

Une pédagogie du contrôle cognitif pour l'amélioration de l'attention à la consigne chez l'enfant de 4-5 ans

Sandrine ROSSI^{1, 2, 3, *}, Amélie LUBIN^{1, 2, 3}, Céline LANOË^{1, 2, 3} et Arlette PINEAU^{1, 2, 3}

¹ Université de Caen Basse-Normandie, Unité 3521 LaPsyDÉ, France

² Université Paris-Descartes, Sorbonne Paris Cité, Unité 3521 LaPsyDÉ, France

³ CNRS, Unité 3521 LaPsyDÉ, France

* Courriel : sandrine.rossi@unicaen.fr

Résumé

La méthodologie développée dans notre équipe autour de l'apprentissage au contrôle cognitif a montré l'utilité d'exercer l'enfant, l'adolescent, ou l'adulte à inhiber une stratégie de résolution non pertinente dans l'objectif d'activer la stratégie adéquate et ainsi permettre la correction de l'erreur. Fonction essentielle à la régulation des comportements, l'inhibition joue un rôle majeur dans l'acquisition des premiers apprentissages fondamentaux. Tel est le cas de l'apprentissage au respect d'une consigne, pour lequel la capacité de l'enfant à prêter attention de façon sélective aux informations pertinentes est cruciale. Notre objectif a été de transférer notre méthodologie vers le monde de la classe. L'Inspection Académique du Calvados (France) a créé un Groupe Formation Action (GFA) intitulé « Pédagogie du contrôle cognitif » dans lequel interviennent enseignants, conseillers pédagogiques, inspecteurs de circonscription et chercheurs. Une démarche psychopédagogique innovante a été mise en place en concevant avec les membres du GFA une séquence d'apprentissage métacognitif à l'inhibition de la prégnance de l'action motrice, de façon à amener l'enfant à prêter attention à l'ensemble des éléments d'une consigne complexe. L'étude porte sur des enfants de Moyenne Section d'école maternelle âgés de 4 à 5 ans (seconde année du 1er cycle de scolarité en France). Elle montre un effet significatif d'un apprentissage centré sur les capacités de contrôle et d'auto contrôle opposé à un apprentissage plus classique, dénué de toute composante exécutive.

1. Introduction

Depuis une dizaine d'années, une nouvelle interdisciplinarité émerge autour de l'étude des processus cognitifs et neurocognitifs à l'œuvre dans les apprentissages. Ce champ de recherches appelé « neuroéducation » est actuellement en plein essor (Ansari, De Smedt et Grabner, 2011; Carew et Magsamen, 2010; Goshwami et Szűcs, 2010; Meltzoff, Khul, Movellan et Sejnowski, 2009; Potvin, Riopel et Masson, 2011). Ainsi, les champs de la psychologie, des neurosciences et des sciences de l'éducation se rassemblent autour de ce thème porteur. L'utilisation croissante chez l'enfant et l'adolescent des techniques d'imagerie cérébrale permet d'étudier les processus neuronaux et cognitifs qui sous-tendent le développement humain et l'apprentissage. Les résultats actuels amènent déjà de nombreuses informations sur des questions éducatives touchant à l'apprentissage des mathématiques (Nieder et Dehaene, 2009), ou de la lecture (Gabrieli, 2009). Par conséquent, les recherches sur le développement neurocognitif peuvent apporter des indications sur les compétences et les contraintes du cerveau qui apprend permettant d'envisager de nouvelles approches pédagogiques (Hardiman, Rinne, Gregory et Yarmolinskaya, 2011; Posner et Rothbart, 2005; Stern, 2005).

Selon Houdé (1999a), contrairement à Piaget et aux néopiagétiens qui expliquent exclusivement le développement cognitif par un mécanisme de coordination (ou co-activation) de schèmes, on peut envisager qu'un autre mécanisme essentiel soit aussi à l'œuvre : le contrôle inhibiteur de l'information. Il renvoie à la capacité que nous avons de bloquer le traitement des informations non pertinentes. L'inhibition est une fonction cognitive de contrôle attentionnel, intégrée dans la composante exécutive de la mémoire de travail (Baddeley, 2012). Les fonctions exécutives sont essentielles à tout comportement adapté et sont sous la dépendance de certaines régions du cortex préfrontal (Diamond, 2011). L'idée selon laquelle l'inhibition est un processus central de l'adaptation cognitive n'est pas nouvelle (Dempster et Brainerd, 1995; MacMillan, 1996). En psychologie, il apparaît que l'inhibition sous ses multiples formes, de la programmation motrice au raisonnement logique, est un facteur essentiel du développement cognitif et de l'apprentissage (Houdé, 1999b; 2000; 2011). Des résultats comportementaux et en neuroimagerie cérébrale ont été obtenus conduisant à redéfinir, autrement que l'ont fait Jean Piaget et les néopiagétiens, les stades de la construction de l'intelligence ainsi que les mécanismes de transition d'un stade à l'autre (Houdé *et al.*, 2011). Le développement cognitif ne doit pas seulement être conçu comme l'acquisition progressive de connaissances,

mais aussi comme relevant de la capacité d'inhibition en mémoire de travail de réactions qui entravent l'expression de connaissances déjà présentes (Bjorklund et Harnishfeger, 1990; Dempster et Brainerd, 1995; Houdé, 1995). Dans cette perspective, le développement cognitif est vu comme dynamique et non linéaire.

Plusieurs stratégies en construction peuvent se chevaucher durant le développement, selon l'âge, la maturation cérébrale, ou encore le contexte d'apprentissage, ce qui parfois provoque des erreurs. Citons par exemple l'interférence qui survient entre nos capacités d'analyse perceptive de l'environnement et nos capacités de comptage. On constate fréquemment dans des situations de la vie quotidienne que la longueur covarie avec le nombre (plus une rangée de livres est longue sur une étagère, plus celle-ci comporte d'ouvrages). C'est d'ailleurs l'analogie qui peut être faite dans les manuels scolaires pour apprendre à compter. Imaginons la tâche piagétienne de conservation du nombre dans laquelle deux rangées de jetons sont disposées devant le participant, dont on lui fait constater qu'elles comportent le même nombre de jetons. L'expérimentateur écarte ensuite les jetons de l'une des deux rangées et demande si elles comportent à présent le même nombre de jetons ou pas. La difficulté pour l'enfant est d'inhiber dans ce cas la stratégie dominante non-pertinente longueur = nombre tout en parvenant à activer une stratégie pertinente qui peut être déjà construite, le comptage. Cette difficulté est rarement surmontée avant l'âge de 7 ans et mobilise l'activation de régions cérébrales dédiées à l'inhibition, tant chez l'enfant (Houdé *et al.*, 2011) que chez l'adulte (Leroux *et al.*, 2009). Par exemple, dans la Figure 1, il faudrait inhiber la stratégie 5 longueur = nombre, dominante (fort pourcentage d'utilisation) et non pertinente dans la situation Piagétienne, au profit de l'activation de la stratégie 4 de comptage, pertinente, mais non dominante (pourcentage d'utilisation plus faible). C'est cette dynamique exécutive d'inhibition/activation de stratégies permettant la flexibilité cognitive qui est au cœur de l'architecture cognitive (Houdé et Guichart, 2001; Houdé et Leroux, 2009), le cerveau devant aussi apprendre à résister aux réponses dominantes pour corriger ses erreurs.

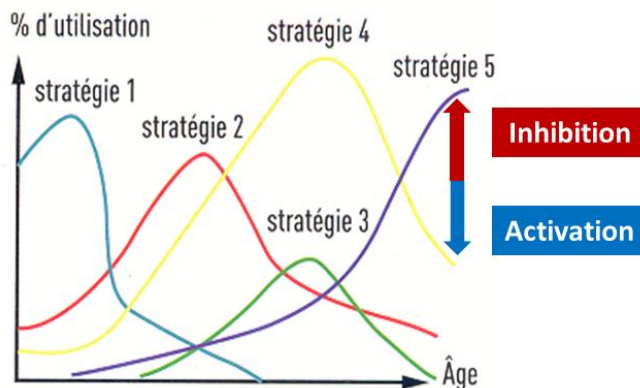


Figure 1. Modèles cognitifs du développement dynamique non-linéaire (adapté de Siegler, 1999) représentant la dynamique exécutive d'inhibition/activation entre stratégies.

