeurs et des unités de mesure.

Le modèle de référence, présenté partiellement en Figure 2, se construit autour de ces trois thèmes d'étude.

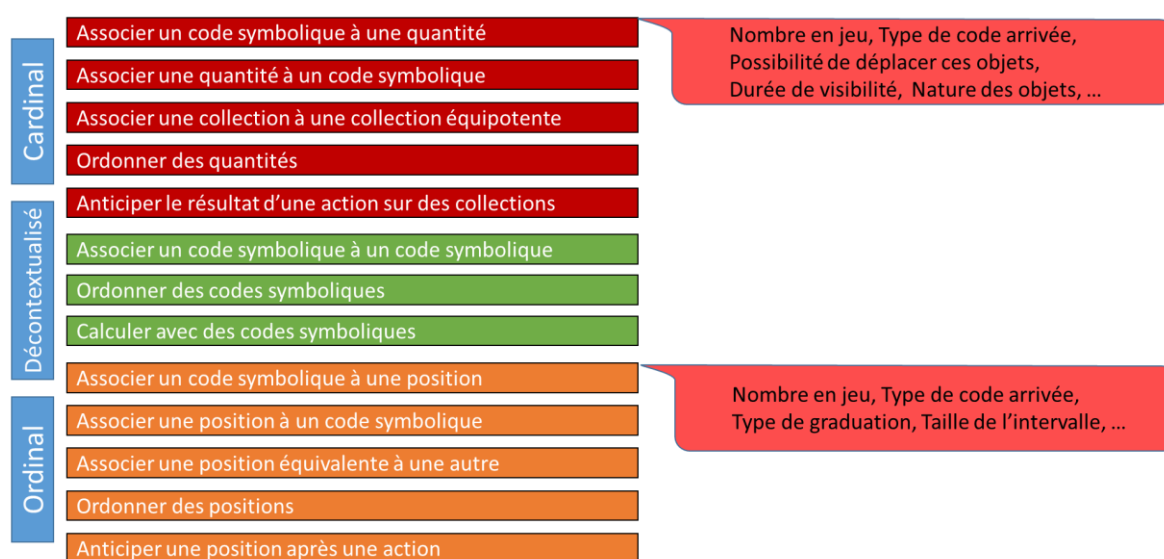


Figure 2. Carte de la construction du nombre (Croset et Gardes, 2020).

À gauche, les trois thèmes du nombre : l'usage cardinal, décontextualisé ou ordinal. Au centre, les treize types de tâches génériques. À droite, deux exemples de variables associées.

³ L'élaboration d'un autre modèle de référence sur les mêmes principes est aussi présentée dans ces mêmes actes (Croset, Soury-Lavergne et Térouanne, 2021).

⁴ Les termes de domaine et de thème d'étude font référence à l'échelle des niveaux de codétermination didactique des travaux de Chevallard mais peuvent aussi être pris au sens commun du terme. La discipline mathématique est divisée en domaine qui lui-même est divisé en secteurs.

À chaque thème sont associés des types de tâches génériques selon le modèle T4tel. Treize types de tâches ont été identifiés. Dans le thème de la quantité, on trouve par exemple le type de tâches qui consiste à associer un code à une quantité. Ce type de tâches regroupe des tâches très diverses telle que la tâche qui consiste à dire combien il y a de jetons dans une collection de 14 jetons alors que le temps d'exposition est illimité ou bien la tâche qui consiste à dire combien il y a de jetons dans cette même collection alors que cette fois-ci, le temps est limité. Dans le premier cas, on peut imaginer que l'élève est amené à dénombrer un par un le nombre de jetons présents. Dans le second cas, la contrainte de durée d'exposition amène l'élève à donner un ordre de grandeur du nombre de jetons. L'association d'un code symbolique à une quantité regroupe donc à la fois des tâches de dénombrement et des tâches d'approximation de quantité. Ces tâches se distingueront par la valeur que prendra la variable « durée de visibilité ». Donnons un autre exemple, celui de son analogue dans le thème « ordinal » : associer un code symbolique à une position. Ce type de tâches regroupe, par exemple, la tâche qui consiste à donner un code exprimant la position de la carte désignée par la flèche dans un ensemble de carte « ordonnées » (Figure 3, à gauche). Ou encore la tâche que l'on trouve actuellement dans les évaluations⁵ de CP qui consiste à exprimer la position d'un carré blanc présent sur une ligne numérique (Figure 3, à droite).

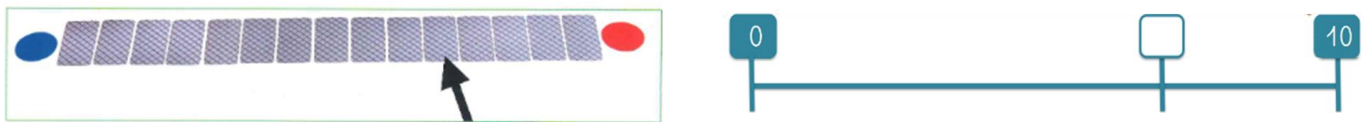


Figure 3. Exemples de tâches relevant de l'association d'un code symbolique à une position.

À gauche, l'élève doit donner un code exprimant la position de la carte désignée par la flèche (extrait de *L'escargot caché*, Maths à grand pas GS, édition Retz, pp.46-48). À droite, l'élève doit trouver le nombre exprimant la position du carré blanc sur la ligne numérique (extrait du site <http://boutdegomme.fr/ateliers-ligne-numerique-cp-et-ce1>).

Ces treize types de tâches caractérisent le domaine mathématique de la construction du nombre. Ils cartographient l'apprentissage de la construction du nombre chez l'enfant. Une fois que ce modèle a été élaboré, il a été exploité pour comparer des contenus à enseigner via des observables.

2 Comparaison des contenus à enseigner des deux institutions via des observables

2.1 Les observables retenus

Les observables disponibles dans chacune des institutions sont de nature différente. Pour l'institution Montessori, nous nous sommes appuyés sur les ateliers de première numération (disponibles sur le site de l'AMI France⁶) et sur un des livres de Maria Montessori (1934) qui explicite les objectifs mathématiques de ces ateliers⁷. Pour l'institution « conventionnelle », nous nous sommes appuyés sur les manuels « Vers les maths » (Duprey et al., 2015, 2016b, 2016a). D'une part, ce sont les documents principaux (au sens de Margolinas et Wozniak, 2009) des enseignants participants au projet Cogmont. D'autre part, ces manuels semblent être une ressource dominante chez les enseignants de maternelle en France. Un questionnaire a été soumis, en 2019, à 270 enseignants de maternelle⁸ : 70% d'entre eux affirment que ce manuel est leur document principal pour préparer leurs séquences de mathématiques.

⁵ Accessible sur cette page : <https://eduscol.education.fr/2295/evaluations-des-acquis-et-besoins-des-eleves-au-cp>

⁶ <file:///Users/p51237/Downloads/Charte%20Etablissements%20Montessori%20France.pdf>

⁷ Nous avons choisi d'introduire cette terminologie « atelier Montessori » pour distinguer le matériel des activités associées à ce matériel. Ces termes ne semblent cependant pas utilisés par les éducateurs et formateurs Montessori.

⁸ Les enseignants étaient issus de différentes académies. Plus de 150 d'entre eux avaient au moins 10 ans d'ancienneté.