La méthodologie élaborée repose à la fois sur la détection de conflits entre stratégies et sur la résolution de ces conflits par la mise en place d'un apprentissage à l'inhibition des stratégies inappropriées. Elle prend la forme de ce qui sera appelé un *apprentissage exécutif*. Ainsi, il a été montré, dans diverses situations, l'utilité d'exercer l'enfant, l'adolescent ou l'adulte à activer la stratégie pertinente mais aussi, et surtout, à inhiber celles qui ne le sont pas pour résoudre un problème donné (Cassotti et Moutier, 2010; Houdé et Moutier, 1996; Houdé *et al.*, 2000; Moutier, 2000; Moutier et Houdé, 2003). Apprendre à inhiber une stratégie erronée (heuristique) que l'on doit éviter pour réussir – « ce qu'il ne faut pas faire » - pourrait être associé à la situation pédagogique plus classique dans laquelle l'apprentissage est centré sur la bonne stratégie (algorithmique) – « ce qu'il faut faire ».

On prendra l'exemple du raisonnement logique dans une tâche déductive, présentée visuellement. Il est demandé au participant de lire sur un écran d'ordinateur la règle « S'il n'y a pas de carré rouge à gauche, alors il y a un cercle jaune à droite ». Douze figures géométriques sont présentées (carré, losange, cercle, bleus, jaunes, verts ou rouges) et la tâche consiste à sélectionner avec une souris deux formes géométriques qui rendent cette règle fautive. Jusqu'à 90 % des personnes interrogées disposent un carré rouge à gauche d'un cercle jaune. Cette réponse est fautive, c'est une erreur de logique appelée le biais d'appariement (Evans, 1972). Il s'agit pourtant d'un problème élémentaire de raisonnement déductif (Rossi et van der Henst, 2007). Le participant se laisse piéger par la perception des éléments cités dans la règle (ici carré rouge et cercle jaune). S'il raisonnait logiquement, il

choisirait une situation où l'antécédent de la règle est vrai (pas un carré rouge) et le conséquent faux (pas un cercle jaune) : par exemple, un carré vert à gauche d'un losange bleu. La réponse logique consiste à aller contre la stratégie la plus accessible inspirée directement par la perception des éléments cités dans la règle, donc contre le biais d'appariement perceptif.

Selon Houdé et Moutier (1996; Moutier, Angeard et Houdé, 2002) la difficulté pour les participants tient ici à ce que deux stratégies de raisonnement entrent en compétition dans l'espace de travail, l'une perceptive, plus prégnante, l'autre logique, plus coûteuse, et qu'ils éprouvent des difficultés à inhiber la stratégie perceptive, sans qu'il s'agisse pour autant d'un problème de logique en tant que tel. Afin d'étayer cette hypothèse, les auteurs ont d'abord testé, l'efficacité de deux conditions d'apprentissage. Tout d'abord un apprentissage exécutif à l'inhibition de la stratégie perceptive à l'aide d'alarmes du type « attention, tu crois que cela facilite les choses de te concentrer uniquement sur les éléments cités dans la règle, mais tu tombes dans un piège ! », et un apprentissage non exécutif à l'activation de la logique (c'est-à-dire le rappel et la manipulation implicite de la table de vérité des règles « Si p, alors q ») — ces deux apprentissages portant sur une autre tâche, formellement isomorphe. Ces apprentissages sont métacognitifs dans le sens où ils doivent permettre le transfert inter-tâches, de la tâche isomorphe vers la tâche d'intérêt, celle qui pose difficulté au participant avant l'apprentissage. Seul l'apprentissage exécutif s'est révélé efficace, le nombre de participants parvenant à corriger leur erreur de raisonnement déductif est significativement plus élevé après un apprentissage exécutif opposé à un apprentissage non exécutif (Houdé et Moutier, 1996; Moutier, Angeard et Houdé, 2002), ce qui indique que c'est bien ce mécanisme de blocage de la stratégie heuristique qui pourrait faire défaut aux adultes interrogés et non pas l'accès à la logique.

Cette expérience a été répliquée dans le cadre d'un paradigme d'imagerie neurofonctionnelle afin de mettre en évidence les régions cérébrales les plus activées avant (pré-test) et après (post-test) l'apprentissage exécutif (Houdé *et al.*, 2000). Les résultats montrent une très nette reconfiguration des réseaux cérébraux activés, de la partie postérieure du cerveau (voies ventrale et dorsale) à la partie préfrontale (Figure 2).

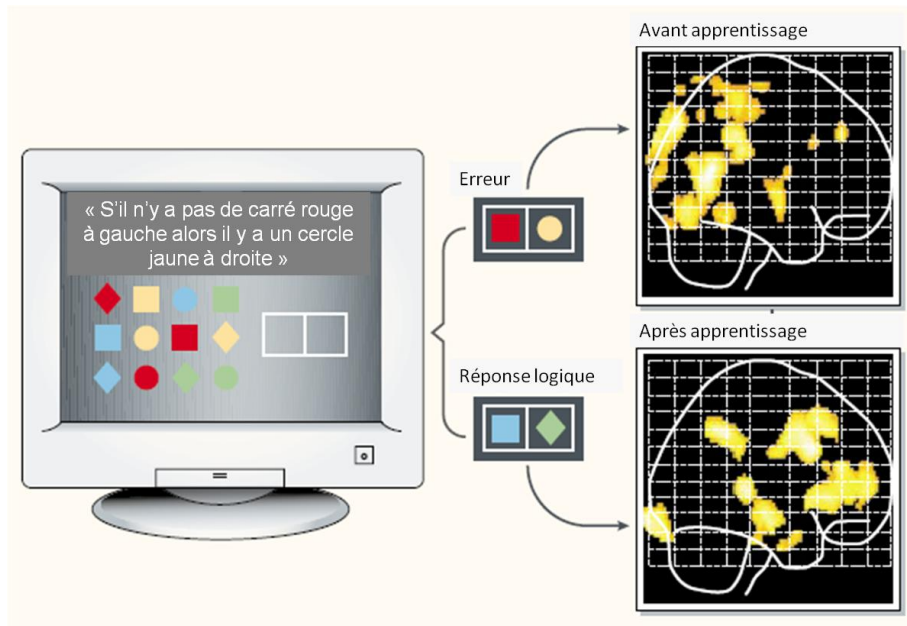


Figure 2. Imagerie cérébrale de l'apprentissage exécutif à l'inhibition du biais d'appariement perceptif dans une tâche de raisonnement conditionnel. On observe une reconfiguration de la partie postérieure du cerveau avant l'apprentissage (en haut à droite) à sa partie antérieure ou cortex préfrontal après l'apprentissage (en bas à droite) (adapté de Houdé et Tzourio-Mazoyer, 2003).

Il ne suffit donc pas d'avoir atteint à l'adolescence le stade logique de Piaget pour être « préfrontal » et logique. Si la logique est, comme le pensait Piaget, « la forme optimale de l'adaptation biologique », il est toutefois constaté que dans le cerveau en action plusieurs stratégies de raisonnement peuvent entrer en compétition et que c'est l'inhibition cognitive, déclenchée ici par un apprentissage exécutif, qui se révèle être la clé de l'accès à la logique (Houdé, 2007; 2008). Ainsi, l'énigme de cette plasticité neuronale pourrait être à chercher du côté de l'inhibition, du blocage, et non pas seulement, comme le pensait Piaget (Piaget et Inhelder, 2004; Inhelder et Piaget, 1955), du côté de la seule coordination logique des informations correspondant à l'apprentissage strictement logique qui est ici inefficace.