Ces documents sont les observables des institutions. Nous les avons analysés avec la praxéologie de référence présentée dans la partie précédente.

2.2 Résultats de la comparaison des contenus

Comparaison des types de tâches

Nous avons analysé chaque tâche proposée dans les observables des deux institutions : chaque tâche a été rattachée à un type de tâches générique et une liste de valeurs de variables lui a été associée. Cette modélisation (Figure 4) permet de répondre à différentes questions : quel type de tâches est privilégié par chacune des institutions ? Y a-t-il des types de tâches jamais proposés ? Un thème d'étude préférentiel ? Environ 10% des tâches relèvent de l'association d'un code à une quantité dans les deux institutions. L'association de quantité à un code est également présente dans les deux institutions (13%). Les observables de l'institution « Conventionnelle » se focalisent sur l'association d'une collection à une collection équipotente (21% des tâches proposées en relèvent) et l'anticipation d'un résultat après une action (26%) tandis que le type dominant dans l'institution « Montessori » est le calcul (près de 40% des tâches proposées aux élèves montessoriens travaillent le calcul). Aucune tâche d'association d'une collection à une collection équipotente n'est proposée dans l'institution « Montessori » et assez peu de tâches de comparaison sont proposées. Enfin, le thème du nombre comme position d'un rang est absent dans l'institution Montessori et peu présent dans les ressources « conventionnelles ».

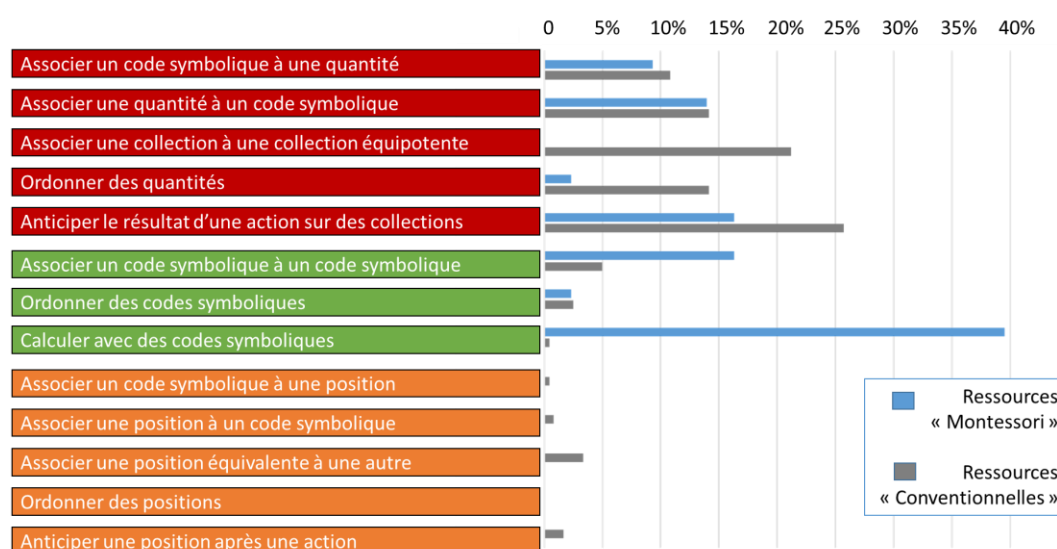


Figure 4. Comparaison praxéologique des observables des institutions « Montessori » et « conventionnelle »

Comparaison des valeurs de variables prises dans les deux institutions

Comme expliqué dans la section précédente, lors de l'élaboration de la praxéologie de référence, une liste de variables a été identifiée. Parfois, il y a des variables communes à différents types de tâches. Par exemple, la variable « nombre » revient systématiquement, ainsi que « représentation du nombre ». Nous pouvons donc étudier ces variables et les valeurs qu'elles prennent transversalement aux types de tâches. Ainsi, si l'on regarde la variable « nombre », une différence apparaît entre les institutions : l'institution « conventionnelle » propose de travailler l'intervalle [1 ; 3] pendant plus de 5 périodes⁹, puis l'intervalle [1 ; 5] puis tardivement, l'intervalle [1 ; 10]. Dans l'institution « Montessori », la majorité des ateliers

⁹ Une période correspond à l'intervalle de temps d'enseignement entre deux vacances scolaires, en France. En moyenne, une période dure 6 semaines. L'année scolaire est découpée en 5 périodes.

travaillent l'ensemble $[0 ; 10]$ (seulement quelques-uns portent sur l'intervalle $[1 ; 10]$). Ainsi, contrairement à l'institution Montessori, les ressources « conventionnelles » proposent un découpage des valeurs numériques selon les années de l'école et ne proposent pas de travail spécifique sur le zéro (ni en lien avec la quantité nulle ni son code symbolique).

Une autre variable peut être étudiée : celle qui relève de la dialectique outil/objet (Douady, 1986). Dans les tâches proposées, le nombre est-il outil de résolution ou objet d'étude ? Comme illustré sur la Figure 5, l'institution « Conventionnelle » propose davantage le nombre dans sa dimension outil tandis que l'institution « Montessori » propose davantage le nombre dans sa dimension objet.

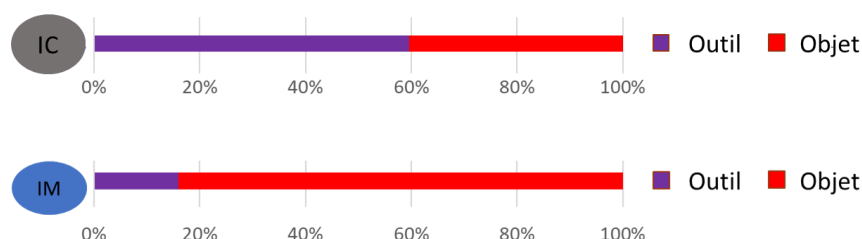


Figure 5. Répartition des tâches qui permettent de travailler le nombre comme outil de résolution et des tâches où le nombre est objet d'étude. IC pour institution conventionnelle et IM pour institution Montessori.

La carte des connaissances de la construction du nombre, notre modèle de référence, s'appuie sur des travaux issus de deux communautés complémentaires : celle de la didactique des mathématiques et celle des sciences cognitives. La superposition de ces travaux permet de mieux couvrir le domaine de la construction du nombre. Situer dans ce modèle les attendus des deux institutions identifie les manques et les points forts de ces institutions, comme nous venons de le présenter. Ce travail doit néanmoins être poursuivi pour déterminer les praxéologies complètes, en particulier, dans l'identification des technologies¹⁰ : une tâche est accomplie par une technique qui se justifie, s'explique par une technologie. Or, la technologie peut être dépendante d'une institution (Chevallard, 1998). En étant à cheval sur deux communautés scientifiques, en essayant aussi de couvrir deux pédagogies distinctes, il se peut qu'on se confronte à un exercice difficile : celui d'explicitier les éléments technologiques d'une tâche. En effet ces éléments pourraient être distincts d'une communauté à une autre et d'une pédagogie à une autre. Cette difficulté doit être, cependant, surmonter pour lier connaissance visée et tâche réalisée, autrement dit qu'une tâche permette bien l'émergence ou l'évaluation de telle connaissance.