L'importance du contrôle cognitif dans la résistance à l'interférence entre stratégies n'a pas seulement été éprouvée dans le domaine du raisonnement logique, mais aussi dans celui de la conservation du nombre (Houdé et Guichard, 2001; Houdé et Leroux, 2009), de l'inclusion des classes (Borst, Pineau, Poirel, Cassotti et Houdé, 2012; Borst, Poirel, Pineau, Cassotti et Houdé, 2012), du jugement sous incertitude (Moutier et Houdé, 2003), du

biais de croyance (Moutier *et al.*, 2006), ainsi que dans les apprentissages scolaires fondamentaux que sont les mathématiques et l'orthographe (Lubin, Lanoë, Pineau et Rossi, 2012).

Chez les enfants, l'efficacité du contrôle cognitif, dont l'inhibition ou contrôle inhibiteur, est un processus-clé qui constitue un meilleur prédicteur de leur capacité à s'adapter dès l'école maternelle que leur niveau d'intelligence (Blair et Razza, 2007). L'inhibition joue un rôle majeur dans l'acquisition des premiers apprentissages fondamentaux. Tel est le cas de l'apprentissage au respect de la consigne pour lequel l'enfant doit prêter attention de façon sélective aux informations pertinentes tout en parvenant à inhiber le traitement des informations non pertinentes. L'attention portée aux consignes est fondamentale pour parvenir à apprendre. Les capacités d'attention sélective ont un impact sur le langage, la lecture et les compétences numériques chez l'enfant (Stevens et Bavelier, 2012). Au regard de l'importance du contrôle exécutif dans le développement cognitif et social de l'enfant (Rueda, Checa et Rothbart, 2010), des interventions pédagogiques permettant d'améliorer, même de façon limitée, l'efficacité de ce contrôle dans les premiers apprentissages devraient avoir un impact déterminant sur le devenir scolaire de l'enfant (Moffitt *et al.*, 2011).

C'est ce qui a été initié depuis 2009 dans un Groupe Formation Action (GFA), en partenariat avec l'Inspection Académique du Calvados (France), où interviennent des enseignants, des conseillers pédagogiques, des inspecteurs de circonscription et des chercheurs de notre équipe (Rossi, Lubin, Pineau, Lanoë, Simon et Houdé, 2011). Ce GFA intitulé « Pédagogie du contrôle cognitif » se réunit régulièrement. Les enseignants sont alors détachés de leur classe. Durant ces rencontres, les enseignants et les membres de notre équipe de recherche participent à la création d'outils didactiques qui seront appliqués en classe. Ce GFA a permis de développer des démarches psychopédagogiques innovantes en concevant des séquences d'apprentissage exécutif à l'inhibition d'heuristiques dans différents domaines de compétences, de l'école maternelle (3-5 ans) à l'école élémentaire (6-10 ans). L'objectif de l'étude présentée ici est de favoriser l'écoute du jeune enfant en recentrant son attention sur les éléments pertinents de la consigne par l'inhibition du passage trop rapide à l'action.

Quel enseignant n'a jamais rêvé de captiver ses élèves et que toute l'attention soit déployée vers les connaissances qu'il leur transmet? La réalité est toute autre. Nombreux sont les enseignants parmi ceux rencontrés ou avec qui le travail a été effectué qui rapportent la difficulté croissante de leurs

élèves à rester attentifs, à se concentrer sur une tâche, et ce dès les premières années de scolarisation. Certains se risquent même, au-delà de leur mission, à diagnostiquer l'éventualité d'un trouble déficitaire de l'attention chez les élèves qui manifestent inattention ou impulsivité récurrente, privilégiant l'action au détriment de la réflexion. En France, ce trouble affecterait 3 à 6% des enfants d'âge scolaire, selon les différentes sources (Inserm, Ministère de la Santé, réseaux nationaux). Mais comment demander d'être attentif à l'élève alors même qu'il ne lui est jamais appris explicitement comment y parvenir ?

L'apprentissage de l'attention est implicite au travers des apprentissages scolaires. Il n'est alors pas étonnant de constater que les enfants ne savent pas définir l'attention bien que l'enseignant répète ce terme à longueur de journée. Souvent les enfants ont répondu que faire attention c'était faire attention à ne pas se blesser ou casser quelque chose en référence à des situations pratiques de la vie quotidienne. Jusqu'en cours élémentaire (7-8 ans) l'attention dans un contexte d'apprentissage scolaire n'est pas évoquée. Pouvoir développer des approches psychopédagogiques innovantes basées sur le résultat de recherches scientifiques dans l'objectif de faire prendre conscience aux élèves de leurs fonctions cognitives exécutives semble une voie à suivre (Greenstone, 2011).

Les enseignants d'école maternelle membres du GFA ont notamment fait part des difficultés manifestées par leurs élèves à maintenir leur attention, même sur une courte durée, de façon à pouvoir respecter une consigne. A cet âge, nombreux sont les enfants qui privilégient l'action au détriment de l'écoute. Un protocole a été conçu. Il comportait une phase de pré-test destinée à évaluer les capacités attentionnelles des enfants à la consigne suivie d'une phase d'apprentissage exécutif (à l'inhibition de la réponse motrice) ou non exécutif (classique) puis d'une phase de post-test permettant d'évaluer les effets de chacune des conditions apprentissage. Le jeu éducatif proposé en pré et post-test est classiquement utilisé en classe pour développer les capacités d'observation et d'attention sélective de l'enfant. Grâce à ce jeu, l'enfant est amené à prendre en compte l'ensemble des éléments d'une consigne complexe afin de trouver l'item cible parmi un ensemble d'items distracteurs. Les enseignants de moyenne section d'école maternelle observent chez certains enfants un comportement inapproprié qui consiste à se précipiter pour prélever un item sans respecter les éléments de la consigne. Ainsi, les enfants de 4-5 ans semblent ne pas parvenir à inhiber la prégnance de l'action motrice au détriment de la prise en compte des éléments de la consigne, un comportement fréquemment observé à cet âge

dans d'autres situations de classe. Le protocole présenté ci-après avait donc pour objectif de remédier aux difficultés attentionnelles pouvant survenir dans le jeu, à savoir privilégier une stratégie heuristique, prélever coûte que coûte n'importe quel item, au détriment d'une stratégie algorithmique, prélever l'item qui respecte les éléments de la consigne. Nous avons fait l'hypothèse qu'un *apprentissage exécutif*, appliqué à un autre jeu éducatif présentant des difficultés semblables, pouvait aider les enfants à surmonter leur tendance naturelle à agir sans se conformer à la consigne.

2. Méthodologie

2.1 Participants

L'échantillon est constitué de 53 enfants âgés en moyenne de 4 ans 6 mois (± 3 mois; 26 filles) et scolarisés en moyenne section de l'école maternelle. Les parents et enfants ont apporté leur consentement pour participer à cette étude.

2.2 Protocole

Les enseignants ont dans un premier temps été sensibilisés à l'importance du contrôle inhibiteur dans les apprentissages ainsi qu'à notre méthodologie. Celle-ci consiste à contraster deux situations d'apprentissage métacognitif : une situation classique, dite non exécutive, et une situation d'apprentissage exécutif à l'inhibition. Dans l'apprentissage non exécutif, l'enseignant porte l'attention de l'enfant sur ce qu'il faut faire, sur la stratégie adéquate (algorithmique). Dans la situation d'apprentissage exécutif, l'enseignant, indique la stratégie correcte, mais alerte également explicitement l'élève *sur ce qu'il ne faut pas faire*, sur le piège, l'heuristique, à éviter. Les enseignants ont ensuite été invités à repérer, au sein de leur classe, des situations scolaires dans lesquelles entrent en compétition une heuristique et un algorithme.

Un protocole d'apprentissage métacognitif a été proposé aux enfants. Il s'est déroulé en trois temps (Figure 3). La capacité à résister à la prégnance d'un comportement moteur inapproprié a tout d'abord été évaluée au travers d'un jeu éducatif dans une phase de pré-test. Tous les enfants ont ensuite été répartis aléatoirement dans une des deux conditions d'apprentissage comportant ou non des alertes exécutives. Un post-test leur était ensuite proposé afin d'évaluer les effets de la condition d'apprentissage sur le jeu présenté en pré-test.

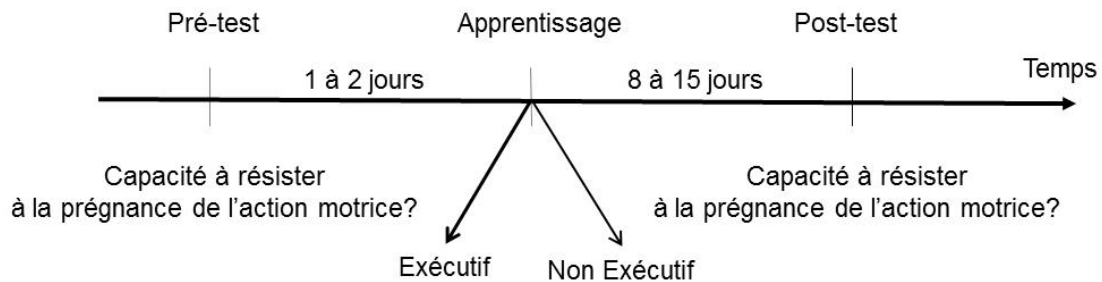


Figure 3. Déroulement du protocole d'apprentissage.

2.3 Pré et post-test

La capacité des enfants à résister à la prégnance d'un comportement moteur inapproprié a été évaluée au travers du jeu éducatif « Candy » (Beleduc Édition) dont l'objectif pédagogique est de développer les capacités d'observation des enfants âgés de 4 ans et plus. Dans ce jeu collectif comportant plusieurs essais, l'enfant doit faire preuve d'attention sélective afin de retrouver le plus rapidement possible un item cible parmi un grand nombre de distracteurs. Quarante-et-un bonbons multicolores, tous différents, en bois peint (de une à trois couleurs) sont répartis sur un tapis de jeu occulté par un tissu, placé au centre d'une table autour de laquelle sont assis quatre enfants et l'enseignant. Dès le signal donné par l'enseignant, le tapis de jeu est découvert et les enfants ont pour consigne de retrouver, en une minute maximum, le bonbon unique comportant la ou les couleurs présentées par l'enseignant sur une carte affichant d'une à trois pastilles colorées (Figure 4).



Figure 4. À gauche, une illustration du tapis de jeu. À droite, une illustration des cartes couleur (d'une à trois couleurs).

Un seul bonbon répond à la consigne à chaque essai, c'est l'item cible, alors que les quarante autres bonbons constituent des items distracteurs. Avant de commencer le jeu, l'enseignant distribue à chaque enfant une cagnotte de jetons. Lorsqu'un enfant parvient à trouver l'item cible sa cagnotte est augmentée d'un jeton, dans le cas contraire elle est amputée d'un jeton. À la fin du jeu, l'enfant qui gagne est celui dont la cagnotte est la plus élevée. Afin que les enfants ne puissent, au fil des essais, mémoriser le tapis de jeu, le placement des bonbons sur celui-ci est modifié avant chaque nouvel essai. Le jeu débute après avoir réalisé un entraînement sur trois essais. Il comporte neuf essais au total : trois essais à une, deux, et trois couleurs, présentés de façon aléatoire. L'enseignant relève à chaque essai et pour chacun des quatre joueurs, la performance : l'enfant a-t-il pris l'item correct, ou un item erroné, ou encore n'a-t-il pris aucun item sur le tapis de jeu. Voici les consignes qui sont données aux enfants :

« On va jouer ensemble au jeu des bonbons. Regardez, il y a plusieurs bonbons sur la table (montrer). Il y a des bonbons d'une seule couleur (montrer). Il y a des bonbons de 2 couleurs (montrer). Il y a des bonbons de 3 couleurs (montrer). Il y a aussi des cartes qui vont nous servir pour le jeu et sur lesquelles figurent des pastilles de couleur (montrer). Le jeu c'est de trouver, parmi les bonbons disposés sur le tapis, le bonbon qui a les couleurs présentées sur la carte que je vais vous montrer. À chaque fois, il n'y a qu'un seul bonbon possible sur le tapis. Quand je dirai « partez ! » vous chercherez le bonbon, mais dès que je frapperai dans les mains vous arrêterez de chercher (laissez 1 minute aux enfants pour trouver le bonbon, au-delà frappez dans les mains).

Si vous trouvez le bonbon, je vous donne un jeton, sinon je prends un jeton dans votre cagnotte. »

2.4 Tâche d'apprentissage

L'apprentissage a été réalisé par l'intermédiaire du jeu éducatif « Jacques a dit » qui se déroule par groupe de 4 enfants. L'enseignant formule des ordres moteurs comme « Levez les bras » qui sont ou non précédés de la formule « Jacques a dit ». La consigne est d'effectuer le mouvement seulement lorsque c'est Jacques qui le demande. Dans le cas contraire, les enfants ont pour consigne de rester immobiles. Avant de commencer, les enfants sont placés debout, les bras le long du corps. Le jeu comporte 8 essais dont 4 essais « Jacques a dit ». Entre chaque essai les enfants reviennent à la situation initiale debout, les bras le long du corps.

Tout comme dans le jeu « Candy », le jeu du « Jacques a dit » révèle la difficulté qu'ont les jeunes enfants à inhiber l'action motrice se laissant piéger par l'ordre qui a été donné par l'enseignant. Cette tâche constitue dès lors un support possible pour un apprentissage dont l'objectif est d'aider l'enfant à améliorer ses performances dans le jeu « Candy » par un mécanisme de transfert. Les enfants ont été répartis aléatoirement dans l'une des deux conditions d'apprentissage : exécutif ou non exécutif.

2.4.1 L'apprentissage exécutif

La particularité de l'apprentissage exécutif est de comporter, en plus des consignes classiques du jeu du « Jacques a dit », des alertes exécutives verbales et visuo-spatiales. Les alertes verbales indiquent l'existence d'un piège et focalisent l'attention des élèves sur la nécessité de l'éviter pour parvenir à la bonne réponse. L'attrape-piège, une alerte visuo-spatiale, formalise le répertoire de schèmes cognitifs de l'enfant. Il se matérialise par une planche sur laquelle est apposé un transparent que l'enfant peut soulever et replacer à sa guise. Sur ce transparent apparaît une zone hachurée qui matérialise les processus attentionnels d'inhibition, sous laquelle l'enfant va être amené à placer la réponse erronée. Ce transparent est troué en son centre laissant apparaître une zone d'activation attentionnelle non hachurée dans laquelle l'enfant va être amené à placer la réponse correcte. Les cartons réponses, d'autres alertes visuo-spatiales, sont colorés en rouge ou vert selon qu'ils représentent la mauvaise ou la bonne réponse. Il est demandé à l'enseignant d'utiliser d'intonations afin de mettre l'accent sur les alertes verbales pour théâtraliser l'apprentissage. L'enseignant explique tout d'abord

le jeu aux enfants puis met l'accent sur l'existence d'un piège. Les alertes exécutives verbales apparaissent en italique dans les consignes présentées ci-après :

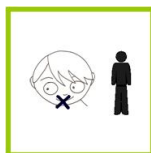
« On va jouer à « Jacques a dit ». Dans ce jeu, on obéit seulement à Jacques. On doit bouger seulement quand c'est Jacques qui donne un ordre. Si Jacques a dit « assis », je m'assois parce que c'est Jacques qui l'a dit. Si j'entends un ordre, mais sans que Jacques l'ait donné alors je ne bouge pas. Exemple si je dis « assis » vous ne devez pas vous asseoir car Jacques ne l'a pas dit. *Attention ! Dans ce jeu, il y a un piège. Le piège c'est d'avoir envie de bouger parce qu'on entend un ordre et d'oublier que c'est Jacques qui commande. Attention ! Je dois bouger seulement quand Jacques le demande. »*

L'enseignant propose alors aux enfants d'analyser la situation et le moyen de parvenir à la bonne réponse en ayant recours à des alertes exécutives visuo-spatiales :

Pour ne pas vous tromper, on va vous donner 4 cartes, deux vertes, qui correspondent aux bonnes réponses, et deux rouges, qui correspondent aux mauvaises réponses. Sur chaque carte on voit la tête de Jacques à gauche et le bonhomme à droite, c'est chacun de vous. Sur ces deux cartes *vertes*, on a les bonnes réponses, vous voyez :



Jacques ici donne un ordre : il y a une bulle au-dessus de sa tête et donc le bonhomme bouge. Le bonhomme c'est vous. C'est une bonne réponse.