III - ETUDE RANDOMISEE

1 Etat de l'art des études d'impact de l'éducation Montessori sur les apprentissages mathématiques

À notre connaissance, trois études ont spécifiquement comparé les performances en mathématiques¹¹ des enfants de 3 à 6 ans suivant une éducation Montessori à celles des enfants de même âge suivant une éducation conventionnelle. Leurs résultats sont mitigés (Laski et al., 2016; Lillard et Else-Quest, 2006; Wexley et al., 1974). En 1974, Wexley et ses collègues ont comparé des enfants défavorisés de 3 à 5 ans

¹⁰ Dans la Théorie Anthropologique du Didactique, la technologie est un discours rationnel sur la technique utilisée pour accomplir une tâche. Cette technologie justifie « rationnellement » la technique.

¹¹ D'autres études ont été menées mais les mathématiques ont été regroupées à d'autres compétences académiques lors des résultats et de leurs analyses, par exemple (Lillard et al., 2017).

dans un programme Montessori et dans un programme conventionnel de garderie, appariés en termes d'âge, de sexe, de race, de statut socio-économique et du nombre de parents vivant dans le ménage. Ils ont également comparé ces deux groupes à deux groupes témoins d'enfants sans enseignement scolaire, issus de quartiers défavorisés et favorisés. Ils ont utilisé le test arithmétique de l'échelle d'intelligence préscolaire de Wechsler (ainsi que d'autres tests évaluant d'autres aspects du développement cognitif). Cette étude a montré que les élèves montessoriens de la maternelle avaient de meilleurs résultats en arithmétique que le groupe contrôle, sans enseignement, de milieu défavorisé. En revanche, ils ne différaient pas des enfants du programme de garderie ni même du groupe contrôle, sans enseignement, de milieu favorisé. En 2006, Lillard et Else-Quest ont mené une évaluation de la méthode Montessori en utilisant un système de loterie scolaire. Tous les parents participant à cette loterie étaient volontaires pour que leur enfant suive un enseignement Montessori. Les familles qui n'étaient pas tirées au sort rejoignaient d'autres systèmes éducatifs et étaient affectés au groupe contrôle. Au total, 112 enfants américains de deux groupes d'âge - 5 et 12 ans - ont été comparés sur une série de mesures cognitives. Pour la mesure mathématique, ils ont utilisé le sous-test Applied Problems du Woodcock-Johnson III (Woodcock et al., 2001). Une différence significative en faveur du groupe Montessori a été constatée pour les enfants de 5 ans mais pas pour ceux de 12 ans. En 2008, Reed compare les performances en calcul et connaissance du système décimal chez des élèves de CP, CE1 et CE2 (élèves de 6 à 9 ans) en écoles Montessori ou conventionnelles. Sur les deux tâches portant sur le système décimal, les élèves en classes Montessori réussissaient mieux que les élèves en classes conventionnelles, en particulier au CP (71% de réussite chez les élèves Montessori, contre 13% de réussite chez les élèves en classes conventionnelles dans une des tâches). Dans les tâches d'additions à effectuer en ligne, les élèves des écoles Montessori présentaient des procédures plus sophistiquées, en particulier en CE2. Aucune différence significative n'a été obtenue sur les additions posées en colonne. L'auteure interprète ces résultats en invoquant une capacité à mobiliser des procédures d'ordre conceptuel plus importante chez les élèves ayant suivi une pédagogie Montessori. Plus récemment, Laski et ses collègues (2016) ont également obtenu des résultats relativement similaires. Ils ont réalisé une évaluation longitudinale des connaissances du système décimal et de l'arithmétique chez 150 enfants issus d'écoles Montessori et non Montessori. Les enfants ont été testés une première fois (temps 1) en fin de maternelle (5-6 ans), pour une première cohorte et en CP (6-7 ans), pour une seconde cohorte. Puis, ces mêmes élèves ont été testés deux ans plus tard (temps 2), soit en CE1 (7-8 ans) pour la première cohorte et en CE2 (8-9 ans) pour la seconde cohorte. Au temps 1, les élèves ont été testés sur leur compréhension du système décimal et leurs performances en calculs additifs tandis qu'au temps 2, ils ont été évalués sur des comparaisons de nombres en écriture chiffrée et en résolution de problèmes arithmétiques. Les auteurs ont constaté qu'au temps 1, les enfants des écoles Montessori avaient de meilleurs résultats sur la tâche de compréhension du système décimal, mais aucune différence n'a été constatée deux ans plus tard.

En conclusion, ces études semblent éventuellement montrer une supériorité de l'éducation Montessori par rapport à une éducation conventionnelle pour les compétences en mathématiques au début de l'école primaire. Toutefois, ces résultats doivent être interprétés avec prudence car ils sont peu nombreux et ils présentent plusieurs limites méthodologiques : par exemple, il n'y a pas d'affectation aléatoire des enfants dans les groupes expérimentaux et les groupes contrôles et/ou pas de scores de base ou encore, il n'y a pas eu de précision sur la fidélité d'application de la pédagogie Montessori dans les écoles participantes aux études. De plus, les discussions ont tendance à généraliser des résultats obtenus pourtant sur des mesures limitées de compétences en mathématiques. Nous reviendrons sur ce point dans la discussion.

2 Méthode

2.1 Participants et procédure

L'école est située dans un quartier défavorisé (REP+). Il y a deux types de classes dans l'école : trois classes Montessori triple niveau et six classes conventionnelles de niveau simple ou double. Les enfants ont été assignés au hasard à ces classes par les enseignants lors de leur inscription à l'école.

Pour l'étude transversale, nous avons évalué 131 enfants français de la même école maternelle publique : 53 enfants avaient suivi la pédagogie Montessori (dont 27 filles) et 78 enfants contrôles (dont 40 filles) avaient suivi une pédagogie conventionnelle. Ils ont été testés à la fin de l'école maternelle, après trois années d'un seul type d'enseignement (conventionnel vs. Montessori). Trois cohortes d'élèves ont contribué à cette étude : ceux sortant de l'école maternelle en 2017, en 2018 et en 2019 (Figure 6). Les élèves en classes Montessori avaient en moyenne 5,94 ans (Standard deviation, SD = 0,28) et les élèves en classes Conventionnelle en moyenne 5,98 ans (SD = 0,29).

Pour l'étude longitudinale, nous avons évalué 70 enfants français de la même école : 33 enfants avaient suivi la pédagogie Montessori (dont 19 filles) et 37 enfants contrôles (dont 20 filles) avaient suivi une pédagogie conventionnelle. Ils ont été testés à l'entrée et à la fin de l'école maternelle, après trois années d'un seul type d'enseignement (conventionnel vs. Montessori). Deux cohortes d'élèves ont contribué à cette étude : ceux entrant à l'école maternelle en septembre 2015 (et sortant en juin 2018) et ceux entrant en septembre 2016 (et sortant en juin 2019) (cf. Figure 6). Lors des expérimentations en début de PSM, les élèves en classes Montessori avaient en moyenne 3,34 ans (SD= 0,27) et les élèves en classes Conventionnelle avaient en moyenne 3,36 ans (SD= 0,34). Les deux groupes ne différaient donc pas en âge

Les élèves ont été testés individuellement. Les mêmes tests ont été utilisés à l'entrée à l'école maternelle, en PSM et à la sortie de l'école, en GSM (pour plus de détail, voir Courtier, 2019).

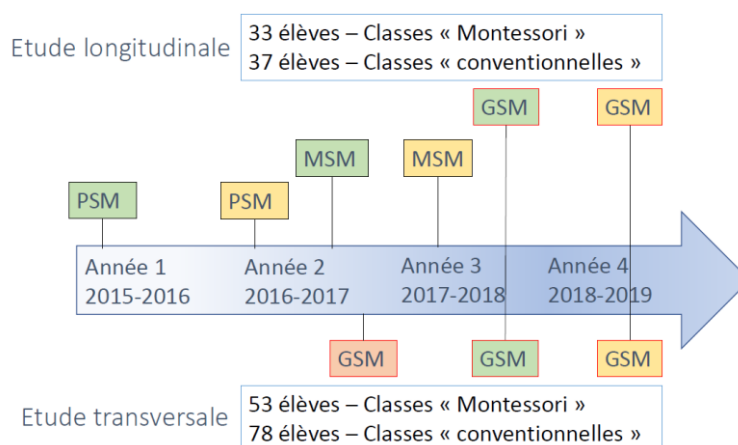


Figure 6. Participants à l'étude longitudinale et transversale. Deux cohortes ont contribué à l'étude longitudinale : les élèves entrant en 2015 et en 2016. Trois cohortes ont contribué à l'étude transversale : les élèves sortant en 2017, 2018 et 2019.

2.2 Mesures

Sur la base du modèle de référence des connaissances en jeu pour construire le nombre en maternelle (Figure 2), nous avons conçu un test, appelé *test diagnostique didactique en mathématiques*, pour évaluer les attendus de l'école maternelle publique. Une première tâche, prérequis du dénombrement, consistait à réciter la comptine numérique aussi loin que l'élève pouvait (T1). Cette tâche est une variable continue contrairement aux autres tâches présentées ci-dessous.

Sept autres types de tâches ont été choisis, parmi les treize présentés en Figure 2. Les types de tâches de comparaison et d'anticipation de positions ou de calculs de nombres décontextualisés n'ont pas été retenus, étant en dehors des attendus fixés par l'éducation nationale française (MEN, 2015). Les tâches de ce test sont des tâches concrètes, utilisant des jetons que les enfants peuvent manipuler. Nous les présentons ci-dessous en précisant entre crochets à quel élément de la praxéologie de référence, elles se réfèrent (Figure 2).

- Déterminer le cardinal d'une collection donnée (T2), Construire une collection d'un cardinal donné (T3) [Associer un code symbolique à une quantité, usage cardinal]
- Résoudre des problèmes arithmétiques simples (d'ajout et de retrait d'objets dans une collection) (T4) [Anticiper le résultat d'une action sur des quantités, usage cardinal]
- Construire une collection de même cardinal qu'une collection éloignée (T5) [Associer une quantité à un quantité de même cardinal, usage cardinal]
- Comparer le cardinal de deux collections (T6), [Ordonner des quantités, usage cardinal]
- Nommer les nombres écrits en chiffre (T7) [Associer un code symbolique à un code symbolique, usage décontextualisé]
- Nommer une position (T8) [Associer un code symbolique à une position, usage ordinal]
- Reproduire la position équivalente à celle donnée (T9) [Associer une position équivalente à une autre, usage ordinal]

Pour les tâches T2, T3, T4, T5, T6 et T9 nous avons proposé différents sous-tests avec des niveaux de difficulté croissants. Par exemple, pour T2, les enfants doivent d'abord reconnaître le cardinal d'une collection de 3 jetons, puis de 7 et enfin d'une collection de 11 jetons. À la fin de ces trois sous-tâches, le score des enfants pour T2 peut varier de 0 à 3 en fonction de leur réussite. Ce score a ensuite été ramené sur 1 pour chaque tâche. Au total, les enfants ont été testés sur 33 sous-tâches réparties en huit tâches, obtenant un score entre 0 et 8.

En plus de ce test conçu pour l'expérimentation, les élèves ont été évalués avec le sous-test Applied Problems, traduit en français, du Woodcock-Johnson III (WJ-III) (Woodcock et al., 2001). Ce test est composé de 63 items à difficulté croissante et avec un critère d'arrêt après six erreurs consécutives. Ce test a été choisi car il a été utilisé par Lillard et Else-Quest (2006). Un extrait est présenté en Figure 7. Il permet d'évaluer des compétences mathématiques, de l'école maternelle à la fin du secondaire. Dans les premiers items, sont évaluées principalement des compétences en dénombrement et en résolution de problèmes additifs et soustractifs.

13		Si l'homme du haut saute, combien d'hommes reste-t-il ?	
14		Si tu enlèves deux boutons, combien de boutons te reste-t-il ?	
15		Si Jessica mange trois de ces biscuits, combien de biscuits reste-t-il ?	
16		Si tu enlèves 3 crayons, combien t'en reste-t-il ?	
17		Si tu as deux livres et tu en prends deux de plus, combien de livres as-tu ?	
18		Si les deux boîtes du dessus étaient enlevées, combien de boîtes resterait-il dans la pile ?	

Figure 7. Sous-test Applied Problems du Woodcock-Johnson III (WJ-III) (Woodcock et al., 2001)

3 Résultats

3.1 Test Applied Problems

Pour l'étude longitudinale, 31 élèves en classes Montessori et 33 élèves en classes conventionnelles ont été testés avec le test Applied Problems (Figure 8). En PSM, les élèves du groupe Montessori ont obtenu un score moyen de 3,84 (SD= 3,21) et les élèves du groupe Conventionnel ont obtenus un score

moyen de 5 (SD = 3,67). En GSM, les élèves du groupe Montessori ont obtenu un score moyen de 17,16 (SD = 3,06) et les élèves du groupe Conventionnel ont obtenus un score moyen de 17,70 (SD = 3,72). L'analyse de l'interaction entre le type de pédagogie et le niveau a révélé un niveau de preuve anecdotique ne permettant pas de conclure en faveur de l'absence ou de la présence de différence de progrès entre les deux groupes, $F(2, 124) = 2,97$; $p = 0,06$; $\eta^2_p = 0,05$; $BF_{10} = 1,05$.

Pour l'étude transversale, 53 élèves en classes Montessori et 77 élèves en classes conventionnelles ont été testés avec le test Applied Problems. Les élèves suivant une pédagogie Montessori ont obtenu un score moyen de 16,74 (SD = 3,14) et les élèves suivant une pédagogie conventionnelle ont obtenu un score moyen de 16,66 (SD = 3,67). Le test t de Student a révélé un niveau de preuve modéré en faveur de l'absence de différence entre ces moyennes¹² $t(128) = 0,12$; $p = 0,91$; $d = 0,02$; $BF_{01} = 5,26$ (Figure 8).

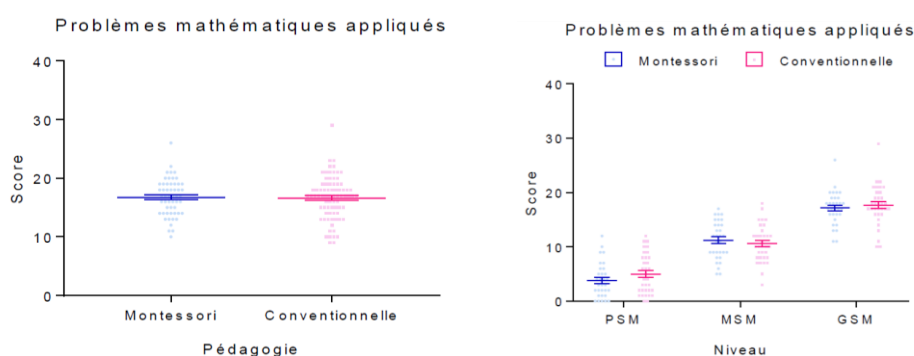


Figure 8. Score sur 63 au test Applied Problems pour chaque pédagogie. A gauche, les résultats de l'étude transversale. A droite, les résultats de l'étude longitudinale.