Ici, Jacques ne donne pas d'ordre : sa bouche est barrée et le bonhomme ne bouge pas. C'est une bonne réponse.

Sur les cartes *rouges*, les mauvaises réponses, vous voyez :



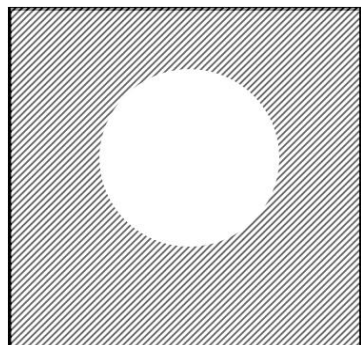
Jacques ici donne un ordre : il y a une bulle au-dessus de sa tête et le bonhomme ne bouge pas. C'est une mauvaise réponse.



Ici, Jacques ne donne pas d'ordre : sa bouche est barrée et le bonhomme bouge. *Attention ! Là c'est le piège dont on a parlé tout à l'heure ! Le piège c'est d'avoir envie de bouger parce qu'on entend un ordre et d'oublier que c'est Jacques qui commande.* C'est une mauvaise réponse.

On va utiliser ensemble toutes ces cartes pour bien vous faire comprendre ce qu'il faut faire dans ce jeu.

On présente alors aux élèves la seconde partie du matériel expérimental constituée de l'attrape-piège (Figure 5) :



Pour réussir, on va utiliser un attrape piège. Dans le carré que vous voyez là on va mettre les réponses. Les mauvaises réponses, celles qui correspondent aux cartes rouges, dont la carte piège, on va les mettre sous les rayures, parce que c'est ce qu'il ne faut pas faire ! Les bonnes réponses, celles qui correspondent aux cartes vertes, on les placera au milieu, là où il n'y a pas de rayures, parce que c'est ce qu'il faut faire.

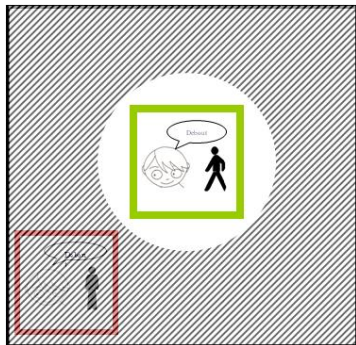
Pour ne pas faire d'erreur, et tomber dans le piège, les mauvaises réponses - les cartes rouges - vont être placées dans l'attrape-piège sous les rayures et les bonnes réponses - les cartes vertes - on va les mettre dans le rond du milieu là où il n'y a pas de rayures. Attention, il faut bien se concentrer et écouter ! Il faut savoir qui commande.



Figure 5. Situation d'apprentissage exécutif sur le jeu du 'Jacques a dit' où l'enseignant explique aux élèves comment utiliser l'attrape-piège.

Maintenant, on commence. On est tous debout, les bras le long du corps.

« Jacques a dit : croisez les bras »



Vous avez tous croisé les bras, c'est bien, Jacques l'a dit et vous lui avez obéi, c'est ce qu'il faut faire, *bravo !*

Prenez la carte *verte* Jacques parle et le bonhomme bouge, *et placez-la au centre du carré, là où il n'y a pas de rayures*, c'est la bonne réponse.

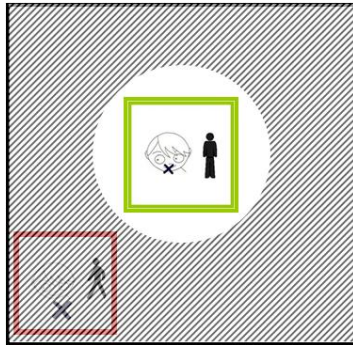
Prenez la carte *rouge* Jacques parle et le bonhomme reste immobile, *et placez-la sous les rayures*, c'est la mauvaise réponse.

Les enfants retirent les cartons de l'attrape-piège et se replacent debout bras le long du corps. L'enseignant formule un nouvel essai.

« Assis. »

Là, on aurait envie de s'asseoir parce qu'on a entendu assis. *Mais attention ! Jacques ne l'a pas dit, donc stop ! On reste debout. Ici, on peut tomber dans le piège dont on a parlé au début. Écoutez bien : le piège c'est d'avoir envie de bouger parce qu'on entend un*

ordre et d'oublier que c'est Jacques qui commande. Attention ! Je dois bouger seulement quand Jacques le demande. C'est Jacques qui commande.



Prenez la carte *rouge* (Jacques ne parle pas et le bonhomme bouge) et placez-la sous les rayures, c'est la mauvaise réponse. Avant de faire, *pour ne pas se tromper*, il faut avoir entendu « Jacques a dit ». C'est à Jacques qu'on obéit et rien qu'à Jacques sinon s'il ne dit rien : *STOP !* On ne bouge pas.

Prenez la carte *verte* (Jacques ne parle pas et le bonhomme reste immobile) et placez-la au centre du carré, là où il n'y a pas de rayures, c'est la bonne réponse.

Les enfants retirent les cartons de l'attrape-piège et se replacent debout bras le long du corps. L'enseignant formule un nouvel essai. Le jeu s'arrête après les 9 essais en s'assurant que chacun des enfants a été capable de reformuler la consigne : « Dans ce jeu, on obéit seulement à Jacques. On doit bouger seulement quand c'est Jacques qui donne un ordre. Si j'entends un ordre, mais sans que Jacques l'ait donné alors je ne bouge pas. Sinon je tombe dans le piège d'avoir envie de bouger parce que j'entends un ordre et d'oublier que c'est Jacques qui commande.»

2.4.2 L'apprentissage non exécutif

L'apprentissage non exécutif (classique) est en tout point identique à l'apprentissage exécutif excepté qu'il ne comporte aucune alerte verbale ou visuo-spatiale. Les consignes non exécutives ne comportent pas les éléments figurant en italique dans les consignes exécutives présentées ci-dessus, les cartons qui matérialisent les bonnes et mauvaises réponses sont en noir et blanc et il n'est pas fait usage de l'attrape-piège. La pédagogie employée ici est semblable à une situation plus classique où l'apprentissage est centré sur la bonne stratégie.

3. Résultats

Les données du pré-test sur le jeu 'Candy' ont tout d'abord été analysées dans l'objectif de constituer notre sous-échantillon d'intérêt. Les enfants qui manifestaient des difficultés à inhiber la prégnance de l'action motrice au détriment de l'attention à la consigne ont été retenus. La prégnance de l'action motrice a été évaluée en calculant pour chaque enfant la fréquence des prises (nombre de bonbons pris sur le tapis rapporté au nombre d'essais total, soit 9 essais). Les enfants inclus dans les analyses qui suivent présentent un pourcentage de prises élevé, compris entre 66 et 100 %. L'attention à la consigne a été évaluée en calculant la fréquence des réussites, à savoir le nombre de bonbons prélevés qui correspondent au code couleur énoncé par l'enseignant rapporté au nombre total de prises réalisées au travers des 9 essais. Les enfants inclus dans les analyses qui suivent présentent un pourcentage de réussite faible, compris entre 0 et 44 %. Ainsi, vingt-six enfants âgés de 4 ans 6 mois en moyenne (écart-type = ± 3 mois; 10 filles) ont été retenus, car ils manifestaient des difficultés attentionnelles dans le jeu « Candy » proposé en pré-test. Ces enfants ont fréquemment prélevé un bonbon sur le tapis de jeu qui ne correspondait pas à celui qui était attendu par l'enseignant.

Un groupe de 13 enfants (4 ans 5 mois ± 3 mois; 6 filles) a suivi l'apprentissage exécutif et l'autre groupe (4 ans 6 mois ± 4 mois; 4 filles) a suivi l'apprentissage non exécutif. Au pré-test, il n'est pas observé de différence significative entre ces deux groupes selon l'âge, la répartition en sexe, le pourcentage de prises et de réussites au jeu 'Candy' ($p > 0.05$). Au regard des caractéristiques considérées, nos deux groupes sont donc en tous points comparables avant de recevoir l'apprentissage. Afin de tester l'effet de cet apprentissage, une analyse de la variance a été réalisée comportant une variable inter apprentissage (exécutif versus non exécutif) et une variable intra test (pré-test versus post-test). Cette analyse, pour laquelle les conditions d'application sont respectées, a été complétée par des comparaisons a posteriori ou des comparaisons planifiées *a priori*, lorsque respectivement l'effet d'interaction était ou non significatif.

Un effet significatif du test est observé ($F(1, 24) = 8,33, p = 0,0008, \eta_p^2 = 0,26$) sur le pourcentage de prises (Figure 6) tel que les enfants diminuent leurs prises du pré-test (91 ± 2 %) vers le post-test ($76,4 \pm 5$ %).

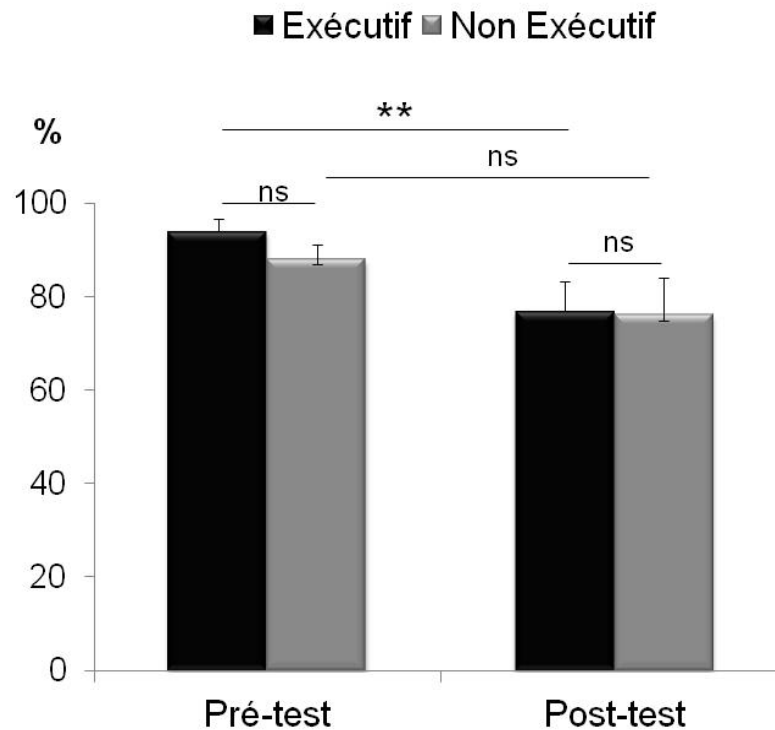


Figure 6. Pourcentages de prises réalisées par les enfants au jeu « Candy » avant et après avoir suivi un apprentissage exécutif ou non-exécutif sur le jeu du « Jacques a dit » (ns = non significatif).

En l'absence d'un effet significatif d'interaction, les comparaisons planifiées a priori révèlent que les enfants qui ont suivi l'apprentissage exécutif réalisent significativement moins de prises en post-test ($77 \pm 7\%$ vs. $94 \pm 3\%$, $t(24) = 2,4$, $p = 0,02$, d de Cohen = $3,15$). Ceux qui ont suivi l'apprentissage non exécutif ne présentent pas de diminution significative de leurs prises en post-test ($p > 0,05$).

Un effet significatif d'interaction entre l'apprentissage et le test est observé sur le pourcentage de réussites ($F(1, 24) = 4,76$, $p = 0,03$, $\eta_p^2 = 0,17$). Seuls les enfants qui ont suivi un apprentissage exécutif augmentent significativement leur pourcentage de réussites en post-test (Figure 7). Ce pourcentage passe de 12% (écart-type = 4) en pré-test à 37% (écart-type = 7) en post-test ($p = 0,001$ LSD de Fisher, d de Cohen = $4,38$).

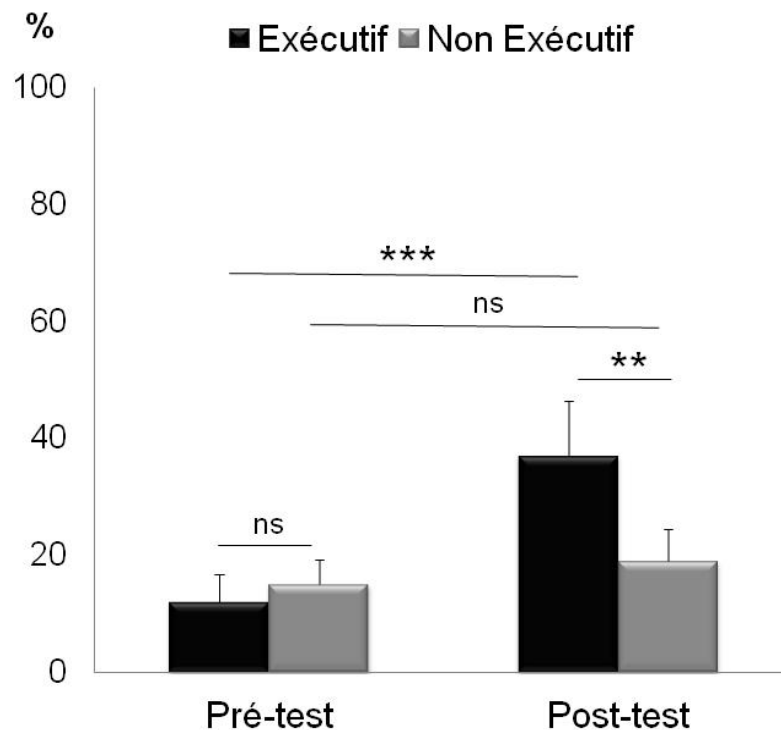


Figure 7. Pourcentages de réussites au jeu « Candy » avant et après avoir suivi un apprentissage exécutif ou non exécutif sur le jeu du « Jacques a dit » (ns = non significatif).

En post-test, les enfants ayant suivi l'apprentissage exécutif ont un pourcentage de réussites supérieur à ceux qui ont suivi l'apprentissage non exécutif (37 ± 7 vs. $18,5 \pm 7$ %, $p = 0,4$ LSD de Fisher, d de Cohen = 2,64).

4. Discussion

L'efficacité d'un apprentissage tourné vers l'exercice du contrôle inhibiteur sur les capacités d'attention sélective de l'enfant de Moyenne section d'école Maternelle a été montrée au travers d'un protocole d'apprentissage métacognitif. Suite à cet apprentissage, les enfants parviennent plus fréquemment à inhiber la prégnance de l'action motrice, leur permettant ainsi une meilleure intégration et application des éléments d'une consigne complexe à cet âge. L'apprentissage plus classique, non centré sur le contrôle inhibiteur, permet une amélioration des performances des enfants, mais qui reste significativement moins importante que celle observée après un apprentissage exécutif. L'efficacité de notre approche pédagogique

innovante prend tout son sens chez les plus jeunes enfants qui se préparent à apprendre. L'attention est le socle sur lequel se construiront tous les apprentissages scolaires ultérieurs.

Selon Houdé (2006) « Les ponts entre le monde de l'éducation et les neurosciences cognitives développementales se construisent, il faut maintenant les franchir ». Multiplier les recherches et les collaborations entre chercheurs en neuroéducation et professionnels de l'éducation permettra d'aider les enfants, notamment ceux les plus en difficultés, à accéder plus aisément aux différents apprentissages scolaires fondamentaux. Plus particulièrement, focaliser les enfants sur les pièges dans lesquels ils peuvent tomber, tout en leur proposant des outils à utiliser, un attrape-piège pourrait constituer une piste sérieuse.