3.2 Test diagnostique didactique en mathématiques

En ce qui concerne l'étude longitudinale, 30 élèves en classes Montessori et 35 élèves en classes conventionnelles ont été testés avec le test didactique. En PSM, les élèves du groupe Montessori ont obtenu un score moyen de 1,26 (SD = 0,78) et les élèves du groupe Conventionnel ont obtenus un score moyen de 1,15 (SD = 0,96). En GSM, les élèves du groupe Montessori ont obtenu un score moyen de 6,38 (SD = 1,29) et les élèves du groupe Conventionnel ont obtenus un score moyen de 6,99 (SD = 1,14). L'analyse de l'interaction entre le type de pédagogie et le niveau a révélé, à nouveau, un niveau de preuve anecdotique ne permettant pas de conclure en faveur de l'absence ou de la présence de différence de progrès entre les deux groupes, $F(2, 126) = 3,73$; $p = 0,03$; $\eta^2_p = 0,06$; $BF_{10} = 1,44$ (Figure 9).

¹² Les données ont été analysées avec des statistiques fréquentistes (tests t ou χ^2) et bayésiennes. Les résultats des tests fréquentistes ont été interprétés comme étant significatifs lorsque la valeur du p était inférieure à 0,05. La taille de l'effet est quantifiée à l'aide de d de Cohen. Les statistiques bayésiennes permettent d'estimer la force de la preuve (i.e. le facteur Bayes, BF) en faveur de l'hypothèse alternative d'une différence entre les groupes (H1) par rapport à l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les groupes (H0) pour chaque test. Pour plus de précisions sur les tests statistiques utilisés, voir (Howell, 2008).

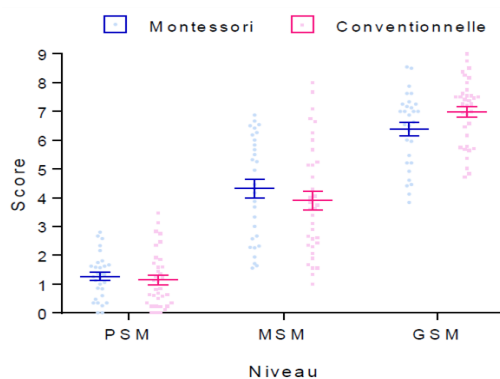


Figure 9. Scores obtenus sur l'étude longitudinale au test diagnostique didactique en mathématiques.

Pour l'étude transversale, 52 élèves en classes Montessori et 76 élèves en classes conventionnelles ont été testés avec le test diagnostique didactique en mathématiques. Concernant la tâche 1, évaluant le niveau de connaissance stable de la comptine numérique, la moyenne était 46,38 (SD = 44,73) pour les élèves du groupe Montessori et 50,08 (SD = 113,84) pour les élèves du groupe Conventiennelle. Le test t de Student a révélé un niveau de preuve modéré en faveur de l'absence de différence entre les groupes $t(126) = -0,22$; $p = 0,82$; $d = -0,04$; $BF01 = 5$.

Concernant l'étude transversale, le total (sur 8) de réussite aux tâches 2 à 9, le groupe Montessori a obtenu un score moyen de 5,82 (SD = 1,17) tandis que le groupe conventionnel a obtenu un score moyen de 6,08 (SD = 1,11). Le test t de Student indique un niveau de preuve anecdotique qui ne permet donc pas de conclure à la présence ou l'absence d'une différence entre les deux groupes $t(126) = -1,27$; $p = 0,07$; $d = -0,23$; $BF01 = 2,5$.

Les résultats à chaque tâche ayant contribué au score total, c'est à dire les résultats aux tâches T2 à T9, sont présentés séparément dans la table ci-dessous (Figure 10).

Tâche	Moyenne		Test fréquentiste	BF
	Montessori	Conventionnel		
T2	0.79 (0.27)	0.78 (0.26)	$t(126) = 0,30$; $p = 0,77$; $d = 0,05$	$BF01 = 5$
T3	0.84 (0.29)	0.87 (0.26)	$t(126) = -0,78$; $p = 0,44$; $d = -0,14$	$BF01 = 4$
T4	0.73 (0.29)	0.71 (0.29)	$t(126) = 0,32$; $p = 0,75$; $d = 0,06$	$BF01 = 5$
T5	0.26 (0.36)	0.35 (0.38)	$t(126) = -1,32$; $p = 0,19$; $d = -0,24$	$BF01 = 2,38$
T6	0.95 (0.15)	0.97 (0.12)	$t(126) = -0,62$; $p = 0,53$; $d = -0,11$	$BF01 = 4,35$
T7	0,98 (0,12)	0,97 (0,10)	$t(126) = 0,51$; $p = 0,61$; $d = 0,09$	$BF01 = 4,55$
T8	81%	86%	$\chi^2(1 ; N = 128) = 0,51$; $p = 0,48$	$BF01 = 2,44$
T9	0,46 (0,33)	0,57 (0,31)	$t(126) = -1,92$; $p = 0,06$; $d = -0,35$	$BF10 = 1,01$

Figure 10. Résultats tâche par tâche

En résumé, les tests t de Student ou de χ^2 ont révélé un niveau de preuve modéré en faveur de l'absence de différence entre ces moyennes pour les tâches 2, 3, 4, 6 et 7. En revanche, les tests t de Student ou de χ^2

indiquaient un niveau de preuve anecdotique qui ne permet donc pas de conclure à la présence ou l'absence d'une différence entre les deux groupes pour les tâches 5, 8 et 9.

4 Discussion

Les résultats de l'étude longitudinale et transversale montrent que les élèves des deux institutions réussissent aussi bien sur l'ensemble des compétences mathématiques évaluées. Il est intéressant de noter que les élèves de l'institution Montessori réussissent aussi bien que les élèves des classes conventionnelles sur des tâches qu'ils ne travaillent pas ou très peu (cf. section II), comme par exemple l'association d'une collection à une collection équipotente (T5) ou associer une position équivalente à une autre (T9). De plus, les élèves des deux institutions semblent en difficultés sur ces tâches (environ 35% de réussite pour T5 et environ 57% de réussite pour T9). Cela pose une question au niveau didactique : les enseignements sont différents et diffèrent *a priori* sur plusieurs types de tâches mathématiques mais cela n'aurait pas d'impact sur les apprentissages ?