La pédagogie du contrôle exécutif que nous proposons de mettre en œuvre en classe repose à la fois sur un partenariat fort avec les acteurs de l'école et l'utilisation d'un dispositif didactique original et novateur. Elle permet aux élèves de prendre conscience des outils cognitifs dont ils disposent pour parvenir à détecter puis surmonter des pièges, ici l'action au détriment de l'écoute. Les enfants sont ainsi parvenus à refréner un comportement moteur consistant à « prendre pour prendre » un item dans le jeu sans se soucier de la consigne qui leur était donnée. Ils ont su significativement porter leur attention sur l'écoute de la consigne et améliorer ainsi leur réussite dans la tâche demandée. À l'instar d'autres approches qui consistent à entraîner les capacités exécutives de l'enfant par l'expérience répétée de tâches d'inhibition ou de flexibilité mentale (Diamond, 2007; Diamond et Lee, 2011; Thorell, Lindqvist, Nutley, Bohlin et Kilnberg, 2009) ou encore à leur proposer des programmes d'entraînement cérébral (Jaeggi, Buschkuhl, Jonides et Shah, 2011), l'approche proposée ici conduit l'enfant à développer sa métacognition en suivant pas à pas une méthode concrète d'apprentissage à la détection de l'erreur.

L'apprentissage au contrôle exécutif mobilise l'intelligence fluide opposée à l'intelligence cristallisée qui correspond aux connaissances établies. L'enfant devient ainsi capable de changer de stratégie en inhibant ses automatismes. L'étude présentée ici montre que cela est possible très tôt chez l'enfant d'âge scolaire. L'école apprend plutôt à mobiliser, à activer des connaissances, ce qui est bien entendu également essentiel. Cependant, de nombreuses situations rencontrées à l'école vont aussi nécessiter l'inhibition de certaines connaissances. Tel est le cas dans l'apprentissage des mathématiques ou de l'orthographe. Lubin et al. (2012) ont ainsi montré, dans une tâche de

comparaison numérique comme identifier l'ensemble qui contient le plus d'éléments : 3 dizaines ou 26 unités, l'efficacité d'une pédagogie du contrôle cognitif pour parvenir à inhiber la connaissance antérieure que possède l'enfant de la chaîne numérique, le nombre le plus grand est celui qui est le plus important dans la chaîne numérique, pour activer l'équivalence numérique « 10 unités = une dizaine ». Dans le domaine de l'orthographe, cette pédagogie s'est également révélée efficace pour aider les élèves à appliquer correctement les règles d'accord comme « je les mange » et non pas « je les manges ». La pédagogie du contrôle exécutif présentée ici est donc transférable à différents domaines d'apprentissage, et peut s'appliquer à des enfants d'âge différent. Il peut aussi être envisagé qu'elle puisse être appliquée aux élèves en difficultés scolaires dans le cadre d'une prise en charge plus globale.

L'organisation d'un partenariat recherche-éducation n'est pas du ressort du chercheur mais du politique. La recherche rapportée ici a été conduite avec des inspecteurs académiques des plus motivés, mais qui se heurtent aussi à une organisation dont ils sont garants, ne leur permettant pas toujours de pouvoir répondre aux attentes des enseignants. En France, le Ministère de l'Éducation Nationale a adressé en cette rentrée scolaire 2012 une lettre à tous les enseignants pour les inviter à participer à la concertation pour la refondation de l'École de la République. Ces derniers peuvent prendre part aux échanges, porter, et partager leur vision de l'École dans le cadre des initiatives en Académie, et à travers un site internet dédié. Il pourrait y être question des approches neuroéducatives.

Mais la tâche n'est pas simple. Le protocole présenté ici ne peut se comparer aux protocoles mis au point en recherche fondamentale. La collaboration avec les enseignants nécessite un temps d'échange et de formation suffisamment important pour que chaque partie s'écoute, se comprenne, et envisage de formaliser les choses. L'enseignant n'est pas chercheur et résiste parfois à contrôler certaines variables ou n'en voit pas l'intérêt. L'école n'est pas un laboratoire. C'est ainsi que le protocole dont il est question dans cette étude s'est appliqué dans sa totalité à l'ensemble des élèves d'une même classe, alors que la phase de pré-test est généralement utilisée en laboratoire pour sélectionner les participants à l'étude, ceux qui présentent des difficultés dans la réalisation de la tâche. Pour un éducateur il n'est pas envisageable d'écarter certains élèves d'un projet pédagogique, même lorsque ceux-ci ne manifestent aucune difficulté. Le travail se fait sur un groupe classe. Le temps consacré à la réalisation du protocole est donc conséquent, se surajoute aux programmes dont les enseignants ont la

charge, et leur demande un investissement important et continu. Ils ont souvent exprimé leur souhait de pouvoir disposer d'un temps recherche plus important.

Les premiers résultats obtenus demandent à être confirmés. La méthodologie présentée ne prétend pas être parfaite, ni l'unique solution à utiliser pour apprendre à résoudre des conflits cognitifs. Elle s'ajoute à d'autres approches métacognitives (Gagné et Ainsley, 2009; Gagné, Leblanc et Rousseau, 2009). Il est désormais impératif d'aider les élèves dans un contexte scolaire (Hardiman et al., 2011), en incluant des apprentissages exécutifs aux activités de classe (Stevens et Bavelier, 2012) et ce, dès la maternelle.

Remerciements

Nous remercions Messieurs Vicet et Wisnewski, respectivement Inspecteur d'Académie et Inspecteur adjoint d'Académie du Calvados pour avoir permis la création du GFA « Pédagogie du contrôle cognitif ». Merci à Monsieur Huchet, actuel Inspecteur d'Académie et à ses Inspecteurs de l'Éducation Nationale, Madame Sourbet et Monsieur Potdevin, qui ont permis le maintien de nos recherches sur trois années. Merci pour la confiance et la liberté que tous nous ont accordées pour mener à bien ce projet. Nous remercions l'ensemble des enseignants d'école maternelle et leurs conseillers pédagogiques Mesdames Lanot, Leménager, Hervieu, Martin-Broudic, Messieurs Lamy et Outin. Sans eux rien n'aurait été possible. Enfin, nous remercions les enfants et leurs parents d'avoir consenti à participer à l'étude. Le droit à l'image a été accordé par les parents des enfants présentés dans la Figure 5.

Références

- Ansari, D., Smedt, B. et Grabner, R. H. (2011). Neuroeducation – A Critical Overview of an Emerging Field. *Neuroethics*, 5, 105-117.
- Baddeley, A. (2012). Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1-29.
- Bjorklund, D. F. et Harnishfeger, K. K. (1990). The resources of construct in cognitive development: Diverse sources of evidence and a theory of inefficient inhibition. *Developmental Review*, 7, 93-130.
- Blair, C. et Razza, R. P. (2007). Relating Effortful Control, Executive Function, and False Belief Understanding to Emerging Math and Literacy Ability

- in Kindergarten. *Child Development*, 78, 647-663.
- Borst, G., Pineau, A., Poirel, N., Cassotti, M. et Houdé, O. (2012). Inhibitory control efficiency in a Piaget-like class-inclusion task in school-age children and adults: A developmental negative priming study. *Developmental Psychology* Advance online publication. doi: 10.1037/a0029622
- Borst, G., Poirel, N., Pineau, A., Cassotti, M. et Houdé, O. (2012). Inhibitory control in number-conservation and class-inclusion tasks: A neo-Piagetian inter-tasks priming study. *Cognitive Development*, 27, 283-298.
- Carew, T. J. et Magsamen, S. H. (2010). Neuroscience and Education: An Ideal Partnership for Producing Evidence-Based Solutions to Guide 21st Century Learning. *Neuron*, 67, 685-688.
- Cassotti, M. et Moutier, S. (2010). How to explain receptivity to conjunction-fallacy inhibition training: Evidence from the Iowa Gambling Task. *Brain and Cognition*, 72, 378-384
- Dempster, F. N. et Brainerd, C. J. (1995). *Interference and inhibition in cognition*. New York: Academic Press.
- Diamond, A. (2011). Biological and social influences on cognitive control processes dependent on prefrontal cortex. *Progress in Brain Research*, 189, 319-339.
- Diamond, A. et Lee, K. (2011). Interventions Shown to Aid Executive Function Development in Children 4 to 12 Years Old. *Science*, 333, 959-964.
- Evans, J. St. B. T. (1972). Reasoning with negatives. *British Journal of Psychology*, 63, 213-219.
- Gabrieli, J. D. E. (2009). Dyslexia: A New Synergy between Education and Cognitive Neuroscience. *Science*, 325, 280-283.
- Gagné, P.-P. et Ainsley, L. (2009). *Cerveau... mode d'emploi. Programme d'entraînement et de développement des compétences cognitives*. Montréal : Chenelière éducation.
- Gagné, P.-P., Leblanc, N. et Rousseau, A. (2009). *Apprendre... une question de stratégies. Développer les habiletés liées aux fonctions exécutives*. Montréal : Chenelière éducation.
- Goshwami, U. et Szűcs, D. (2010). Educational Neuroscience: Developmental mechanisms: Towards a conceptual framework. *Neuroimage*, 57, 651-658.
- Greenstone, H. (2011). Executive Function in the Classroom: Neurological Implications for Classroom Intervention. *Learning landscapes*, 5, 101-113.

- Hardiman, M., Rinne, L., Gregory, E. et Yarmolinskaya, J. (2011). Neuroethics, Neuroeducation, and Classroom Teaching: Where the Brain Sciences Meet Pedagogy. *Neuroethics*, 5, 135-143.
- Houdé, O. (1995). *Rationalité, développement et inhibition*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Houdé, O. (1999a). Attention sélective, développement cognitif et contrôle inhibiteur de l'information. In G. Netchine-Grynberg (Ed.), *Développement et fonctionnement cognitifs : Vers une intégration* (pp.181-195). Paris : Presses Universitaires de France.
- Houdé, O. (1999b). Executive performance/competence and inhibition in cognitive development. *Developmental Science*, 2, 273-275.
- Houdé, O. (2000). Inhibition and cognitive development: Object, number, categorization, and reasoning. *Cognitive Development*, 15, 63-73.
- Houdé, O. (2006). *10 leçons de psychologie et pédagogie*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Houdé, O. (2007). First insights on « neuropedagogy of reasoning ». *Thinking and Reasoning*, 13, 81-89.
- Houdé, O. (2008). Pedagogy, not (only) anatomy of reasoning. *Trends in Cognitive Sciences*, 12, 173-174.
- Houdé, O. (2011). Apprendre à inhiber: L'enfance du savoir. In Collectif *A quoi sert le savoir ?* (pp. 161-163). Paris: Presses Universitaires de France.
- Houdé, O. et Guichart, E. (2001). Negative priming effect after inhibition of number/length interference in a Piaget-like task. *Developmental Science*, 4, 71-74.
- Houdé, O. et Leroux, G. (2009). *Psychologie du développement cognitif*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Houdé, O. et Moutier, S. (1996). Deductive reasoning and experimental inhibition training: The case of the matching bias. *Current Psychology of Cognition*, 15, 409-434.
- Houdé, O. et Tzourio-Mazoyer, N. (2003). Neural foundations of logical and mathematical cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 4, 507-514
- Houdé, O., Pineau, A., Leroux, G., Poirel, N., Perchey, G., Lanoë, C., Lubin, A., Turbelin, MR., Rossi, S., Simon, G., Delcroix, N., Lamberton, F., Vigneau, M., Wisniewski, G., Vicet, J. R. et Mazoyer, B. (2011). Functional magnetic resonance imaging study of Piaget's conservation-of-number task in preschool and school-age children: A neo-Piagetian approach. *Journal of Experimental Child Psychology*, 110, 332-346.

- Houdé, O., Zago, L., Mellet, E., Moutier, S., Pineau, A., Mazoyer, B. et Tzourio-Mazoyer, N. (2000). Shifting from the perceptual brain to the logical brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 721-728.
- Inhelder, B. et Piaget, J. (1955). *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Jaeggi, S., Buschkuhl, M., Jonides, J et Shah, P. (2011). Short- and long-term benefits of cognitive training. *PNAS*, 108, 10081-10086.
- Leroux, G., Spiess, J., Zago, L., Rossi, S., Lubin, A., Turbelin, M.-R., Mazoyer, B., Tzourio-Mazoyer, N., Houdé, O. et Joliot, M. (2009). Adult brains don't fully overcome biases that lead to incorrect performance during cognitive development: An fMRI study in young adults completing a Piaget-like task. *Developmental Science*, 12, 326-338.
- Lubin, A., Lanoë, C., Pineau, A. et Rossi, S. (2012). Apprendre à inhiber : une pédagogie innovante au service des apprentissages scolaires fondamentaux (mathématiques et orthographe) chez des élèves de 6 à 11 ans. *Neuroéducation*, 1(1), 55-84.
- MacMillan, M. (1996). The concept of inhibition in some nineteenth century theories of thinking. *Brain and Cognition*, 10, 4-19.
- Meltzoff, A., Khul, P., Movellan, J. et Sejnowski, T. (2009). Foundations for a new science of learning. *Science*, vol. 325.
- Moffitt, T. E., Arseneault, L., Belsky, D., Dickson, N., Hancox, R., Harrington, H., Houts, R., Poulton, R., Roberts, B., Ross, S., Sears, M., Thomson, W. et Caspi, A. (2011). A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *PNAS USA*, 108, 2693-2698.
- Moutier, S. (2000). Deductive competence and executive efficiency in school children. *Current Psychology Letters: Behaviour, Brain and Cognition*, 3, 87-100.
- Moutier, S. et Houdé, O. (2003). Judgement under uncertainty and conjunction fallacy inhibition training. *Thinking and Reasoning*, 9, 185-201.
- Moutier, S., Angeard, N. et Houdé, O. (2002). Deductive reasoning and matching-bias inhibition training: Evidence from a debiasing paradigm. *Thinking and Reasoning*, 8, 205-224.
- Moutier, S. et Houdé, O. (2003). Judgment under uncertainty and conjunction-fallacy inhibition training. *Thinking and Reasoning*, 9, 185-201.
- Moutier, S., Plagne, S., Melot, A.-M. et Houdé, O. (2006). Syllogistic reasoning and belief-bias inhibition in school children. *Developmental Science*, 9, 166-172.
- Nieder, A. et Dehaene, S. (2009). Representation of Number in the Brain. *Annual Review of Neuroscience*, 32, 185-208.

- Piaget, J. et Inhelder, B. (2004). *La psychologie de l'enfant*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Posner, M. I. et Rothbart, M. K. (2005). Influencing brain networks: implications for education. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 99-103.
- Potvin, P., Riopel, M., Masson, S. (2011). Soutenir les élèves et outiller les enseignants. Pour la neuroéducation. *Argument: Politique, société, histoire*. 13.
- Rossi, S. et van der Henst, J.-B. (2007). *Psychologies du Raisonnement*. Bruxelles : De Boeck.
- Rossi, S., Lubin, A., Pineau, A., Lanoë, C., Simon, G. et Houdé, O. (2011). Du laboratoire au terrain : regards croisés entre la recherche fondamentale et l'école sur l'importance du contrôle inhibiteur lors des premiers apprentissages scolaires. *Communication présentée au colloque OUtils pour la FORMation, l'Education et la Prévention*, 6-7 juin, Nantes, France.
- Rueda, M. R., Checa, P. et Rothbart, M. (2010). Contributions of attentional control to socioemotional and academic development. *Early Education and Development*, 21, 744-764.
- Siegler, R. S. (1999). Strategic development. *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 430-435.
- Stern, E. (2005). Brain goes to school. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 563-565.
- Stevens, C. et Bavelier, D. (2012). The role of selective attention on academic foundations: a cognitive neuroscience perspective. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2, S30-48.
- Thorell, L., Lindqvist, S., Nutley, S., Bohlin, G. et Klingberg, T. (2009). Training and transfer effects of executive functions in preschool Children. *Developmental Science*, 12, 106-113.