Pour répondre à cette question, il semble nécessaire de poursuivre les recherches, notamment en prenant en compte certaines limites du projet Cogmont. Une première limite est celle des tests utilisés pour évaluer les compétences numériques des enfants. Le test diagnostique didactique des mathématiques permet de mesurer la réussite des élèves sur les compétences attendues à la fin de l'école maternelle mais ne permet pas d'évaluer des attendus qui relèveraient de l'école élémentaire. Or, dans l'institution Montessori, les analyses didactiques mettent en évidence une prédominance du genre de tâche *Calculer* (cf. Figure 4) qui n'était pas évalué avec ce test. De plus, un travail sur le système décimal est déjà engagé en maternelle dans les classes montessoriennes (Montessori, 1934), lui aussi non mesuré. Ainsi proposer un test qui mesure des compétences numériques au-delà des attendus de l'école maternelle serait pertinent et révélerait peut-être des différences sur des types de tâches spécifiques de la pédagogie Montessori. Une seconde limite concerne le recueil limité de données qualitatives permettant d'avoir accès aux contenus mathématiques réellement enseignés en classe dans les deux institutions. Afin de nous assurer de la fidélité d'implémentation de la pédagogie Montessori dans les classes montessoriennes de l'étude (et inversement de la non implémentation de cette pédagogie dans les classes conventionnelles), nous avons mené de nombreuses observations en classe. Pour cela, une grille d'évaluation de la fidélité de l'implémentation de la pédagogie Montessori (Courtier, 2019) a été construite et utilisée. Elle comporte quatre catégories d'éléments à observer : l'organisation du temps, l'organisation de l'espace, le matériel didactique disponible, le rôle de l'enseignant. De plus, les activités des élèves sont observées et décrites sur une période d'une dizaine de minutes. Ce recueil de données qualitatives nous a permis, par exemple, de confirmer que le type de tâche associer une collection à une collection équipotente est bien absente des apprentissages dans les classes montessoriennes (y compris dans les apprentissages plus informels comme le moment du dressage de la table pour le déjeuner). Cependant, nous n'avons pas suffisamment de données nous permettant de savoir si tous types de tâches sont réellement enseignés en classe et surtout comment ils sont enseignés. Il y a donc ici la nécessité d'aller observer les pratiques, dans ces deux institutions, sur de longues périodes d'enseignement afin d'affiner les analyses didactiques par l'analyse des contenus enseignés. Cela permettrait de mieux choisir et construire les tests pour les mesures d'une part, et de mieux comprendre et interpréter les résultats obtenus d'autre part.

IV - TRANSPOSITION DE CETTE RECHERCHE A LA FORMATION

Nous avons été amenées à exploiter ces résultats de recherche en formation et nous présentons ci-dessous la transposition de nos résultats de recherche à la formation. Trois grands apports se dégagent. L'un concerne la connaissance que nous avons acquise de la pédagogie Montessori en général, le second autour de l'utilisation de la carte des connaissances en jeu pour construire le nombre, le troisième autour des ressources analysées.

1 À propos de la pédagogie Montessori à l'école maternelle

Cette étude montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes d'élèves de fin de maternelle ayant suivi une pédagogie Montessori pour les uns et une pédagogie conventionnelle pour les autres. Les spécificités de cette recherche peuvent expliquer que les résultats ne soient pas en cohérence avec certaines recherches. En particulier, cette étude a l'originalité d'avoir été menée avec une répartition aléatoire des élèves dans les classes à l'entrée de la maternelle et dans une école publique française en milieu défavorisé. Face à l'engouement actuel pour les pédagogies alternatives, en particulier en France où certains éducateurs très médiatisés véhiculent l'idée d'une meilleure efficacité de la pédagogie Montessori pour les premiers apprentissages (De Cock, 2017), les résultats du projet Cogmont permettent de relativiser l'utilisation, parfois aveugle ou approximative, de cette pédagogie. À l'inverse, les résultats obtenus montrent aussi qu'il n'y a pas non plus de raison de proscrire cette pédagogie. Dans le domaine de la construction du nombre et avec les limites décrites en section III, la pédagogie Montessori semble aussi efficace que la pédagogie conventionnelle.

Lorsqu'un formateur observe des classes s'inscrivant dans la pédagogie Montessori, il peut, cependant, être vigilant sur certains points révélés par l'étude didactique. Par exemple, le formateur pourra être vigilant sur l'absence de tâches de construction de collection équipotente, de travail sur la position ainsi que le peu de tâches où le nombre est outil de résolution de problèmes. À l'inverse, il pourra s'appuyer sur un travail systématique sur la fonction successeur (Schneider et al., 2021), sur la mise en relation des nombres de 0 à 10 et la présence d'un travail du nombre zéro.

2 À propos de l'utilisation du modèle de référence

Nous avons présenté le modèle de référence (Figure 2) en formation continue sous la forme d'une carte (Figure 11).

	<i>Usage cardinal</i>	<i>Usage ordinal</i>	<i>Décontextualisé</i>
Coder Décoder	Quantité → Code Code → Quantité	Position → Code Code → Position	
Associer	Quantité → Quantité	Position → Position	Code → Code
Comparer Ordonner	Quantités	Positions	Codes
Anticiper	Une quantité après une action	Une position après une action	Calculer avec des codes

Figure 11 – Carte des connaissances pour la construction du nombre

Son aspect simplifié et organisé sécurise les enseignants en faisant ressortir un nombre limité de types de tâches. La discussion entre formateur et enseignant a été facilitée par cet outil commun. Cette carte a servi au formateur à l'observation de séances de classe pour identifier ce que les élèves travaillent réellement. Du côté de l'enseignant, il a été amené à compléter et choisir des situations sur ce qu'il identifiait être peu présent dans sa pratique. Enfin, cet outil a pu aider à l'analyse *a priori* d'une situation : en faisant la démarche de situer une situation dans le modèle, l'objectif visé est questionné voire requestionné (dans le cas, où la situation est issue d'une ressource affichant un objectif).

Nous avons également utilisé cette carte en formation pour analyser des ressources (documents institutionnels, manuels, etc.). En effet, situer une ressource dans cette carte permet aux enseignants, d'une part d'en identifier les manques éventuels, et d'autre part de se l'approprier. Outre les ressources des institutions Montessori ou conventionnelles (Croset et Gardes, 2020), nous avons situé dans cette carte les nouveaux Moyens d'Enseignement Romands (Gardes et al., 2021) ou encore la mallette Maternelle¹³ (Croset et Gardes, 2020). L'aspect épuré et structuré de la carte a permis aux enseignants de s'en emparer facilement et de réussir à dégager les principaux types de tâches travaillés dans les situations sélectionnées.

3 À propos de ressources utilisées à l'école maternelle

L'analyse des ressources et les observations de classes guidées par le modèle de référence nous ont permis d'avoir une meilleure connaissance de la ressource *Vers les maths* très utilisée tant par les enseignants stagiaires que par des enseignants titulaires ainsi qu'une meilleure connaissance de la pédagogie Montessori. Des éléments quantitatifs ont émergé. Sur le domaine de la construction du nombre, le manuel *Vers les maths* propose 241 tâches à l'enseignant étalées sur 15 périodes d'enseignement tandis que 43 tâches sont préconisées dans la pédagogie Montessori étalées sur 8 périodes d'enseignement. Le manuel propose donc en moyenne 16 tâches par période contre 5 tâches dans la pédagogie Montessori. La diversité des tâches dans le manuel *Vers les maths* demande à l'enseignant de repérer les tâches relevant d'un même type et répondant donc à un même objectif d'apprentissage. Cela lui demande aussi d'être très explicite auprès de ses élèves sur l'apprentissage commun visé par ces différentes tâches. De par la diversité des tâches, le manuel *Vers les maths* balaye des contextes. Le matériel utilisé est principalement des objets du monde, c'est à dire des objets présents « à l'école et hors de l'école et qui de ce fait évoquent pour l'élève les affects et les usages qu'il connaît déjà » (Margolinas et Laparra, 2017, p. 169). Or le recours à ces objets communs peut avoir un impact sur les apprentissages (Carbonneau et al., 2013). Enfin, la présence de situations où le nombre est outil de résolution de problèmes est une particularité du manuel qui ne se retrouve pas dans la pédagogie Montessori.

V - CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cette communication, nous avons plusieurs objectifs. Le premier portait sur des analyses didactiques menées dans le cadre du projet Cogmont. Ce projet vise à étudier l'impact de la pédagogie Montessori sur les apprentissages en maternelle. De nombreuses études ont eu lieu autour de l'impact de la pédagogie Montessori et les analyses se placent souvent au niveau de la pédagogie comme le décrit Marshall (2017). Dans ce projet, nous avons donc souhaité nous placer au niveau de la discipline, au sens de l'échelle de co-détermination développée par Chevallard (2010) en apportant un regard didactique sur cette pédagogie. C'est pourquoi nous avons élaboré un modèle de référence du domaine de la construction du nombre afin de modéliser des ressources de la pédagogie Montessori et de la pédagogie plus « conventionnelle ». Ces ressources sont considérées comme des observables pertinents des institutions Montessori et « conventionnelle ». Leur modélisation a pointé des choix spécifiques de chacune des institutions. Ce modèle demande toutefois à être complété par une réflexion autour des technologies visées par les types de tâches repérés.

¹³ La Mallette Maternelle (Besnier et al., 2014) est une ressource élaborée collaborativement par l'Institut Français de l'Éducation et la COPIRELEM et éditée par l'ARPEME. Elle est disponible sur leur site : <http://www.arpeme.fr/m2ep/index.html>

Le second objectif était de présenter l'étude randomisée de suivi de cohortes de l'étude longitudinale et transversale. Dans ce cadre, une grille d'observation de la fidélité d'implémentation de la pédagogie Montessori a été élaborée (Courtier, 2019). Une évaluation standardisée a aussi été conçue, identique pour les petites, moyennes et grandes sections. Les résultats permettent de conclure que sur les tâches évaluées, il n'y a pas de différence significative avec le milieu « conventionnel » sur les apprentissages de la construction du nombre, après trois années d'enseignement de pédagogie Montessori. L'analyse de ce travail demande à être poursuivie dans deux directions. D'une part, le test diagnostique didactique doit être enrichi par le modèle de référence et les spécificités analysées de la pédagogie Montessori, en particulier, autour du système de numération décimale et du calcul. Ce test pourrait être aussi normé afin de servir de référence pour d'autres études en cycle 1. D'autre part, nous souhaitons continuer à analyser les résultats : lors de la passation des évaluations, les procédures utilisées par les élèves ont été observées et notées. Un travail d'investigation de procédure propre à chaque pédagogie reste à faire. Un autre travail possible consisterait à chercher d'éventuelles tâches prédictives parmi les tâches évaluées : les élèves ont été soumis aux mêmes tâches en début de petite section et en fin de grande section ; y a-t-il parmi ces tâches une tâche qui est plus discriminante qu'une autre ?

Le troisième objectif concernait la formation. Les outils développés dans ce projet et les résultats obtenus peuvent être, en partie, transposés à la formation initiale et continue des enseignants de maternelle. Cerner la pédagogie Montessori en pointant les atouts et les faiblesses, utiliser le modèle de référence pour un pilotage du travail des élèves, ou encore une connaissance approfondie des ressources des enseignants sont des éléments sur lesquels nous avons pu nous appuyer dans de nombreuses formations.

Enfin, ce projet repose sur une collaboration étroite entre enseignants, chercheurs en psychologie cognitive et chercheurs en didactique des mathématiques. Bien que les deux communautés aient chacune leur champ de recherche propre, un déterminant commun actuel est la volonté de mener des études en milieu scolaire. Dans le projet Cogmont, les analyses didactiques ont été menées après le lancement du suivi de cohortes et l'élaboration des tests. Nous le regrettons. En effet, nous pouvons imaginer que si le modèle de référence et les modélisations des institutions avaient été produits en amont, le test aurait pu prendre en compte les analyses didactiques. Comme nous l'avons dit en section III, les résultats de l'étude auraient peut-être révélé des différences de performances entre les deux pédagogies. Nous proposons donc, pour conclure, une méthodologie commune, un peu idéale, qui pourrait être mise en place lors d'études ultérieures portant sur l'évaluation des apprentissages en classe, croisant étude qualitative et quantitative. Il s'agirait d'une étude randomisée et contrôlée couplée avec des analyses didactiques qui relèvent (en partie) d'une ingénierie didactique, en amont, pendant et en aval, de l'évaluation des apprentissages en classe. Elle consisterait, tout d'abord, à circonscrire le domaine étudié par une étude mathématique et épistémologique des concepts visés par l'apprentissage puis à enrichir le modèle du domaine par des analyses *a priori* et observations de ce qui est enseigné. Les tests utilisés pour l'évaluation des élèves veilleraient à mesurer les compétences mathématiques en les situant dans le domaine ainsi modélisé. Il faudrait ensuite poser les hypothèses en tenant compte de ce qui est réellement enseigné pour enfin croiser les données qualitatives (des analyses *a posteriori*) et quantitatives en interprétant les résultats. Cette méthodologie a l'avantage de combiner validation externe (basée sur la comparaison statistique des performances de groupes expérimentaux et groupes témoins) et validation interne, fondée sur la confrontation entre analyses *a priori* et analyses *a posteriori*. Ces recherches pluridisciplinaires peuvent ainsi gagner en robustesse grâce à une double validation interne et externe. Nous sommes convaincues que les apports méthodologiques entre didactique des mathématiques et sciences cognitives sont mutuels. Nous ne pouvons ainsi qu'encourager les chercheurs de ces deux domaines à se rapprocher et concevoir un même projet de recherche.

VI - BIBLIOGRAPHIE

- Adjage, R. (2007). Rationnels et proportionnalité : Complexité et enseignement au début du collège. *Petit x*, 74, 5-33.
- Ansari, A., et Winsler, A. (2014). Montessori public school pre-k programs and the school readiness of low-income black and latino children. *Journal of Educational Psychology*. <https://doi.org/10.1037/a0036799>
- Besançon, M., et Lubart, T. (2008). Differences in the development of creative competencies in children schooled in diverse learning environments. *Learning and Individual Differences*. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2007.11.009>
- Besnier, S., Eysseric, P., et Le Méhauté, T. (2014). Mallette de ressources mathématiques pour l'école maternelle (MS-GS). *41e colloque international Copirelem*. Quelles ressources pour enrichir les pratiques et améliorer les apprentissages mathématiques à l'école primaire ?, Mont de Marsan, France.
- Bosch, M., et Gascón, J. (2005). La praxéologie comme unité d'analyse des processus didactiques. In A. Mercier et C. Margolinas, *Balises pour la didactique des mathématiques* (La Pensée Sauvage, p. 107-122).
- Carbonneau, K. J., Marley, S. C., et Selig, J. P. (2013). A meta-analysis of the efficacy of teaching mathematics with concrete manipulatives. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 380.
- Chaachoua, H. (2020). T4TEL : Un cadre de référence pour la formalisation et l'extension du modèle praxéologique. *Educação Matemática Pesquisa : Revista do Programa de Estudos Pós-Graduados em Educação Matemática*, 22(4), 103-118. <https://doi.org/10.23925/1983-3156.2020v22i4p103-118>
- Chaachoua, H., et Bessot, A. (2016). *Introduction de la notion de variable dans le modèle praxéologique*. Actes du 5e congrès pour la Théorie Anthropologique du Didactique., Castro-Urdiales, Espagne.
- Chevallard, Y. (1998). Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques : L'approche anthropologique. *Actes de l'école d'été de la Rochelle*.
- Chevallard, Y. (2010). La didactique, dites-vous? *Éducation et didactique*, 4(1), 139-148. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.771>
- Courtier, P. (2019). *L'impact de la pédagogie Montessori sur le développement cognitif, social et académique des enfants en maternelle*. Lyon 1.
- Courtier, P., Gardes, M.-L., Van der Henst, J.-B., Noveck, I. A., Croset, M.-C., Epinat-Duclos, J., Léone, J., et Prado, J. (2021). Effects of Montessori Education on the Academic, Cognitive, and Social Development of Disadvantaged Preschoolers : A Randomized Controlled Study in the French Public-School System. *Child Development*, 92(5), 2069-2088. <https://doi.org/10.1111/cdev.13575>
- Croset, M.-C., et Gardes, M.-L. (2019). Une comparaison praxéologique pour interroger l'enseignement du nombre dans l'institution Montessori. *Recherche en didactique des mathématiques*, 39(1), 51-96.
- Croset, M.-C., et Gardes, M.-L. (2020). Une carte des connaissances pour la construction du nombre à l'école maternelle. *Revue de mathématiques pour l'école*, 233.
- De Cock, L. (2017). Céline Alvarez, une pédagogie «business compatible». *Revue du Crieur n°6*.

Denervaud, S., et Gentaz, E. (2015). Les effets de la «méthode Montessori» sur le développement psychologique des enfants: Une synthèse des recherches scientifiques quantitatives. *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 27(139), 593-598.

Dillon, M. R., Kannan, H., Dean, J. T., Spelke, E. S., et Duflo, E. (2017). Cognitive science in the field : A preschool intervention durably enhances intuitive but not formal mathematics. *Science (New York, N.Y.)*, 357(6346), 47-55. <https://doi.org/10.1126/science.aal4724>

Douady, R. (1986). Jeux de cadre et dialectique outil-objet. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 7(2), 5-32.

Duprey, G., Duprey, S., et Sautenet, C. (2015). *Vers les maths : Petite section. Une progression vers les mathématiques à l'école maternelle* (6e édition). ACCES Editions.

Duprey, G., Duprey, S., et Sautenet, C. (2016a). *Vers les maths : Grande section. Une progression vers les mathématiques à l'école maternelle* (6e édition). ACCES Editions.

Duprey, G., Duprey, S., et Sautenet, C. (2016b). *Vers les maths : Moyenne section. Une progression vers les mathématiques à l'école maternelle* (6e édition). ACCES Editions.

Fayol, M. (2012). *L'acquisition du nombre* (Que sais-je ?, Vol. 3941). Presses universitaires de France.

Gardes, M.-L., et Courtier, P. (2018). Quelle manipulation, représentation et communication dans les ateliers Montessori de première numération ? *Grand N*, 101, 83-105.

Gardes, M.-L., Déglon, A., Javet-Schlegel, S., Turcotte, C., et Croset, M.-C. (2021). Analyse des activités proposées dans « Nombres et Opérations » des MER 1-2H. *Revue de Mathématiques pour l'École*, 235.

Howell, D. C. (2008). Méthodes statistiques en sciences humaines. In *Traduit par M Rogier V Yzerbyt Y Bestgen Collection Méthodes en sciences humaines*.

Laski, E. V., Vasilyeva, M., et Schiffman, J. (2016). Longitudinal Comparison of Montessori versus Non-Montessori Students' Place-Value and Arithmetic Knowledge. *Journal of Montessori Research*. <https://doi.org/10.17161/jomr.v2i1.5677>

Lillard, A. S. (2012). Preschool children's development in classic Montessori, supplemented Montessori, and conventional programs. *Journal of School Psychology*. <https://doi.org/10.1016/j.jsp.2012.01.001>

Lillard, A. S., et Else-Quest, N. (2006). Evaluating Montessori education. In *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.1132362>

Lillard, A. S., Heise, M. J., Richey, E. M., Tong, X., Hart, A., et Bray, P. M. (2017). Montessori preschool elevates and equalizes child outcomes: A longitudinal study. *Frontiers in Psychology*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01783>

Lopata, C., Wallace, N. V., et Finn, K. V. (2005). Comparison of academic achievement between montessori and traditional education programs. *Journal of Research in Childhood Education*. <https://doi.org/10.1080/02568540509594546>

Margolinas, C., et Laparra, M. (2017). *Les premiers apprentissages scolaires à la loupe : Des liens entre énumération, oralité et littératie*. De Boeck (Pédagogie et Formation).

- Margolinas, C., et Wozniak, F. (2009). Usage des manuels dans le travail de l'enseignant : L'enseignement des mathématiques à l'école primaire. *Revue des sciences de l'éducation*, 35(2), 59. <https://doi.org/10.7202/038729ar>
- Margolinas, C., et Wozniak, F. (2012). *Le nombre à l'école maternelle : Une approche didactique*. De Boeck (Pédagogie et Formation).
- Marshall, C. (2017). Montessori education : A review of the evidence base. *npj Science of Learning*, 2(1), 11.
- MEN. (2015). Programme de l'école maternelle. *Bulletin officiel spécial n° 2 du 26 mars 2015*.
- Montessori, M. (1926). *Pédagogie scientifique. Tome 1 : La maison des enfants*.
- Montessori, M. (1934). *Psico aritmética*. Casa Editorial Araluce.
- Montessori, M. (1936). *L'enfant*. Desclée de Brouwer.
- Montessori, M. (1959). *L'esprit absorbant*. Desclée de Brouwer.
- Montessori, M. (2015). *Pédagogie scientifique. Tome 1 : La maison des enfants*. Desclée de Brouwer.
- Montessori, M. (2016). *L'enfant*. Desclée de Brouwer.
- Morin, M. (2017). *La pédagogie Montessori en maternelle*. ESF Sciences Humaines.
- Poussin, C. (2017). *La pédagogie Montessori*. Presses Universitaires de France.
- Reed, M. K. (2008). Comparison of the Place Value Understanding of Montessori Elementary Students. *Investigations in Mathematics Learning*. <https://doi.org/10.1080/24727466.2008.11790278>
- Schneider, R. M., Sullivan, J., Guo, K., et Barner, D. (2021). What Counts? Sources of Knowledge in Children's Acquisition of the Successor Function. *Child Development*, 92(4). <https://doi.org/10.1111/cdev.13524>
- Wexley, K., Guidubaldi, J., et Kehle, T. (1974). An evaluation of montessori and day care programs for disadvantaged children. *Journal of Educational Research*. <https://doi.org/10.1080/00220671.1974.10884719>
- Woodcock, R. W., McGrew, K. S., et Mather, N. (2001). *Woodcock-Johnson tests of achievement*. Itasca, IL.